



DIPLOMARBEIT  
Master Thesis

U-Bahn Sofia – Projekt Anbindung „Studentski grad“ an die U1  
Variantenstudie – Deckelbauweise mit Schlitzwänden

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs/ einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Univ. Prof. DI Dr. techn. Hans Georg Jodl

E334-1

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement  
Forschungsbereich baubetrieb und Bauverfahrenstechnik

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Rositsa Temelakieva

0427338

Nadezhda I, Bl. 153  
1220 Sofia, Bulgarien

Wien, am 08.06.2010

.....

## VORWORT

Für seine Unterstützung und engagierte Betreuung bei der Erstellung meiner Diplomarbeit am Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement an der TU-Wien möchte ich mich sehr herzlich bei Herrn o. Univ. Prof. Dipl. -Ing. Dr. techn. Hans Georg Jodl bedanken.

Bei Herrn Univ. Ass. Dipl.- Ing. Daniel Resch möchte ich mich für seine Betreuung und ständige Hilfsbereitschaft und für die Diskussionen, die wesentlich zum Gelingen der Diplomarbeit beigetragen haben, recht herzlich bedanken.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn o. Univ. Prof. Dipl. -Ing. Georgi Ilov (Lehrstuhl „Geotechnik“) und Herrn o. Univ. Prof. Dipl. -Ing. Iliya Ivanchev (Lehrstuhl „Verkehrsanlagen“) an der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie, Sofia, die mir bei der Erstellung dieser Arbeit mit ihrem fachlichen Know-how und ihren wertvollen Ratschläge zur Seite gestanden sind. Dank gebührt auch Herrn Dipl.-Ing. Vi. Popov (Lehrstuhl „Eisenbahnwesen“) und Herrn Dipl.-Ing. Dr. Andrey Totsev (Lehrstuhl „Geotechnik“).

Großer Dank gebührt auch meiner Freundin und Studienkollegin Elvina Stoynova, ohne die die Idee für diese Variantenstudie nicht realisiert werden kann.

Den angeschriebenen Firmen möchte ich für die Beantwortung der Anfragen und für die zahlreiche Information besonders bedanken.

Mein besonderer Dank gilt der STRABAG AG für die finanzielle Unterstützung meines Studienaufenthalts in Wien.

Zu guter Letzt möchte ich mich ganz speziell bei meiner Eltern bedanken, die meine Ausbildung ermöglicht und mich stets mit Rat und Tat unterstützt haben.

## KURZFASSUNG

Die vorliegende Diplomarbeit wurde am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement der Technischen Universität Wien und am Lehrstuhl „Geotechnik“ der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie Sofia im Rahmen eines Doppel-Degree Studiums erstellt. Die Diplomarbeit befasst sich mit Problemen aus verschiedenen technischen Bereichen. Hierfür wurden Besprechungen mit Betreuer des Lehrstuhls „Eisenbahnwesen“, Sofia und des Lehrstuhls „Verkehrsanlagen“, Sofia abgehalten.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Ausführung eines U-Bahntunnels, welcher als eine Anbindungstrecke der U-Bahn Sofia errichtet werden soll. Der Tunnel wird dabei in offener Bauweise und Deckelbauweise mit Schlitzwänden ausgeführt. In der vorliegenden Diplomarbeit wird die Ausführung eines Bauloses in Deckelbauweise, mit besonderer Berücksichtigung des Baubetriebs und der Kostenermittlung untersucht.

Die Arbeit gibt einen praxisorientierten Überblick über die Möglichkeiten zur Schlitzwandherstellung. Aufbauend auf die Beschreibung der Lage und der geologischen Randbedingungen des Tunnels wird die Bauverfahrenstechnik und den Baubetrieb beschrieben.

Ausschließend werden durch Verwendung von Leistungsansätzen aus der Literatur der Bauablauf und der daraus resultierend Bauzeitplan festgelegt. Weiters werden die Kosten der Hauptleistungen ermittelt.

Eine weitere Variante der Ausführung dieser U-Bahnanbindung wird in der Diplomarbeit „Variantenstudie – offene Bauweise mit Bohrpfahlwand – U-Bahn Sofia“ von Elvina Stoynova, Matr. N 0427340 untersucht.

Die Ergebnisse der beiden Variantenstudien werden am Ende dieser Diplomarbeit gegenübergestellt und miteinander verglichen. Als Ergebnis wird die, aus betrieblicher/bauwirtschaftlicher Sicht, günstige Tunnelbaumethode für die untersuchte U-Bahnverlängerung dargestellt.

## ABSTRACT

The present thesis was created in the Institute of Interdisciplinary Construction Processes Management, Technical University in Vienna associated with the Department of Geotechnics, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy in Sofia as a part of the educational process (Double Degree Programm/major attainment). The thesis explores problems of various technical fields; discussions were realized with participants from the departments: Railway Construction (Sofia) and Transport Structural Facilities (Sofia).

The thesis examines the realization of underground tunnel. The tunnel was designed as a connecting segment of the metro system of Sofia; it will be realized by open cut and by “cut and cover” methods with diaphragm walls. However, the thesis focuses only on the building works (roof construction), the operation of the works and the breakdown of costs.

The work is a practically oriented review of opportunities for realization of diaphragm walls. Besides the description of the location and geological (framework) conditions it was also described the construction technology and operation.

Using principles described in various texts it was determined the stages of construction and associated construction schedule. Then the costs related to main works were calculated.

A different alternative for realization of the connection specified was also analyzed in the thesis "Study of variants – Open cut method with bored piles – Metro of Sofia" by Elvina Stoyanova, faculty No. 0427340.

The results of the variants were juxtaposed and compared as work subject conclusions. As consequence it was presented the more beneficial solution for the realization of the metro connection from the perspective of construction operation and construction profitability.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
AN	Arbeitsnehmer
AT	Arbeitstag
AV	Abschreibung und Verzinsung
Bl.	Block
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Cont.	Container
EW	Einwohner
Fa.	Firma
gewerbl.	gewerblich
GHPI	Großhandelspreisindex
GOK	Geländeoberkante
GW(S)	Grundwasser(spiegel)
GZ	Gesamtzuschlag
H-Bagger	Hydraulikbagger
inkl.	inklusive
LKW	Lastkraftwagen
LS	Ladespiel
max.	maximal
min.	minimal
mind.	mindestens
Mio.	Million
MLK	Mittellohnkosten
MLP	Mittellohnpreis
Mo	Monat
MwSt.	Mehrwertsteuer
NW	Neuwert
ÖBGL	Österreichische Baugeräteliste
Rep	Reparaturentgelt
Rep- S	Reparaturentgelt- Sonstiges
Rep-L	Reparaturentgelt Lohn
RQ	Regelquerschnitt
sog.	sogenannt

---

Stk.	Stück
TL	Tieflöffel
TVW	Tandemvibrationswalzen
u.a.	und andere
unprod.	unproduktiv
usw.	und so weiter
Vgl.	Vergleich
Wo	Woche
wu-Beton	wasserundurchlässiger Beton
z. B.	zum Beispiel

## INHALTVERZEICHNIS

1	Einleitung .....	9
1.1	Historischer Rückblick der U-Bahnbau in der Welt.....	9
1.2	Vor- und Nachteile der U-Bahn .....	9
1.3	U-Bahn in Sofia .....	10
2	Anbindung zur Linie 1 .....	13
2.1	Untersuchten Varianten.....	14
2.2	Linienführung der Variante A.....	14
2.3	Bauweisen im U-Bahnbau der Anbindung - Variante A.....	17
2.4	Regelquerschnitte und Ausführungsvariante der Anbindung .....	22
2.4.1	Regelquerschnitt 0 (RQ 0) .....	23
2.4.2	Regelquerschnitt 1 (RQ 1) .....	24
2.4.3	Regelquerschnitt 2 (RQ 2) .....	25
2.4.4	Regelquerschnitt 3 (RQ 3) .....	26
3	Schlitzwandtechnik .....	28
3.1	Allgemeines .....	28
3.1.1	Kurzbeschreibung .....	28
3.1.2	Definitionen nach ÖNORM EN 1538.....	28
3.2	Anwendungsgebiete .....	30
3.3	Vor- und Nachteile.....	31
3.4	Verfahrenstechnik“ .....	32
3.4.1	Herstellverfahren.....	32
3.4.1.1	Zweiphasen – Verfahren.....	33
3.4.1.2	Einphasen – Verfahren .....	34
3.4.1.3	Kombinationsverfahren .....	35
3.4.1.4	Vor- und Nachteile .....	36
3.4.1.5	Herstellen der Wand in Lamellen.....	36
3.4.2	Leitwandherstellung .....	37
3.4.3	Aushub der Schlitzwandlamelle .....	39
3.4.3.1	Greiferverfahren.....	39
3.4.3.2	Fräsverfahren.....	41
3.4.3.3	Merkmale der Schlitzwandgeräte.....	42

3.4.4	Stützsuspension.....	43
3.4.4.1	Beschreibung.....	43
3.4.4.2	Bezeichnung nach DIN 4127.....	45
3.4.4.3	Aufbereitung.....	45
3.4.4.4	Regenerierung.....	47
3.4.5	Fugenkonstruktion.....	48
3.4.5.1	Abstellrohr.....	48
3.4.5.2	Betonfertigteil.....	49
3.4.5.3	Fugenbandelement.....	49
3.4.5.4	Vor- und Nachteile der verschiedenen Abstellkonstruktionen.....	50
3.4.5.5	Fugenausbildung beim Aushub mit Hydrofräsen.....	51
3.4.6	Bewehrung.....	51
3.4.7	Betonieren.....	52
4	Projektbeschreibung des gewählten Baulos.....	54
4.1	Allgemein.....	54
4.2	Variante A – 3. Baulos (Tunnelstrecke).....	56
4.3	Bauausführung.....	56
4.3.1	Baugrube.....	56
4.3.1.1	Voraushub.....	57
4.3.1.2	Schlitzwandherstellung.....	57
4.3.1.3	Aushub mit gleichzeitigem Aussteifen bis zur Unterkante des Deckels....	63
4.3.1.4	Herstellen des Deckels.....	63
4.3.1.5	Rückfüllung und Verdichtung.....	64
4.3.1.6	Unterirdischer Aushub bis zur Unterkante der Sohle.....	64
4.3.2	Innenschale.....	64
4.3.2.1	Spritzbeton.....	65
4.3.2.2	Abdichtung.....	65
4.3.2.3	Bewehren und Betonieren.....	66
4.4	Baustelleneinrichtung.....	68
4.4.1	Großgeräte.....	68
4.4.2	Verkehrsflächen und Transportwege.....	68
4.4.3	Sozial- und Büroeinrichtungen.....	69

---

4.4.3.1	Personalbedarf.....	69
4.4.3.2	Geplante Einrichtungen .....	70
4.5	Lagerräume .....	71
4.5.1	Materialbedarf .....	71
4.5.1.1	Geplante Räume.....	72
4.5.2	Medienversorgung und Entsorgung .....	73
4.5.2.1	Wasserversorgung.....	73
4.5.2.2	Strombedarf .....	74
4.5.3	Baustellensicherung.....	75
5	Kostenermittlung .....	76
5.1	Allgemeines .....	76
5.2	Bauausführungskosten .....	78
5.2.1	Voraushub.....	78
5.2.2	Schlitzwandherstellung .....	81
5.2.3	Aushub bis Unterkante des Deckels .....	81
5.2.4	Aussteifung .....	84
5.2.5	Herstellen des Deckels .....	84
5.2.6	Rückfüllung/Verdichtung .....	86
5.2.7	Unterirdischer Aushub.....	90
5.2.8	Innenschale.....	92
5.2.9	Ermittlung des Gesamtpreises .....	96
5.3	Baustellengemeinkosten .....	96
5.3.1	Einmalige Kosten .....	97
5.3.2	Zeitgebundene durchschnittliche Vorhaltekosten der Baustelle .....	100
5.3.3	Gerätekosten der Baustelle.....	102
5.3.4	Baustellengesamtpreis.....	104
5.4	Zusammenstellung des Herstellungspreises.....	104
6	Gegenüberstellung.....	105
	QUELLENVERZEICHNIS.....	110
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	113
	TABELLENVERZEICHNIS .....	116
	ANHÄNGE .....	118

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 U-Bahnbau in der Welt<sup>1</sup> - Historischer Rückblick

Durch die starke Zunahme der Stadtbevölkerung ist ein gut organisiertes Verkehrsnetz erforderlich. Hierbei bietet sich die U-Bahn, mit einer hohen Beförderungsleistung und der Unabhängigkeit von Straßen, als Alternative zum Individualverkehr an.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert begann der U-Bahnbau in den größten Städten der Welt. Am 10. Jänner 1863 wurde in London die Metropolitan Railway - die erste dampfangetriebene U-Bahn der Welt, eröffnet. Die erste elektrische U-Bahn wurde am 18. Februar 1890 auch in London in Betrieb genommen. Die feierliche Eröffnung der ersten Wiener U-Bahn erfolgte am 9. Mai 1898.

Am 1. September 1897 wurde die erste U-Bahnlinie (Subway, Metro) in Boston, USA und 1927 wurde die erste U-Bahnlinie in Tokio, Asien in Betrieb genommen.

Bei Millionenstädten (Metropole) ist es heute kaum mehr vorstellbar, dass der öffentliche Verkehr ohne U-Bahnlinien richtig funktioniert.

### 1.2 Vor- und Nachteile der U-Bahn

Beim öffentlichen Nahverkehr geht es immer um die Suche nach der Alternative zum Auto. Viele Innenstädte sind zu bestimmten Uhrzeiten komplett verstopft. Der zeitliche Aufwand für die Fortbewegung kann dabei sehr hoch sein. In Paris liegt z. B. die morgendliche Durchschnittsgeschwindigkeit bei 15 km/h. Die Berliner Straßenbahn erreicht eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 19,2 km/h.<sup>2</sup>

Die U-Bahnen sind nach der S-Bahn der leistungsfähigste Verkehrsträger im städtischen Verkehrsnetz. Pro Stunde können je Richtung 35.000 bis 40.000 Fahrgäste befördert werden (S-Bahn: 40.000 bis 50.000; zum Vergleich PKW bei einem angenommenen Besetzungsgrad von 1,3; 2.500 Personen pro Stunde und Fahrstreifen).<sup>3</sup>

Die Vorteile eines U-Bahnnetzes sind:

- die Unabhängigkeit der Strecke von bestehenden Verkehrswegen durch Verlegung in eine vom restlichen Verkehr unabhängige Ebene;
- keine Störungen des Betriebs durch Vermeidung von Kreuzungen mit Straßen;
- die hohe Reisegeschwindigkeit;

---

<sup>1</sup> HINKEL 2004, S. 4, S. 445

<sup>2</sup> VENN 2008.

<sup>3</sup> Homepage: [www.de.wikipedia.org](http://www.de.wikipedia.org) 2007.

- die verkehrstechnische Erschließung und Anbindung von Wohn- und Wirtschaftsgebieten;
- die Umweltfreundlichkeit dieses Transportmittels.

Für die Fahrgäste bietet die U-Bahn folgende Vorteile:

- fährt direkt durch die Stadt;
- hat viele Stationen;
- entlastet den Berufsverkehr in der Innenstadt;
- billig;
- schnell;
- regelmäßig;
- zuverlässig.

Nachteile der U-Bahn sind:

- die hohen Bau- und Unterhaltskosten;
- in Spitzenzeiten kann es zu Engpässen in der Transportkapazität kommen. Dies führt zu einem beschränkten Sitzplatzangebot;
- Unfälle oder Brände in Streckentunneln sind zwar seltene, doch immer wieder auftretende Ereignisse, die zu schwerwiegenden Folgen sowohl für die Verkehrsteilnehmer, als auch für die Tunnelkonstruktion führen können.

### 1.3 U-Bahn in Sofia<sup>4,5</sup>

Die Stadt Sofia, eine der ältesten Städte Europas, ist seit dem 22. März 1879 Hauptstadt von Bulgarien und erhielt im 14. Jahrhundert in Anlehnung an die Kirche „Sveta Sofia“ ihren heutigen Namen. Sie hat derzeit 1,3 Mio. EW und ist politisches, kulturelles und wirtschaftliches Zentrum Bulgariens.

Aufgrund der Satellitenstädte am Stadtrand, der immer größer werdenden Anzahl der Autos auf den Straßen von Sofia und der Luftverschmutzung ist die Stadt auf ein gut funktionierendes öffentliches Transportsystem angewiesen. Aus diesem Grund beschloss der bulgarische Ministerrat 1972 den Bau eines U-Bahnnetzes. In den letzten Jahren erfolgten die U-Bahnbauarbeiten in beschleunigtem Tempo.

Es gibt bei den zahlreichen auf der Welt vorhandenen U-Bahn-Systemen verschiedene Netzformen, die in der Abb. 1 dargestellt werden.

---

<sup>4</sup> HINKEL 2004, S. 169 – 170.

<sup>5</sup> BRATOEV 2008.

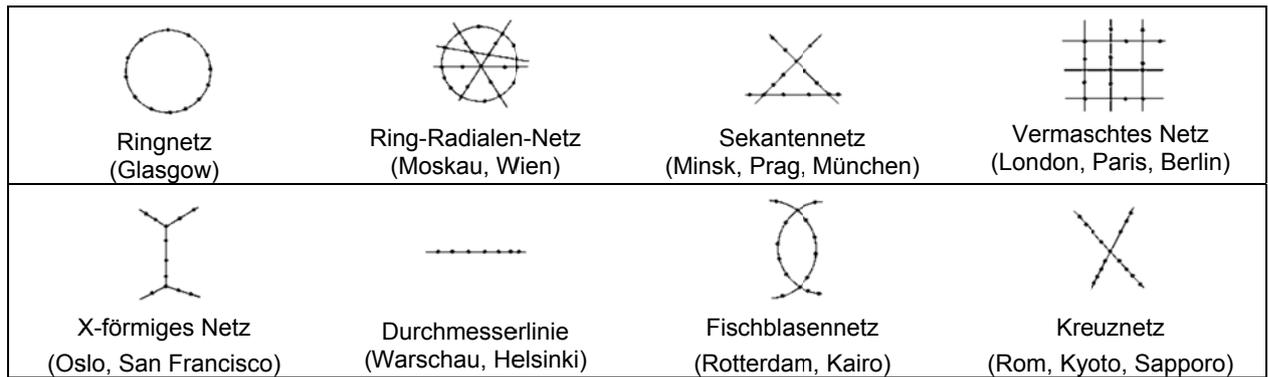


Abb. 1: Netzgestaltung<sup>6</sup>

Für die U-Bahn Sofia wurde ein Sekantennetz (siehe Abb. 2) geplant. Durch diese Netzgestaltung werden die wichtigsten Zielgebiete der Stadt erfasst. Die drei Linien bilden in der Folge im Stadtzentrum ein Dreieck.

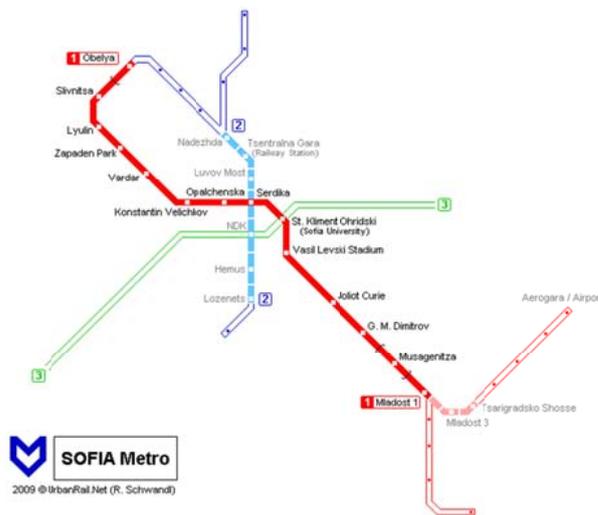


Abb. 2: Netzgestaltung der U-Bahn Sofia<sup>7</sup>

1978 begannen der Bau der U-Bahnlinie zwischen Slivnitsa und Konstantin Velitschkov. Die Bauarbeiten dauerten 20 Jahre, und die Linie (als Linie 1 bezeichnet) wurde am 28. Januar 1998 mit fünf Stationen eröffnet. Derzeit verläuft die Linie 1 von der Station „Obelya“ (nördliche Endstelle) über die Station „Lyulin“ ins Stadtzentrum bis zum südlichen Endpunkt mit der Station „Mladost“.

Für die Bauverzögerungen waren, sowohl Geldmangel, als auch viele archäologische Funde und hydrogeologische Gegebenheiten (tief liegende Wasserleitungen sowie bestehende Thermalquellen usw.) verantwortlich, welche mitunter zur zwischenzeitlichen Einstellung des U-Bahnbaus führten. Am 17. September 1999 wurde die Strecke Richtung Süden um die Station Opaltschenska verlängert. Im weiteren Verlauf wurde die Strecke am 31. Oktober 2000 bis Stadtmitte – Station Serdika und am 20. April 2003 bis Obelya eröffnet. Die nächste

<sup>6</sup> Homepage: [www.de.wikipedia.org](http://www.de.wikipedia.org) 2007.

<sup>7</sup> Homepage: [www.metropolitn.bg](http://www.metropolitn.bg) 2009.

Verlängerung wurde am 8. Mai 2009 fertig gestellt, mit fünf neuen Stationen, von Stadion Vassil Levski bis Mladost 1. Die beiden Teile wurden am 8. September 2009 verbunden.

Die derzeit (2009) im Betrieb stehende Linie 1 ist 18 km lang und verfügt über 14 Stationen. Die Fahrtzeit vom Beginn bis zum Ende der Strecke beträgt ca. 20 Minuten. Das zukünftige U-Bahnnetz der Stadt Sofia wird ca. 65 km lang sein und etwa 63 Stationen haben.

Linie 1: Pläne sehen vor, dass die Strecke bis 2012 Richtung Osten zum Flughafen Sofia und südlich zum Mladost 4 verläuft (siehe Abb. 2). Die Linie 1 soll in Zukunft 29 km lang sein und 23 Stationen haben.

Linie 2: Die zweite Linie soll von Lozenets über die heute schon bestehende Station Serdika nach Ilitsi fahren. Die Linie soll zukünftig 17 km lang sein und 17 Stationen besitzen. 2007/2008 hatte die Stadtverwaltung von Sofia den ersten Abschnitt des Bauprojektes (zwischen Nadezhda und Cherni Vrah Boulevard) ausgeschrieben. Der Bau dieser Linie wurde Anfang 2009 mit dem Bau der Stationen Hauptbahnhof Sofia und Hotel Hemus begonnen. Laut Planungen soll die Linie im Jahr 2012 in Betrieb gehen (siehe Abb. 2).

Linie 3: Die Linie 3 wird von der Station „Knyazhevo“ zu den Stationen „Poduene“ und „Vassil Levski“ in Wohnhausbezirken, mit 19 km Länge und 23 Stationen, geführt. Ein Baubeginn bzw. Fertigstellungstermin ist in den nächsten Jahren nicht abzusehen (siehe Abb. 2).

In der Tabelle 1 sind wesentlichen Daten der U-Bahn Sofia im Endausbau dargestellt.

Anzahl der Linien	3
Gesamtlänge des U-Bahnnetzes	65 km, 63 Stationen
Linie 1 (Lyulin – Mladost)	29 km, 23 Stationen
Linie 2 (Nadezhda – Lozenets)	17 km, 17 Stationen
Linie 3 (Knyazhevo – Levski)	19 km, 23 Stationen
Durchschnittlicher Stationsabstand	1.000 m
Bahnsteiglänge	120 m
Beförderungsleistung	50.000 Personen/h; 1,2 Mio. Personen/Tag
Höchstgeschwindigkeit	90 km/h
Spurweite	1.435 mm
Anspeisung - mit Gleichstrom	825 V
min. Intervall	90 sec.
Prozentanteil vom öffentlichen Verkehr	68%

Tabelle 1: Allgemeine Daten über das U-Bahnnetz in Sofia<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Homepage: [www.metropoltan.bg](http://www.metropoltan.bg) 2009.

## 2 ANBINDUNG ZUR LINIE 1

Es ist vorgesehen zur Linie 1 der U-Bahn Sofia eine Anbindung des Stadtteils „Studentski grad“ herzustellen (siehe Abb. 3). Die geplante Verlängerung mit drei Stationen führt von der schon betriebenen Station 11 „G. M. Dimitrov“ durch das Stadtviertel „Studentski grad“. Diese Anbindungsstrecke gewährleistet eine Verbindung zwischen Studentski grad und dem Stadtzentrum.

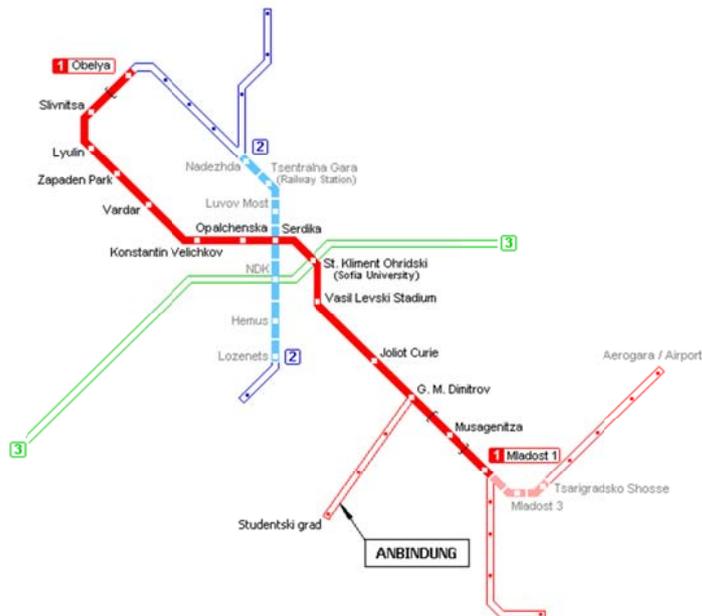


Abb. 3: Netzgestaltung der U-Bahn Sofia<sup>9</sup> mit der geplanten Aststrecke

Im Einzugsbereich der Anbindung liegen vier Universitäten (Universität für chemische Technologie und Metallurgie; Universität für Forstwirtschaft; Universität für National- und Weltwirtschaft; Nationale Sport Akademie). Dort befinden sich auch alle Studentenwohnheime, sowie Wohngebäude. Durch eine steigende Einwohnerzahl im Einzugsbereich der Anbindungsstrecke ist diese Ausbauvariante des U-Bahnnetzes erforderlich. Erstellte Prognosen zeigen, dass dadurch zusätzlich ca. 80.000 Einwohner<sup>10</sup> mittels U-Bahn befördert werden können.

Es ist geplant die Streckentunnel und Stationen in offener Bauweise und Deckelbauweise mit Schlitzwänden auszuführen. Die geologischen Verhältnisse und die Seichtlage des Tunnels machen den Einsatz der offenen Bauweise als Ausführungsmethode möglich. Da durch den U-Bahnbau verursachte die Auswirkungen auf die Umgebung der Baustelle so gering als möglich sein sollen ist vorgesehen, die U-Bahn teilweise auch in Deckelbauweise herzustellen.

<sup>9</sup> Homepage: [www.de.wikipedia.org](http://www.de.wikipedia.org) 2009.

<sup>10</sup> Homepage: [www.bg.guide-bulgaria.com](http://www.bg.guide-bulgaria.com) 2007.

## 2.1 Untersuchten Varianten

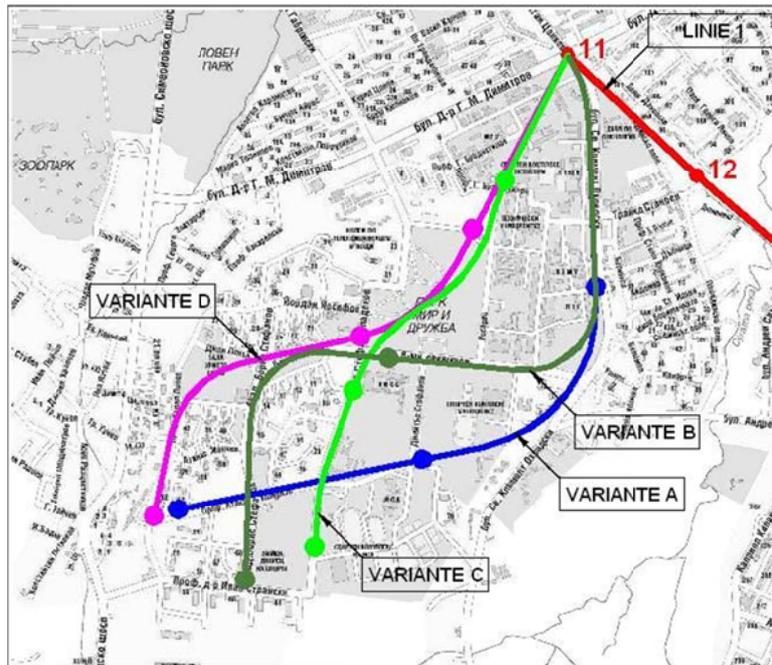


Abb. 4: Schema der vier Anbindungsmöglichkeiten

In der Abb. 4 sind vier Varianten der Anbindungsline zur bestehenden Linie 1 in ihrer Lage dargestellt. Die rote Linie im Bild kennzeichnet die Linie 1 der U-Bahn Sofia. Bei der Trassenführung werden Randbedingungen wie Gesellschaft, Wirtschaft, Verkehr und Besiedelung berücksichtigt. Ein wesentlicher Punkt bei der Untersuchung ist die Einmündung der Anbindungsline in die Station 11 der Linie 1. Bei dieser Einmündung müssen die beiden Linien fast parallel zueinander liegen, um eine Tunnelverzweigungen zu ermöglichen. Aus diesem Grund ist die Ausführung der Variante C und Variante D auszuschließen. Die Variante A (als blaue Linie gekennzeichnet) wird im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit ausführlich untersucht. Die zweite Möglichkeit - Variante B, wird in der Diplomarbeit „Variantenstudie – offene Bauweise mit Bohrpfählen“ von Elvina Stoyanova, Matr. N. 0427340 betrachtet. Am Ende der Diplomarbeiten werden die beiden Varianten in wirtschaftlicher und technologischer Hinsicht verglichen.

Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgt bei Variante A für das 3. Bauabschnitt. Dieses Bauabschnitt wird in Deckelbauweise hergestellt.

## 2.2 Linienführung der Variante A

Die Anbindungsstrecke wird ca. 3,20 km lang sein, drei Stationen haben und von der Station 11 „G. M. Dimitrov“ der U-Bahn Linie 1 bis zur südlichen Grenze des Stadtviertels „Studentski grad“ reichen (siehe Abb. 5).

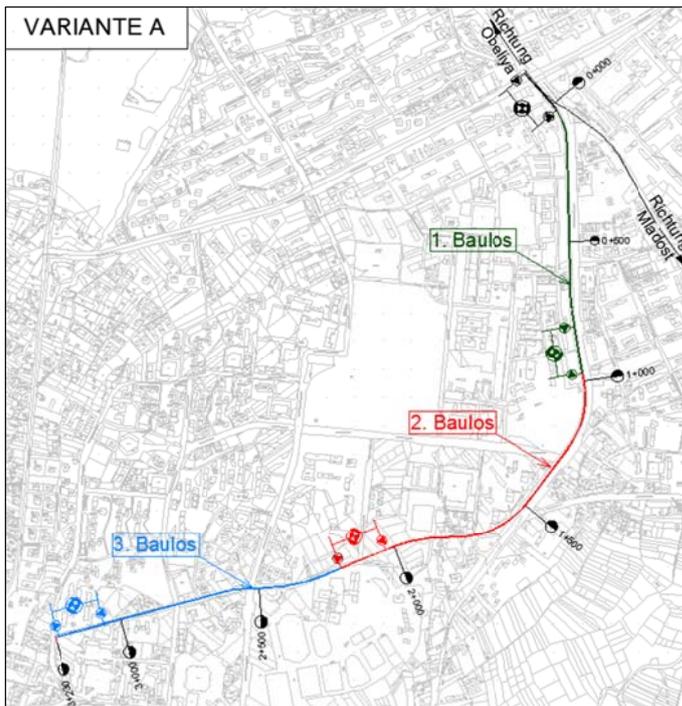


Abb. 5: Lageplan - Variante A – Baulos 1÷3

Die Linie kann in drei Baulose eingeteilt werden. Jedes Baulos endet mit einer Station. In Tabelle 2 werden die Baulose und die Bauweise angegeben.

1. Baulos (970 m): Die Trasse folgt der Straßenbahnlinie 2, die rechts außerhalb der Straßenfahrbahn liegt und derzeit nicht in Betrieb ist.

2. Baulos (1.230 m): Von der ersten Station führt die Trasse entlang des „Sv. Kliment Ohridski“ Boulevards und der „Prof. Vitali Tadzher“ Straße zur zweiten Station „Nationale Sport Akademie“.

Die Baulose 1 und 2 werden in offener Bauweise, ohne dadurch die Straßenverkehr zu behindern, errichtet.

3. Baulos (1.030 m): Die Trasse verläuft auf der „Prof. Ischirkov“ Straße zur Endstation „Prof. Kiril Popov“. Wegen einer Verkehrssperre soll beim Ausbau des 3. Bauloses eine Umorganisation des gesamten Verkehrs vorgenommen werden. Um die Geländeoberfläche wieder möglichst rasch nutzen zu können, wird dieser Baulos in Deckelbauweise hergestellt.

Baulos	Länge	Bauweise	
		Tunnel	Station
1.	970 m	Offene Bauweise	Offene Bauweise
2.	1.230 m	Offene und Deckelbauweise	
3.	1.030 m	Deckelbauweise	

Tabelle 2: Baulose

Alle Stationen erhalten an beiden Enden Zu- und Abgänge. Die Abfertigungsräume (Vestibüle) sind unterirdisch angelegt, damit deren Zugänge als Straßenunterführungen für Fußgänger genutzt werden können.

Bei der Trassenführung im Grundriss ist nach Möglichkeit ein Mindestradius von 300 m (ausnahmsweise 200 m) einzuhalten. Entlang der Strecke gibt es sieben Kreisbögen, von denen einer im minimal zugelassenem Radius von 200 m, zwei mit 300 m, zwei mit 400 m, einer mit 500 m und einer mit 700 m projiziert sind. Die maximale Überhöhung beträgt 110 mm, die maximale freie Seitenbeschleunigung ist  $0,65 \text{ m/s}^2$  und die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit beträgt 70 km/h.

Zum Überwinden der Geländeneigung sind 13 Ausrundungen im Aufriss vorgesehen. Die maximale Streckenneigung beträgt 26‰, der Mindestwert liegt bei 5‰. Minimal und maximal zugelassene Ausrundungsradien sind 5.000 m bzw. 10.000 m. Alle Ausrundungen entlang der U-Bahn-Nivelette werden ohne Übergangsbogen hergestellt. Die Übergangsbögen sollen, um einen ruhigeren Fahrzeuglauf beim Übergang in den Bogen zu erzielen, dann ausgebaut werden, wenn Radien unter 1.200 m zur Anwendung kommen.

#### - Geologische Verhältnisse

Der Tunnel und die U-Bahnstationen befinden sich in unterschiedlichen geologischen Bereichen, welche typisch für die oberen Schichten der Erdkruste sind. In den verschiedenen geologischen Querschnitte sind Schichten von Kies, Sand oder Ton mit veränderlichen Stärken und Gehalten vorhanden. Der anstehende Boden wird schwachen und mittelstarken Böden zugeordnet.

In der Tabelle 3 sind die vorhandenen Bodenschichten mit ihren durchschnittlichen Mächtigkeiten und wichtigsten Kennwerte aufgelistet. Alle geotechnische Berechnungen wurden mit Bemessungskennwerte durchgeführt.

№	Bodenschicht	durchschn. Mächtigkeit, [m]	Raumgewicht $\gamma$ , [kN/m <sup>3</sup> ]	Kohäsion $c$ , [kN/m <sup>2</sup> ]	Reibungswinkel $\phi$ , [°]
1	Humus	0,5	15,00	8,00	10,00
2	Sandiger bis schluffiger Lehm	2,2	19,50	21,00	23,00
3	Kies mit lehmiger Beimengungen	5,4	18,80	10,00	35,00
4	Ton	2,0	17,60	19,00	20,00
5	Sand mit tonige Beimengungen	-	16,90	4,00	28,00

Tabelle 3: Bodenschichten<sup>11</sup>

Im Anhang 5 wird der geologischen Längsschnitte der Anbindungsstrecke dargestellt.

Das Niveau des GWS liegt unter der Baugrubensohle.

Sofia befindet sich in einer Erdbebenregion mit der maximalen seismischen Stärke 9 auf der zwölfstufigen Skala von Medvedev – Sponheuer – Karnik (MSK).

### 2.3 Bauweisen im U-Bahnbau der Anbindung - Variante A (Gesamt)

Der Tunnel liegt relativ seicht unter der GOK, mit einer Sohlentiefe von 6 m bis max. 12 m unter der Straßenoberfläche. Die ganze Linie (Variante A) wird zweischalig in offener Bauweise bzw. in Deckelbauweise ausgebaut. Die Seichtlage wird durch das vorgegebene Niveau der Schienenoberkante in der Station „G. M. Dimitrov“ (567,441 m) bestimmt. Aufgrund der gegebenen Randbedingungen (Verlauf der Tunneltrasse vorwiegend entlang von Straßenzügen; Seichtlage des Tunnels) ist die offene oder halboffene Bauweise als wirtschaftlichste Ausführungsvariante zu empfehlen.

Unter Berücksichtigung der Seichtlage, der Bodenverhältnisse, der Nachbarbebauung, der Verkehrslasten und der Platzverhältnisse werden die Schlitzwände für die Baugrubenumschließung gewählt. Die Vorteile einer Umschließung mittels Schlitzwand sind:

- Verformungsarm;
- Schonend für die bestehende Bebauung;
- Lärmarme Herstellung.

In der offenen Bauweise wird die Baugrube von der Geländeoberkante aus ausgehoben. Ausschließend wird das Tunnelbauwerk von unten nach oben ausgebaut. Bei der Deckelbauweise wird in einem ersten Schritt eine Wand von der Oberfläche aus hergestellt und der Deckel betoniert (siehe Abb. 6). Ausschließend erfolgt der Aushub unter dem

<sup>11</sup> Gutachter: Ass. Koliyo Filipov.

Deckel. Gleichzeitig kann an der Oberfläche die ursprüngliche Nutzung im Tunnelbereich wieder aufgenommen werden.



Abb. 6: Baugrube - a) offene Bauweise<sup>12</sup>; b) Deckelbauweise<sup>13</sup>

Die Baugruben können mit oder ohne Verbauwände erstellt werden. Wenn der Tunnel in einer Tiefe weniger als 5 m unter GOK liegt und genug Platz zur Verfügung steht, ist die Ausführung einer Baugrube mit Böschungen mit zusätzlichen Maßnahmen (Bermen, Holzverbau oder Spritzbeton) möglich.

Die Baugrubenumschließung erfolgt vorwiegend durch Spundwände, Trägerbohlwände, Bohrpfahlwände oder Schlitzwände. Die Verbaukonstruktionen werden gegeneinander ausgesteift oder ein-/mehrfach rückverankert

Für Verkehrstunnelbauten werden geschlossene, biegesteife Rechteckrahmen als Tragwerkssystem verwendet. Der Tunnelquerschnitt wird mittels konventioneller Schalung oder Schalwagen hergestellt. Bei breiten Tunnelquerschnitten sind Stützenreihen oder durchlaufende Mittelwände angeordnet. Der Raum über dem fertigen Tunnel wird rückgefüllt und die ursprüngliche Geländeoberfläche wieder geschaffen.

Die Deckelbauweise bezeichnet die Kombination zwischen der offenen und der geschlossenen Bauweise. Diese Bauweise ist auch als halboffene, „Mailänder“ oder „Cut-and-Cover“ Bauweise bekannt.

Die wesentliche Vorteile<sup>14</sup> der Deckelbauweise sind:

- kürze Verkehrssperre;
- witterungsunabhängiges Bauen;
- grundwasserschonende Bauweise;
- Reduzierung bzw. Entfall von temporären Abstützungsmaßnahmen;

<sup>12</sup> Homepage: [www.metropolitn.bg](http://www.metropolitn.bg) 2009.

<sup>13</sup> Baustelle: U-Bahnbau, Sofia – „Mladost“.

<sup>14</sup> BALDAUF 1988, S. 315-316.

- minimierte Lärm- und Schmutzbelastung.

Es gibt eine Reihe von Nachteile<sup>15</sup>:

- Schwierigere Ver- und Entsorgung der Baustelle;
- Längere unterirdische Transportwege;
- Erschwerte bzw. keine Kranhilfe untertage;
- Größerer technisch konstruktiver Aufwand.

In der Abb. 7 wird die Herstellung eines Tunnels in Deckelbauweise schematisch dargestellt.

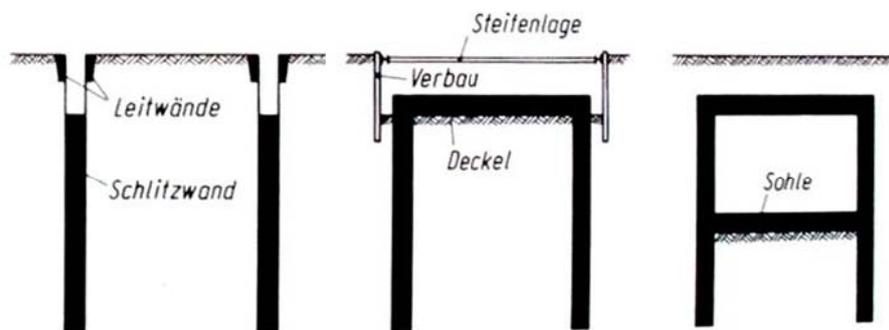


Abb. 7: Schema der Herstellung eines Tunnels in der Deckelbauweise<sup>16</sup>

In Deckelbauweise werden in einem ersten Schritt die Baugrubenwände hergestellt. Ausschließend wird eine Deckenplatte (Deckel), die gleichzeitig als obere Aussteifungsebene dient, betoniert. Die horizontalen Erdlasten, die auf die Verbauwand wirken, müssen nicht durch temporäre Verankerungen aufgenommen werden und werden direkt in den Deckel eingeleitet. Weiters wird der Raum über dem Deckel verfüllt und die Verkehrsfläche wiederhergestellt. Der weitere Bauablauf erfolgt im Schutz des Deckels unterirdisch ohne Beeinträchtigung des Verkehrs, wobei die Ver- und Entsorgung der Baustelle über Schächte, Deckellücken oder Rampen erfolgt.

Die Verbauwände können als dauerhafte Bauelemente in das Bauwerk (einschaliger Tunnel) integriert werden (siehe Abb. 8a). Sie können aus wasserundurchlässigem Beton (WU-Beton) hergestellt werden. Der Tunnel kann auch zweischalig ausgeführt werden. Hierbei werden die Bauwerkswände in einer Innenwand und einer Außenwand unterteilt (siehe Abb. 8b).

<sup>15</sup> BALDAUF 1988, S. 315-316.

<sup>16</sup> Vgl. ebenda.

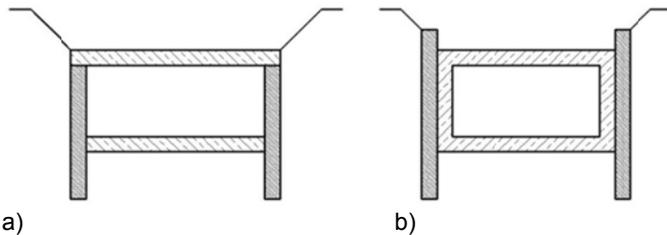


Abb. 8: Typen der Tunnelkonstruktion – a) einschalig; b) zweischalig

Folgende Wandtypen können zum Einsatz kommen:

- Schlitzwände – aus Ortbeton oder Fertigteilen;
- Bohrpfahlwände – aus Ortbeton, bewehrt oder nicht bewehrt, überschnitten, tangierend oder aufgelöst;
- Spundwände – gerammt, gerüttelt, gepresst; Wenn der Deckel in größerer Tiefe liegt, werden die Spundwände als zusätzliche Bauhilfsmaßnahmen verwendet;
- Trägerbohlwand – als Bauhilfsmaßnahme verwendet.

Bei zweischaliger Deckelbauweise sind Wandschalungen in Form eines Schalwagens erforderlich. Allerdings können auch folgende Schalungstypen<sup>17</sup> verwendet werden:

- A-Bockschalung;
- Abstützung gegen Innenbauteile;
- Verankerung an der Außenwände;
- Kombination von Verankerung und Abstützung.

Der Deckel wird aus Stahlbeton oder Spannbeton hergestellt. Schalgerüste für die Deckelplatte sind dabei nicht erforderlich. Er wird eben oder gekrümmt ausgebildet und wird hoch- oder tiefliegend angeordnet.

Der Wasserzutritt kann bei Bauwerken durch Verlegen einer außen- oder innenliegenden Abdichtung oder durch den Einsatz von WU-Beton verhindert werden. Dabei ein besonderes Augenmerk ist auf die Ausbildung der Arbeits- und Dehnfugen zu legen.

Abhängig vom Bauablauf ist die Wahl der Anschlußkonstruktion zwischen Außenwand und Deckel. Die Anschlusskonstruktion (siehe Abb. 9) kann:

- biegesteif – mit Hilfe von Übergreifungs- und Muffenstößen oder für Zwischendecken mit einbetonierten Ankerplatten;
- teilbiegesteif;

<sup>17</sup> BALDAUF 1988, S. 350.

- gelenkig – mittels bewehrtem Betongelenk oder für Zwischendecken direkt in einer Aussparung oder auf nachträglich erstellten Konsolen ausgebildet werden.

Bei biegesteifem Anschluss des Deckels an die Schlitz-/Bohrpfahlwand kann die Einbindelänge der Schlitz-/Bohrpfahlwand folgendermaßen reduziert werden.

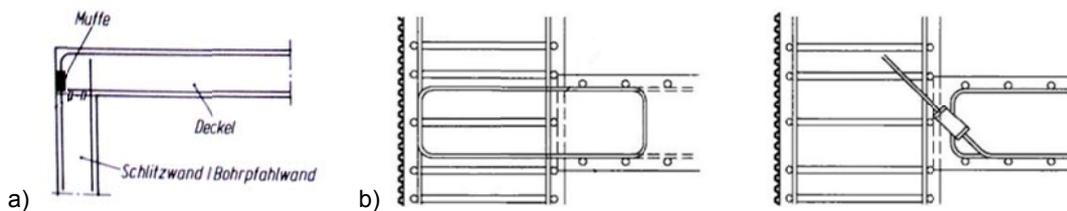


Abb. 9: Anschlüsse – a) Verbauwand und Deckel durch Muffen<sup>18</sup>; b) Verbauwand und Zwischendecken durch Bügel und Muffen<sup>19</sup>

Bei Bauwerken mit großen Spannweiten werden diese durch Anordnung von Innenstützen verringert. Die Innenstützen können auch erforderlich werden, wenn aus verkehrstechnischen Gründen der Deckel in zwei- oder mehreren Abschnitten zu erstellen ist. Die Stützen können in Primär- und Sekundärstützen unterteilt werden. Die Primärstützen werden von der Geländeoberfläche aus hergestellt, während die Sekundärstützen im Schutz des Deckels zur weiteren Stützung der Zwischendecke ausgeführt werden.

<sup>18</sup> BALDAUF 1988, S. 346.

<sup>19</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 211.

## 2.4 Regelquerschnitte und Ausführungsvariante der Anbindung

Die lichten Abmessungen der Tunnelstrecke und des Stationsbereichs richten sich nach den entsprechenden Lichtraumprofilen (siehe Abb. 10). Als Lichtraumprofil wird eine definierte Umgrenzungslinie bezeichnet. Durch das Lichtraumprofil wird der „lichte Raum“ vorgeschrieben, der in Fahrrichtung von Gegenständen freizuhalten ist (siehe Abb. 10).

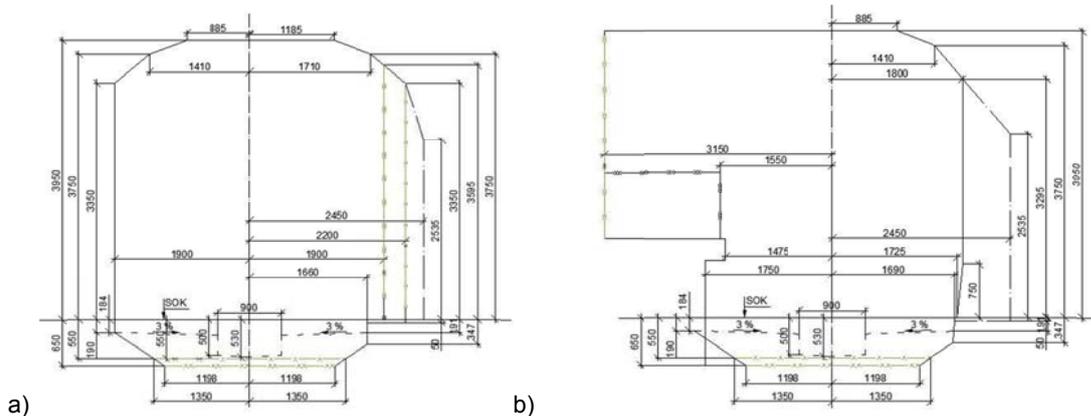


Abb. 10: Lichtraumprofil<sup>20</sup> - a) Tunnelstrecke; b) Station

Für die Anbindungsstrecke werden folgende Abmessungen festgelegt:

- lichte Höhe = 4,70 m
- lichte Breite = 8,00 m
- Wandstärke der Innenschale = 0,5 m
- Stärke der Sohl- und Deckplatte = 0,6 m
- lichte Breite / Stationsbereich = 15,60 m
- lichte Höhe / Stationsbereich = 6,50 m

Es werden Seitenbahnsteige angeordnet, damit keine Gleisverzweigung notwendig ist. Alle Bahnsteige werden in der Höhe des Wagenfußbodens (1,2 m über Schienenoberkante) angelegt. Im Fußboden 60 cm entfernt von der Bahnsteigkante ist eine Sperrlinie eingelassen. Die Länge der Bahnsteige beträgt 120 m, die Breite 5 m. Es wird zwischen den Gleisen eine Reihe von Säulen im Abstand von 2 m angelegt. Der Säulendurchmesser beträgt 0,50 m.

Aufgrund des Kostenvorteils, der leichten Ausführung der Schalung (im Vergleich mit Wölbentunnel) und des Platzbedarfes einer Fertigteilanlage verläuft die Strecke in einem zweigleisigen monolithischen Rechteck-Stahlbetontunnel. Zum Schutz gegen Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit wird die Tunnelkonstruktion zweischalig ausgeführt und zusätzlich ist auch eine Abdichtung aufgebracht.

<sup>20</sup> OGANESOV 1990, S.33.

Für den Ausbau des Tunnels und der Stationen sind vier Regelquerschnitte vorgesehen. Die Regerschnitte unterscheiden sich nach der Bauweise, sowie nach der Aussteifungsmöglichkeit im Bauzustand und werden im Folgenden detailliert beschrieben.

### 2.4.1 Regelquerschnitt 0 (RQ 0)

Die Tunnelstrecke im RQ 0 liegt nahe der Geländeoberfläche. Die Tunnelsohle weist eine Tiefe kleiner 5 m auf. Die Baugrube wird ohne Verbauwände ausgeführt.

Der zweigleisige Tunnel im RQ 0 ist als einstöckig und einschalig geplant. Das Schema des RQ 0 ist in der Abb. 11b dargestellt. Abb. 11a zeigt den Einsatz der RQ 0 entlang der Trasse. Die Einsatzlänge beträgt 360 m.

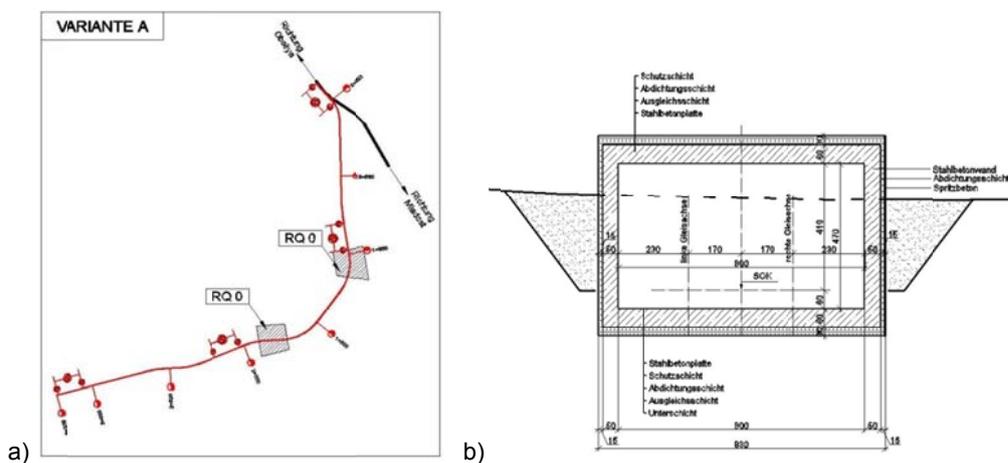


Abb. 11: Regelquerschnitt 0 – a) Einsatzbereich; b) Tunnelkonstruktion

Zum Schutz gegen abrutschende Bodenmasse wird eine Abböschung der Baugrube<sup>21</sup> vorgesehen. Je nach den entsprechenden Bedingungen, z. B. Witterungseinflüsse oder unterschiedlicher Tieflage sollen zusätzliche Maßnahmen wie z. B. Spritzbeton oder Holzverbau zur Anwendung kommen.

Der Böschungswinkel von 45° darf nicht überschritten werden (siehe Abb. 12a). Bei einer Baugrubentiefe größer als 3 m sind Bermen anzuordnen (siehe Abb. 12b).

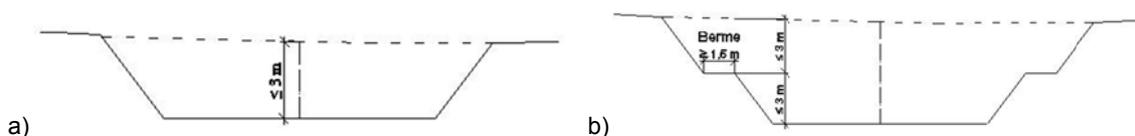


Abb. 12: Regelquerschnitt 0 – a) Baugrube bis 3 m Tiefe; b) Baugrube über 3 m Tiefe

<sup>21</sup> VOTH 1995, S. 45-50

Das Herstellen des Tunnels erfolgt in folgenden Arbeitsschritten:

- Aushub der Baugrube mit Abböschung;
- Herstellen der Tunnelkonstruktion;
- Verfüllen der Baugrube.

## 2.4.2 Regelquerschnitt 1 (RQ 1)

Der Tunnel im RQ 1 (Einsatzlänge: 2.260 m) wird als einstöckig und zweischalig ausgeführt. Der RQ 1 wird in vier Ausführungsvarianten abhängig von der Bauweise und der Aussteifung der Wände unterteilt. In der Abb. 13a wird der Einsatz der RQ 1 entlang der Trasse angegeben und die Abb. 13b zeigt den Tunnelquerschnitt im Endzustand.

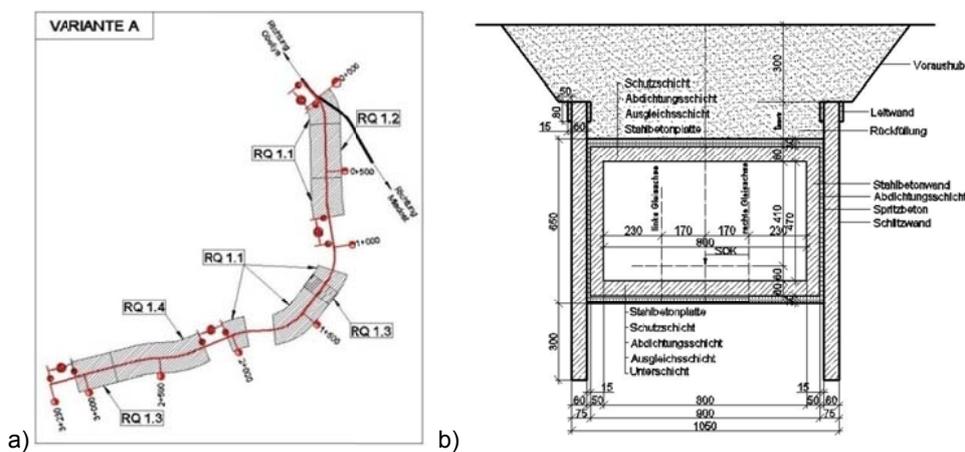


Abb. 13: Regelquerschnitt 1 – a) Einsatzbereich; b) Tunnelkonstruktion

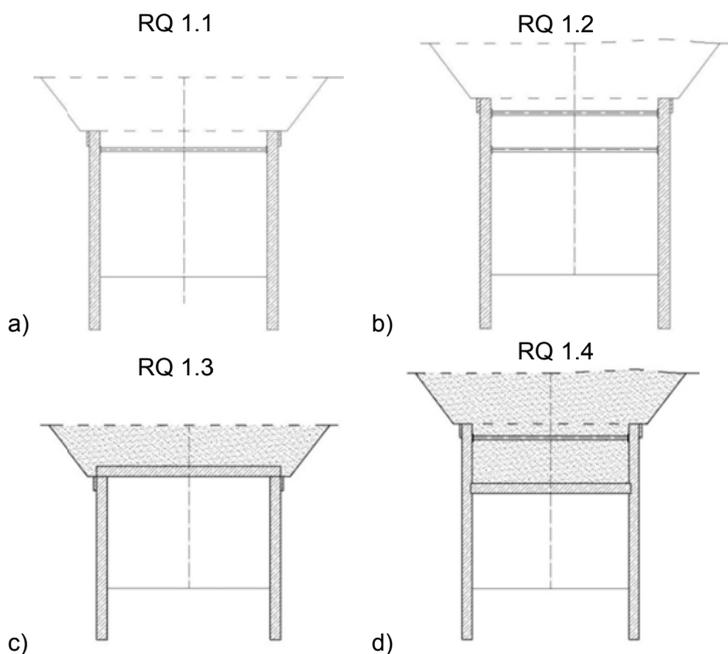


Abb. 14: Regelquerschnitt 1 – a) Ausführungsvariante 1.1; b) Ausführungsvariante 1.2; c) Ausführungsvariante 1.3; d) Ausführungsvariante 1.4;

Die Ausführungsvarianten 1.1 und 1.2 werden in offener Bauweise hergestellt.

Wenn die Tunnelstrecke relativ seicht liegt, wird Ausführungsvariante 1.1 eingesetzt (siehe Abb. 14a). Die Tiefe der Tunnelsohle schwankt hierbei zwischen 5 m und 8 m. Die Verbauwände werden durch eine Reihe von Stahlrohren ausgesteift. Bei einer Tiefe der Tunnelsohle über 8 m werden zwei Reihen von Stahlrohren angeordnet - Ausführungsvariante 1.2 (siehe Abb. 14b).

Der Bauablauf für das Herstellen des Tunnels mit Ausführungsvariante 1.1 und 1.2 ist wie folgt:

- Voraushub;
- Herstellen der Verbauwände;
- Erdaushub bis zur Baugrubensohle mit gleichzeitigem Aussteifen durch Stahlrohren;
- Herstellen der Innenschale;
- Verfüllen der Baugrube.

Die Ausführungsvarianten 1.3 und 1.4 werden in Deckelbauweise hergestellt (siehe Abb. 14c und Abb. 14d). Ausführungsvariante 1.3 kommt zur Anwendung, wenn die Deckelunterkante bis zu 3 m unter der GOK liegt. Liegt die Deckelunterkante tiefer als 3 m erfolgt der Aushub mit gleichzeitigem Aussteifen – Ausführungsvariante 1.4.

Die einzelnen Arbeitsvorgänge beim Herstellen des Tunnels in Deckelbauweise sind:

- Voraushub;
- Herstellen der Verbauwände;
- Erdaushub bis zur Unterkante des Deckels mit gleichzeitigem Aussteifen durch Stahlrohre – gilt bei Ausführungsvariante 1.4;
- Herstellen des Deckels;
- Verfüllen der Baugrube. Wiederherstellung der Verkehrsfläche;
- Unterirdischer Erdaushub bis zur Unterkante der Sohle;
- Herstellen der Innenschale.

#### 2.4.3 Regelquerschnitt 2 (RQ 2)

RQ 2 ist für die Stationsbereiche vorgesehen. Die Tunnelsohle liegt hierbei bis zu 13 m unter GOK. Die Baugrube wird, um einen freien Arbeitsraum zu erhalten, mit Verbauwänden und Verankerungen gesichert. Die Tunnelkonstruktion wird einstöckig ausgeführt.

In der Abb. 15a wird der Einsatz der RQ 2 entlang der Trasse angegeben. Die Abb. 15b zeigt den Tunnelquerschnitt im Endzustand und in der Abb. 16 wird einen Schnitt durch die Baugrube dargestellt.

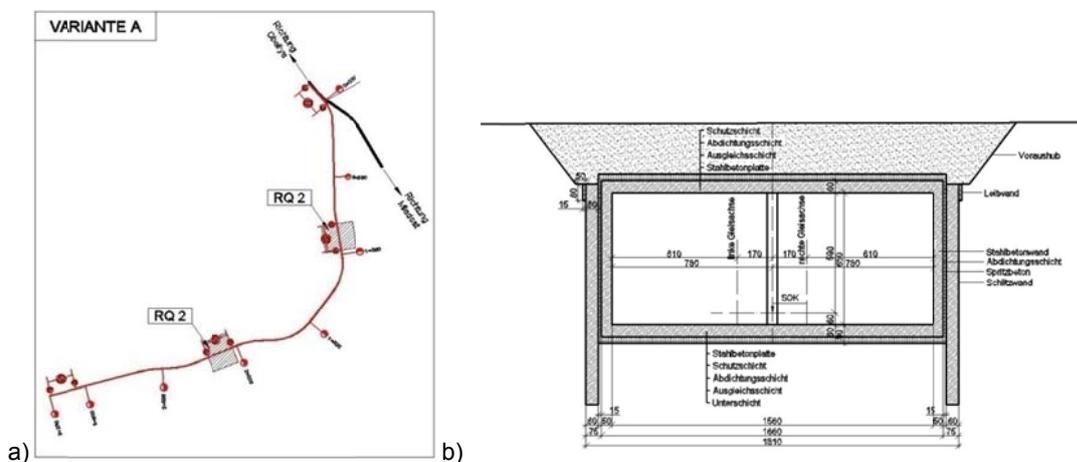


Abb. 15: Regelquerschnitt 2 – a) Einsatzbereich; b) Tunnelkonstruktion

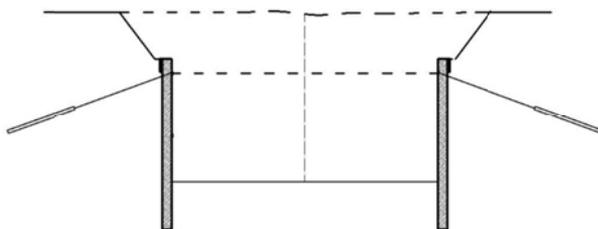


Abb. 16: Regelquerschnitt 3 – Baugrube

#### 2.4.4 Regelquerschnitt 3 (RQ 3)

RQ 3 ist für die dritte Station vorgesehen. Die Baugrube wird, um einen freien Arbeitsraum zu erhalten, mit Verbauwänden und Verankerungen gesichert (siehe Abb. 18).

Die Tunnelsohle liegt tiefer als 13 m unter GOK. Hierdurch entsteht ein Hohlraum bis zur GOK, der für Garagenzwecke genutzt werden kann. Die Tunnelkonstruktion wird zweistöckig ausgeführt (siehe Abb. 17b).

In der Abb. 17a wird der Einsatz der RQ 3 entlang der Trasse angegeben.

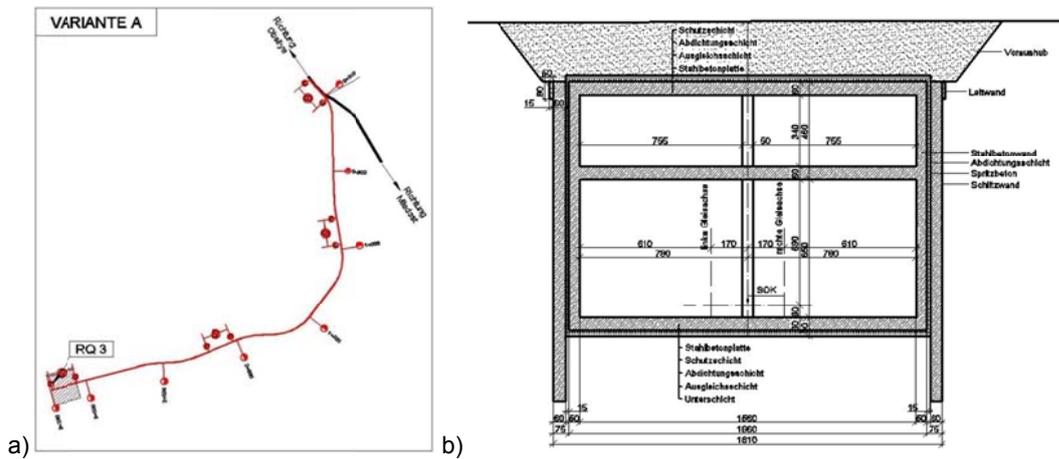


Abb. 17: Regelquerschnitt 3 – a) Einsatzbereich; b) Tunnelkonstruktion

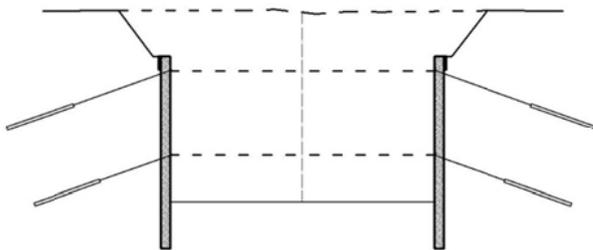


Abb. 18: Regelquerschnitt 3 - Baugrube

#### Arbeitsschritte:

- Voraushub;
- Herstellung der Verbauwände;
- Erdaushub bis zur Baugrubensohle mit gleichzeitiger 2-fachen Rückverankerung;
- Herstellen der Innenschale;
- Verfüllen der Baugrube.

### 3 SCHLITZWANDTECHNIK

#### 3.1 Allgemeines

##### 3.1.1 Kurzbeschreibung

Schlitzwände sind Wände im Untergrund aus Stahlbeton, Beton oder anderen vornehmlich zementgebundenen Stoffen, die in flüssigkeitsgestützten Erdschlitzten im Kontraktorverfahren (Ortbeton-Schlitzwand) elementweise betoniert werden. Schlitzwände können auch aus Betonfertigteilen (Fertigteilschlitzwand) hergestellt werden. Der Aushub der Schlitzte geschieht durch Seilbagger mit Spezialgreifern oder -fräsen abschnittsweise in sog. Lamellen. Durch Aneinanderreihen der Lamellen entsteht eine durchlaufende Wand.

Die Schlitzwände können bis zu einer Tiefe von 150 m und in Wanddicken von 0,40 m bis 1,20 m ausgeführt werden (mit Fräsen sind max. Wanddicken bis zu 3,0 m ausführbar)<sup>22</sup>.

Die Verfahren zur Herstellung von Schlitzwänden sind geräuscharm und erzeugen nur geringe Erschütterungen. Sie sind daher besonders für den städtischen Tiefbau geeignet.

##### 3.1.2 Definitionen nach ÖNORM EN 1538<sup>23</sup>

- Ortbetonschlitzwand (en: cast in situ concrete diaphragm wall) - Schlitzwand aus unbewehrtem oder bewehrtem Ortbeton, die in einem im Baugrund ausgehobenen Schlitz hergestellt wird. Der Beton wird bei flüssigkeitsgestützten Schlitzten unter der stützenden Flüssigkeit mit Hilfe von Betonierrohren oder in einigen Fällen auch im Trockenen eingebaut.
- Fertigteilschlitzwand (en: recast concrete diaphragm wall) - Schlitzwand aus Fertigteilen, die in einen Schlitz abgesenkt werden, der eine selbsterhärtende Suspension enthält.
- Bewehrte Einphasen Schlitzwand (en: reinforced slurry wall) - Schlitzwand aus einer selbsterhärtenden Suspension, die mit Stahlprofilen, Stahlmatten oder anderen geeigneten Bauteilen bewehrt ist.
- Einphasenschlitzwand (en: slurry wall) - Schlitzwand aus einer selbsterhärtenden Suspension. In den meisten Fällen wird für den Aushub eine selbsterhärtende

---

<sup>22</sup> JODL 2008, S. 2/41.

<sup>23</sup> ÖNORM EN 1538, 2000.

Suspension als stützende Flüssigkeit verwendet; Abdichtungselemente wie Membranen oder Spundwände können eingebaut werden.

- Schlitzwandelement<sup>24</sup> (en: panel) - Abschnitt der Schlitzwand, der als einzelne Einheit betoniert wird. Ein Schlitzwandelement kann die Form einer Geraden, eines T, L oder andere Formen besitzen.
- Leitwände (en: guide-walls) - Parallele Wände geringer Tiefe mit vorübergehender Funktion, die als Führung für das Aushubwerkzeug dienen und die Schlitzwandung im Bereich des schwankenden Flüssigkeit gegen Einsturz sichern.
- Stützende Flüssigkeit (en: supporting fluid) - Flüssigkeit, die während des Aushubes zum Stützen der Schlitzwände verwendet wird. In der Regel handelt es sich dabei um eine Bentonitsuspension, eine Polymerlösung oder eine selbsterhärtende Suspension.
- Selbsterhärtende Suspension (en: self-hardening slurry) - Suspension, die zeitabhängig erhärtet. Es handelt sich dabei um eine Suspension, die Zement bzw. ein anderes Bindemittel und zusätzliche Stoffe, wie z. B. Ton (Bentonit), gemahlene Hochofenschlacke, Flugasche, Füller und Zusatzmittel enthält.

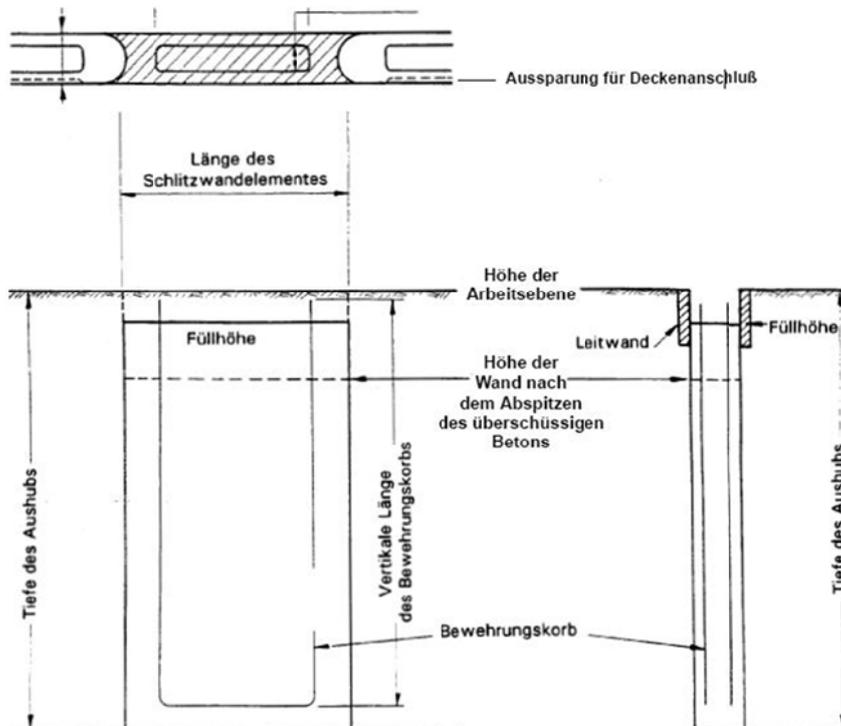


Abb. 19: Geometrie eines Schlitzwandelementes<sup>25</sup>

<sup>24</sup> In der Diplomarbeit als Schlitzwandlamelle bezeichnet (In der Praxis wird meistens Lamelle verwendet.)

<sup>25</sup> ÖNORM EN 1538, 2000, S. 9.

### 3.2 Anwendungsgebiete

Der Bau von Hochhäusern, Tiefgaragen und unterirdischen Massenverkehrsmitteln mit mehreren Untergeschossen erfordert tiefe Baugruben. Die Herstellung solcher Baugruben kann mit der Schlitzwandbauweise in praktisch allen Bodenverhältnissen erschütterungs- und lärmfrei durchgeführt werden.

Schlitzwände können als temporäre (Bauhilfskonstruktion) und auch als permanente Konstruktion (endgültiges Bauwerksbestandteil) eingesetzt werden. In beiden Fällen können sie tragende und/oder dichtende Funktion übernehmen.

Die wichtigsten Anwendungsbereiche sind:

- Baugrubenumschließungen bei hohen Anforderungen an der Steifigkeit;
- bei Baugruben im innenstädtischen Bereich, z. B. wo im Einflussbereich der Verbaumaßnahme Gebäude oder sonstige setzungsempfindliche Bauteile zu sichern sind;
- Sicherung von Baugruben und Schächten (statisch horizontal und/oder vertikal belasteten Wand) und Sicherung bestehender Gebäude;
- Bestandteil des endgültigen Bauwerks im U-Bahn Bau oder bei Tiefgaragen (siehe Abb. 20d);
- Tiefgründungen von Brückenfundamenten;
- Aufnahme von Zugkräften im Boden;
- Böschungssicherung (siehe Abb. 20f) - zur Erhöhung der Standsicherheit dienen sie Stützwände;
- Ufersicherung (siehe Abb. 20e);
- wasserdichte Wand im Bereich der Baugruben;
- Schlitzdichtwand – zur Abdichtung des Untergrundes unter Staubauwerke, zur Ufersicherung, zur Einkapselung von Deponien und Altlasten, zur Schonung und Schutz des Grundwassers (siehe Abb. 20g,h).

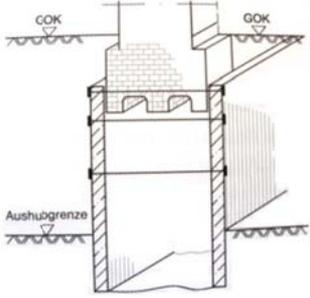
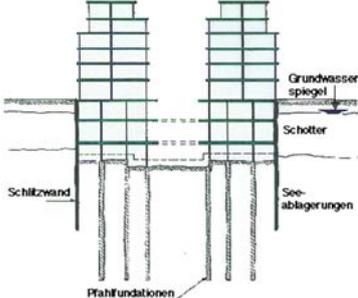
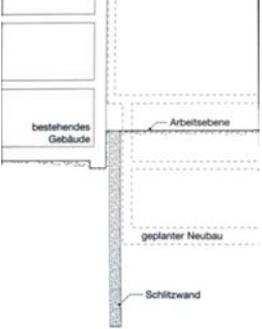
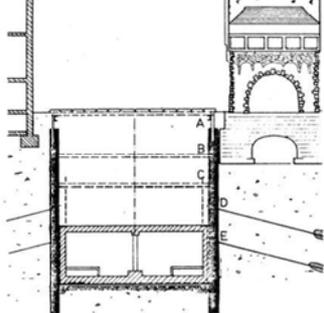
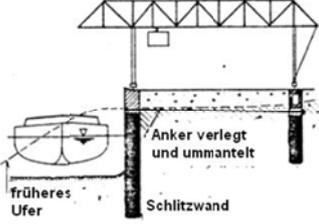
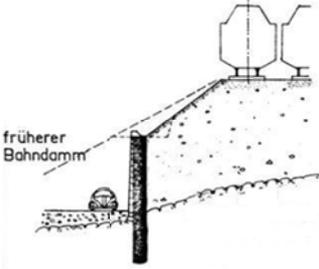
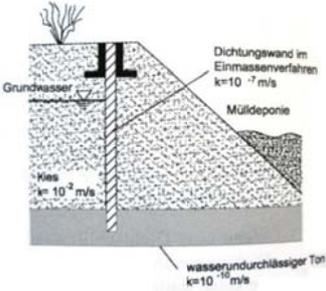
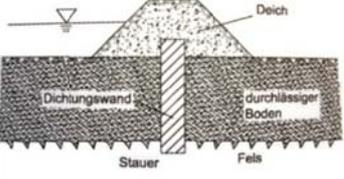
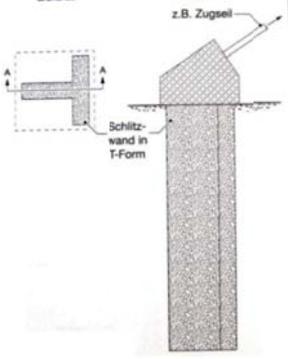
		
a) Unterfangung von Gebäuden	b) Haussicherung	c) Baugrubenumschließung neben Bebauung
		
d) Haussicherungswände für eine U-Bahnstation	e) Ufersicherung	f) Stützmauer gegen Bahndamm
		
g) Einkapselung von Deponien	h) Deich mit Dichtungswand	i) Als Gründungselement

Abb. 20: Anwendungsbeispiele für Schlitzwände<sup>26,27,28</sup>

### 3.3 Vor- und Nachteile

#### Vorteile:

- Anwendbar bei verschiedensten Bodenverhältnissen (außer Fels);
- Herstellung in Tiefen über 50 m;
- Aufnahme von großen Biegemomenten möglich;

<sup>26</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 9, 268.

<sup>27</sup> JODL, 2008, S. 2/37.

<sup>28</sup> HUDELMAIER 2009, S. K/11 – K/13.

- minimale Bodenbewegungen hinter der Wand;
- Verformungsarm – bei Rückverankerung 1 bis 2 ‰ Horizontalverformung, bezogen auf die freie Wandhöhe;
- geringe Erschütterungen - beim Fräsen praktisch keine;
- geräuscharm;
- wirtschaftlich – falls die Schlitzwände als Bauwerksbestandteil einbezogen werden;
- platzsparend – unmittelbar an Bauwerke herangebaut oder auch darunter für Unterfangungen;
- Minimierung des Aushubes nur auf die Kubatur des tragenden Baukörpers;
- wasserdicht – minimalen Anzahl von Fugen; „Es kann nicht erwartet werden, dass Schlitzwände vollkommen wasserdicht sind, da das Durchsickern an Fugen, an Aussparungen und durch den Wandbaustoff vorkommen kann. Feuchte Stellen und Wassertropfen können unter normalen Bedingungen nicht vermieden werden.“<sup>29</sup>;
- eine Absenkung des Grundwassers ist nicht unbedingt erforderlich;
- als unterirdische Dichtungswand bei Tiefen > 25 m nahezu konkurrenzlos.

#### Nachteile:

- schwierige Entsorgung der verbrauchten Stützflüssigkeit;
- problematische Aussparungen für querende Leitungen oder Kanäle;
- nicht wiederverwendbar;
- Oberflächenstruktur hängt stark von den durchteuften Bodenschichten ab und kann dadurch großen Unregelmäßigkeiten aufweisen;
- Undichtigkeiten der Wand werden durch nicht maßgenauen Aushub oder Mängel beim Betonieren verursacht.

### 3.4 Verfahrenstechnik<sup>30,31,32</sup>

#### 3.4.1 Herstellverfahren

Nach dem System der Wandherstellung gibt es drei verschiedene Arten der Schlitzwände:

- Zweiphasen – Verfahren;
- Einphasen – Verfahren;
- Kombinations – Verfahren.

---

<sup>29</sup> ÖNORM EN 1538, 2000.

<sup>30</sup> SCHNELL 1995, S. 163 – 168.

<sup>31</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 19 – 25.

<sup>32</sup> JODL 2008, S. 2/43 – 2/46.

Bei der Art des Lösens und Förderns des Bodens wird unterschieden zwischen:

- gegreiferter Schlitzwand und
- gefräster Schlitzwand.

#### 3.4.1.1 Zweiphasen – Verfahren

Dieses Verfahren wird für die Herstellung von bewehrten und unbewehrten Schlitzwänden verwendet. Der Aushub des Schlitzes erfolgt im Schutz einer nicht aushärtenden Suspension, die nach Erreichen der Endtiefe durch Beton verdrängt wird. Die Schlitzwand wird elementweise hergestellt. Die einzelnen Schlitzwandlamellen werden durch Abstellkonstruktionen getrennt. Die Betonierarbeiten erfolgen im Kontraktorverfahren.

Der Arbeitsablauf bei der Herstellung einer gegreiferten oder einer gefrästen Schlitzwand wird schematisch in der Abb. 21 und in der Abb. 22 dargestellt und gliedert sich wie folgt:

- Voraushub - die Wände der Baugrube werden abgeböscht oder bei geringen Platzverhältnissen auch verbaut. DIN 4124 legt die entsprechenden Böschungswinkel in Abhängigkeit der Bodenarten fest;
- Herstellung der Leitwänden;
- Schlitzaushub - 1. Phase: als Aushubgeräte werden Greifer oder Fräse verwendet. Der Aushub des Schlitzes erfolgt im Schutz einer nicht erhärtenden Stützflüssigkeit. Sie verhindert den Nachfall und Einsturz der Lamelle und besteht aus einer Bentonitsuspension;
- Einbringen der Abschalelemente;
- Einbau der Bewehrung;
- Betonieren – 2. Phase: die Stützflüssigkeit wird von unten nach oben durch den in Kontraktorverfahren eingebrachten Beton verdrängt und ausgetauscht. Die verdrängte Stützflüssigkeit wird zur Wiederaufbereitung und –verwendung abgepumpt;
- Ziehen der Abschalelemente.

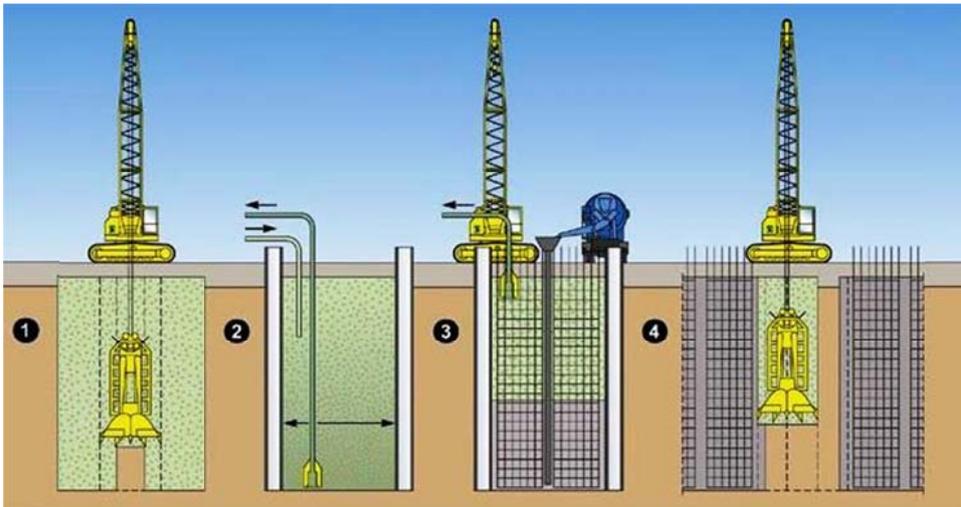


Abb. 21: Arbeitsablauf beim Herstellen einer gegreiferte Schlitzwand<sup>33</sup>

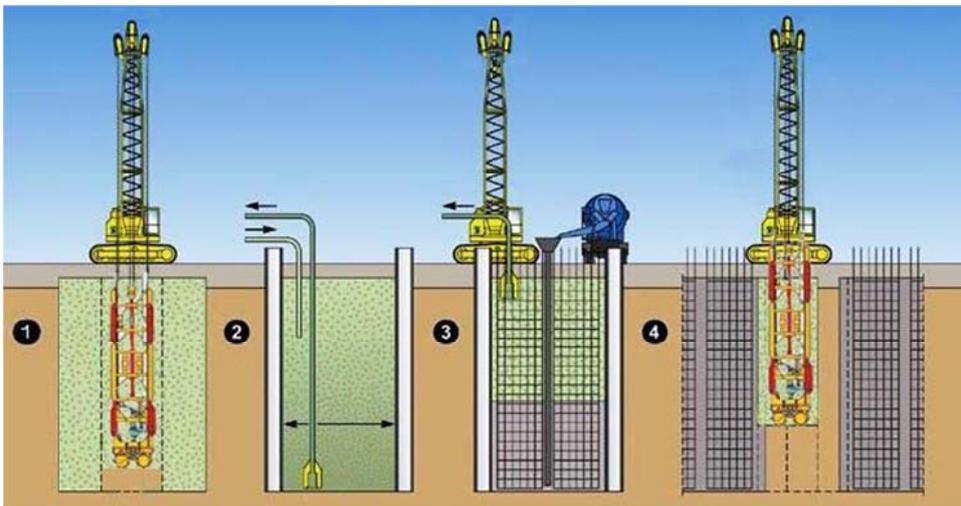


Abb. 22: Arbeitsablauf beim Herstellen einer mit Fräse ausgehobenen Schlitzwand<sup>34</sup>

### 3.4.1.2 Einphasen – Verfahren

Dieses Verfahren wird hauptsächlich für die Herstellung von Dichtwänden eingesetzt. Als Stützflüssigkeit wird eine verzögernd erhärtende Suspension verwendet (eine Phase). Die Suspension hat eine stützende Funktion während des Aushubs und bildet den endgültigen, erhärteten Baustoff zusammen mit den durch die Aushubarbeit eingemischten Feinteilen. Die Verarbeitungszeit beträgt zwischen 8 und 24 h und kann durch den Einsatz von Verzögern verlängert werden.

<sup>33</sup> Firmenprospekt: Brueckner Grundbau GmbH 2007.

<sup>34</sup> Vgl. ebenda.

### 3.4.1.3 Kombinationsverfahren

Unter Kombinationswände versteht man bewehrte Schlitzwände, die im Einphasenverfahren hergestellt sind und mit Betonfertigteilen oder Stahlelementen versehen werden (siehe Abb. 23). Die Schlitzte werden kontinuierlich in einer Arbeitsrichtung hergestellt.

In der ÖNORM EN 1538 wird eine Schlitzwand, die mit Stahlprofilen, Stahlmatten oder andere geeigneten Bauteilen bewehrt ist, als eine „bewehrte Einphasenschlitzwand“ bezeichnet.

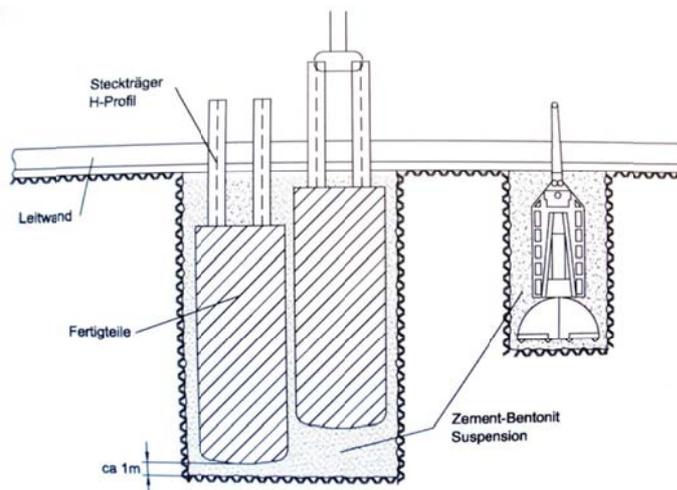


Abb. 23: Herstellen einer Fertigteilenschlitzwand<sup>35</sup>

Folgende Varianten der Kombinationswände kommen zur Anwendung:

- Beton-Fertigteilwand - Nach dem Erreichen der Endtiefe, bevor die Suspension erstarrt, wird ein bewehrtes Betonfertigteile in den Schlitz eingebaut. Im Fußbereich des Fertigteils wird die Suspension zuvor durch Beton ersetzt. Die mögliche Einbautiefe ist durch die maximale Transportlänge der Betonfertigteile von ca. 18 ÷ 20 m begrenzt.
- Schlitzdichtwand mit eingestellter Spundwand - Wenn die Schlitzdichtwand nicht nur dichtende sondern auch statische Funktionen übernehmen soll, kann sie mit dem Einbau von Stahlrohren oder Doppel-T-Trägern verstärkt werden.
- Kombinierte Schlitzdichtwand - Wenn besonders hohe Anforderungen an die Dichtigkeit der Schlitzdichtwand gestellt werden, können zusätzlich Folien oder Sonderkonstruktionen aus Metall- oder Glaselementen eingebracht werden. Die maximal bisher erreichten Tiefen liegen bei ca. 30 m.

<sup>35</sup> TRIANTAFYLIDIS 2004, S. 231.

## 3.4.1.4 Vor- und Nachteile

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Zweiphasen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schlitzwände sind als konstruktives Element einsetzbar;</li> <li>- große Tiefen erreichbar (bis max. 100 m);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mehraufwand in der Herstellung;</li> <li>- Aufwendige Abdichtung durch Fugenkonstruktion;</li> </ul>
Einphasen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Fugensystem notwendig;</li> <li>- Wirtschaftlicher;</li> <li>- große Tiefen erreichbar (bis max. 70 m);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schlitzwände sind nicht als Gründungselement einsetzbar;</li> <li>- erhöhte Abnutzung der Geräte durch Zementsuspension;</li> </ul>
Kombination (Fertigteilwand)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- exakte Vorfertigung im Werk;</li> <li>- glatte Oberfläche, keine Nachbehandlung notwendig;</li> <li>- hohe Wasserdichtigkeit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hohe Transportkosten (abhängig von der Lage des Erzeugerbauwerkes);</li> <li>- Einsatzbegrenzung durch Transportlänge und Gewicht;</li> <li>- großer Platzbedarf zum Lagern der Teile auf der Baustelle.</li> </ul>

Tabelle 4: Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren bei der Schlitzwandherstellung<sup>36</sup>

## 3.4.1.5 Herstellen der Wand in Lamellen

Es gibt drei Arten zur Herstellung der Schlitzwandlamellen (Abb. 24):

- kontinuierlich;
- alternierend (Pilgerschritt);
- kombiniert.

Je nach Herstellungsvorgang gibt es:

- Vorläuferlamelle (Anfängerlamelle) - wird als erstes in der unmittelbaren Umgebung hergestellt;
- Nachläuferlamelle (Schließerlamelle) - wird als letztes in der unmittelbaren Umgebung hergestellt;
- Läuferlamelle - wird unmittelbar nach einer Vorläuferlamelle oder nach einer vorhergehenden Läuferlamelle hergestellt.

<sup>36</sup> JODL 2008, S. 2/43 - 2/45.

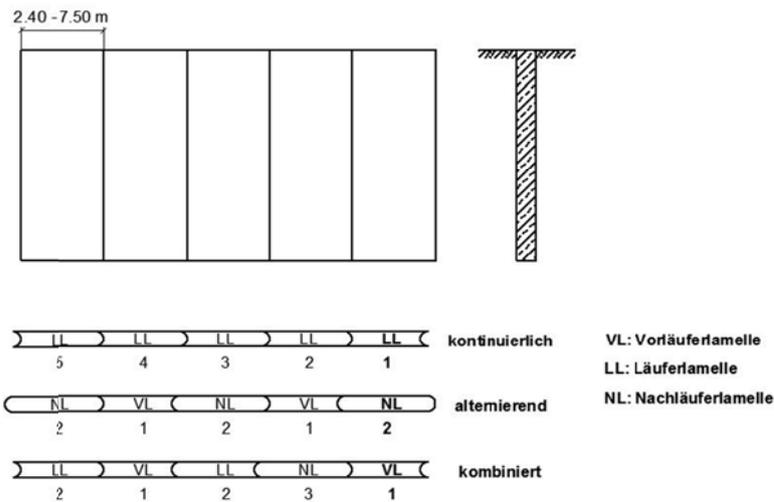


Abb. 24: Reihenfolge der Lamellenherstellung<sup>37</sup>

Beim Pilgerschrittverfahren, welches aus baubetrieblichen Gründen zeitoptimiert ist, werden zunächst die Primärlamelle und anschließend die Sekundärlamelle ausgeführt. Wenn mit dem Aushub einer Lamelle begonnen wird, kann parallel dazu in einem anderen Schlitz die Bewehrung einsetzen oder betonieren werden. Dadurch ist ein optimaler Einsatz der vorhandenen Ressourcen möglich.

Beim kontinuierlichen Herstellungsverfahren folgt die Herstellung einer Läuferlamelle nach der Herstellung der Vorläuferlamelle.

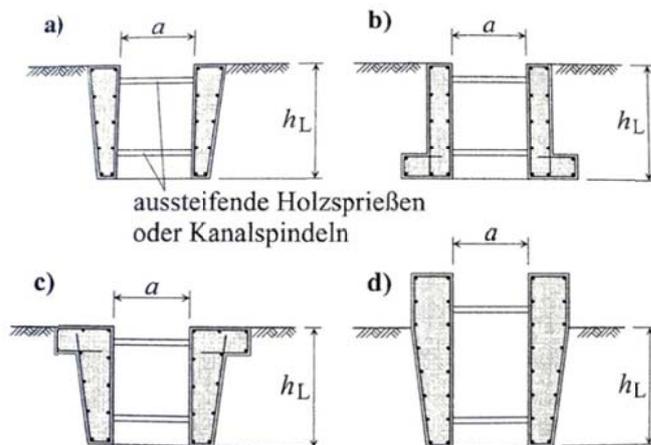
### 3.4.2 Leitwandherstellung

Die Leitwände sind eine Hilfskonstruktion und gehören zu den wichtigen Vorbereitungsarbeiten bei der Herstellung einer Schlitzwand. Sie gewährleisten eine geradlinige und glatte Schlitzwandflucht. Aus diesen Gründen ist auf eine sorgfältige Ausführung der Leitwand besonders zu achten. Die Leitwände werden vor dem Aushub des Bodenschlitzes aus Stahlbeton mit geringem Bewehrungsgrad (Ortbeton oder Fertigteilen) hergestellt. Sie werden nach Fertigstellung der Wand in der Regel abgebrochen. Die Leitwände haben folgende Funktionen:

- Sichern der Genauigkeit der Wandansatzlinie und Führung der Aushubwerkzeuge;
- Stützen des oberste Bodenbereiches, wo der Stützflüssigkeitsdruck nicht vorhanden oder zu gering ist;
- Kontrollieren und Niveauh alten des Stützflüssigkeitsspiegels;
- Auflager für die Einrichtung zum Ziehen der Fugenabstellkonstruktion.

<sup>37</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 37.

Die Leitwände sind zwischen 0,15 m und 0,25 m dick und werden mit einer von den Baugrubenbedingungen abhängigen Höhe von 0,70 m bis 1,50 m, bei Sonderkonstruktionen sind auch größerer Leitwandhöhen möglich, hergestellt.<sup>38</sup> Die Höhe ist abhängig von den Schwankungen des Stützflüssigkeitsspiegels während des Aushubs und der seitlichen Belastung. Leitungen oder Hindernisse müssen vor Beginn der Schlitzwandarbeiten beseitigt werden. Abb. 25 zeigt einige Beispiele für Querschnittsformen von Leitwänden bei der Ausführung in Ortbeton.



$a$  - lichter Abstand der Leitwände  $a = d_n + \text{Übermaß (ca. 5 cm)}$

$d_n$  – Nenndicke (Breite des Aushubwerkzeugs)

$h_L$  - Leitwandhöhe

Abb. 25: Leitwandformen bei Ortbetonausführung<sup>39</sup> - a) bei standfesten Böden und normaler Beanspruchung durch Aushubwerkzeuge; b) bei kohäsionslosen oder aufgeschütteten Böden und normaler Beanspruchung durch Aushubwerkzeuge; c) bei standfesten Böden und hoher Beanspruchung durch Aushubwerkzeuge; d) bei standfesten Böden und für höheren Suspensionsspiegel.

Der Abstand  $a$  zwischen den Leitwänden sollte 20 bis 50 cm größer sein als die Nenndicke der Schlitzwand (Abb. 25). Dieser Abstand gewährleistet einerseits eine gute Führung für eine genaue und fluchtgerechte Wandherstellung.

Bei Ortbetonausführung im standfesten bindigen Boden ist nur eine Innenschalung erforderlich. Nach außen wird direkt gegen das Erdreich betoniert.

Bei nicht standfestem Boden muss die Leitwand, wie in der Abb. 25b dargestellt, in Form einer Winkelstützwand ausgebildet und nach dem Ausschalen hinterfüllt werden. Die Verfüllung muss verdichtet werden.

Bei schwierigen Bodenverhältnissen und gespanntem Grundwasserspiegel wird die Leitwand über das Arbeitsniveau betoniert (Abb. 25d), um einen höheren Suspensionsspiegel (größere Stützwirkung) zu ermöglichen.

<sup>38</sup> ÖNORM EN 1538, 2000.

<sup>39</sup> MÖLLER 2003, S. 311.

Die Leitwände sollten, bis zum Aushubbeginn, damit sie durch Fundamentlasten oder Baggerlasten nicht nach innen geschoben oder gekippt werden können, gegeneinander ausgesteift sein.

Die Oberkante der Leitwand sollte in der Regel horizontal und auf beiden Seiten des Schlitzes auf gleicher Höhe verlaufen<sup>40</sup>, damit die Pressen zum Ziehen der Abschallkonstruktionen einfacher positioniert werden können. Damit das Arbeitsplanum relativ sauber bleibt, sollte die Oberfläche etwa 10 bis 30 cm tiefer liegen als das Arbeitsplanum.

Eine Sonderform von Leitwänden ist die treppenartige Ausführung, die bei abfallendem oder ansteigendem Gelände hergestellt werden kann. Durch diese treppenartige Ausbildung verläuft die Oberkante waagrecht und die Leitwände werden der Geländeneigung angepasst. Um Schwierigkeiten beim Ziehen der Abschallkonstruktion zu vermeiden muss die Abtreppung muss etwa in der Lamellenmitte erfolgen.

### 3.4.3 Aushub der Schlitzwandlamelle

Der Boden wird unter dauernder Zufuhr der Stützflüssigkeit mittels speziellen Aushubwerkzeugen ausgehoben. Der Aushub kann mit Hilfe von Greifer oder von Fräse erfolgen.

#### 3.4.3.1 Greiferverfahren<sup>41</sup>

Beim Greiferverfahren erfolgt der Aushub intermittierend. Das Aushubmaterial wird als ein Gemisch aus Boden und Stützflüssigkeit ausgehoben, wobei die Stützflüssigkeit wieder aus dem Greifer abfließt. Das Aushubmaterial ist meist noch stark mit der Suspension verunreinigt und wird in einem Aushubbecken oder einem Stahlbehälter abgelagert, aus welchem die Stützsuspension zur Regenerierungsanlage abgepumpt werden kann.

Falls im Zuge der Aushubarbeiten Findlinge oder sonstige Hindernisse angetroffen werden, kann der Greifer durch einen Freifallmeißel ersetzt werden.

---

<sup>40</sup> ÖNORM EN 1538, 2000.

<sup>41</sup> HUDELMAIER 2009, S. K/6, K/7.

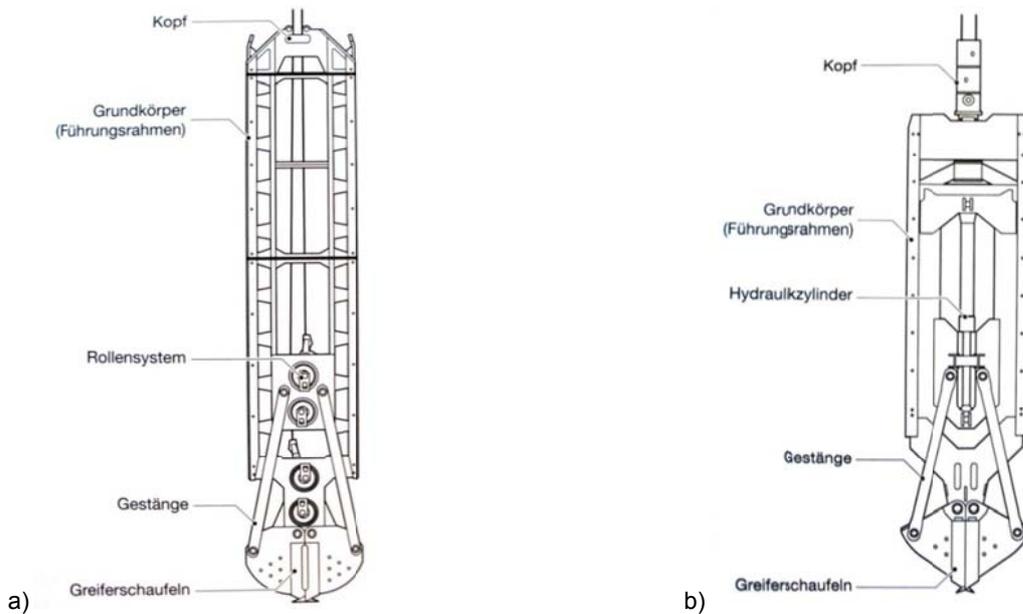


Abb. 26: Schlitzwandgreifer<sup>42</sup> – a) Mechanischer; b) Hydraulischer Schlitzwandgreifer

Mechanischer Greifer<sup>43</sup>: (Zweiseilgreifer) der Betrieb erfolgt mechanisch durch das Schließseil und Hubseil. Das Hubseil dient zum Heben und Senken des Greifers; Das Schließseil zum Schließen der Greiferschalen. Das Schließseil wird drei- bis sechsfach eingesichert, wodurch hohe Schließkräfte erzielt werden können.

Der Greifer besteht aus dem Führungsrahmen, den darunter angebrachten zweiseiligen Greiferschaufeln, dem im Grundkörper untergebrachten Rollensystem und dem Kopf mit der Aufhängevorrichtung. An den Schalen sind auch Zähne zum Lösen angebracht (siehe Abb. 26a). Die Schneid- und Meißelzähne sind auf Abrieb oder Verschleiß zu kontrollieren und sind auswechselbar. Das Schließteil muss wegen des Abriebes in gewissen zeitlichen Abständen erneuert werden.

Hydraulischer Greifer: Beim hydraulischen Schlitzwandgreifer handelt es sich um einen Greifer, bei welchem das Öffnen und Schließen mit einer hydraulisch betriebenen Gestängekonstruktion erfolgt. Die Hydraulik wird dabei über Schläuche vom Trägergerät aus versorgt. Der hydraulische Greifer kann auch an einer Kellystange montiert sein, wodurch eine besonders gute Führung im Schlitz erreicht wird (siehe Abb. 26b).

Hydraulische Schlitzwandgreifer können auch mit einem eingebauten permanenten Mess- und Steuersystem ausgerüstet sein, das es ermöglicht eine Abweichung vom senkrechten Aushub zu erkennen.<sup>44</sup>

<sup>42</sup> HUDELMAIER 2009, S. K/6.

<sup>43</sup> TRIANTAFYLLIDIS, 2004, S. 42 – 46.

<sup>44</sup> HUDELMAIER, 2009, S. K/7.

**Tieflöffleinrichtung:** Der Schlitzwandaushub kann auch mit einem Tieflöffelbagger erfolgen, wenn die Standfestigkeit des flüssigkeitsgestützten Schlitzes den Aushub von ausreichend langen Lamellen ermöglicht. Tieflöffelbagger sind handelsübliche Hydraulikbagger, die mit einem Tieflöffel, an einem besonders langen Greifarm, ausgestattet sind.

### 3.4.3.2 Fräsverfahren

Im Fräsverfahren wird das Bodenmaterial kontinuierlich an der Schlitzsohle gelöst, zerkleinert und der Stützsuspension beigemischt. Der mit der Stützsuspension vermengte Boden wird mit einer Fräsenpumpe über eine Schlauchleitung nach oben zur Entsandungsanlage gepumpt. Anschließend wird das Fräsklein von der Suspension getrennt und die aufbereitete Suspension wird zurück in den Schlitz gepumpt.

Die Bentonitsuspension dient bei diesem Verfahren sowohl zur Stützung des Schlitzes, als auch zur Förderung des Bodenmaterials.

Die Fräse besteht aus zwei oder vier sich zu einander gegenläufig drehenden Fräserädern, welche am unteren Ende eines langen und schweren Stahlprofilrahmens angebracht sind. Über den Fräserädern ist eine hydraulisch betriebene Kreiselpumpe montiert (siehe Abb. 27). Die Bestückung der Fräse mit Zähnen ist dem jeweiligen Boden anzupassen.



Abb. 27: Systeme der Fräse und erforderliche Einrichtungen<sup>45</sup>

<sup>45</sup> Homepage: [www.bauer.de](http://www.bauer.de) 2009.

### 3.4.3.3 Merkmale der Schlitzwandgeräte

Die Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Einsatzbereiche und die Tabelle 6 über die Vor- und Nachteile der zuvor beschriebenen Aushubwerkzeuge.

		Einsatzbereich			
		Breite	Länge	Tiefe	Böden
Greifer	Seilgreifer	0,4 ÷ 1,2 m	2,4 ÷ 4,3 m	bis 50 m	Sande, Kiese, Geröllblöckige, feinkörnige Böden
	Hydraulikgreifer	0,5 ÷ 2,0 m	2,0 ÷ 4,2 m	bis 30 m	Sande, Kiese, Geröllblöckige, feinkörnige Böden
	Tieflöffleinrichtung	-	-	bis 12 m	Sande, Kiese, Geröllblöckige, feinkörnige Böden
Fräse		0,5 ÷ 3,2 m	2,2 ÷ 5,0 m	bis 150 m	Sande, Kiese, Fels

Tabelle 5: Einsatzbereich der Schlitzwandgeräte<sup>46</sup>

	Vorteile	Nachteile
Greifer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- flexible Tiefenanpassung;</li> <li>- geringe Erschütterung;</li> <li>- gute Hindernissbeseitigung durch schnellen Wechsel auf Meißel;</li> <li>- geringerer Platzbedarf;</li> <li>- günstige Baustelleneinrichtung;</li> <li>- Wirtschaftlich für Wandflächen bis zu 7.500 m<sup>2</sup> ;</li> <li>- kein „Verklemmen“ des Greifers im Untergrund;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geringe Lagegenauigkeit;</li> <li>- Gerätebedingte Begrenzung der Aushubtiefe;</li> <li>- Fehlstellenpotential in den Fugen;</li> </ul>
Fräse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sehr hohe Leistung;</li> <li>- Erschütterungsarm;</li> <li>- sehr große Tiefen erreichbar;</li> <li>- hohe Fugendichtheit;</li> <li>- hohe Ausführungsgenauigkeit;</li> <li>- kontinuierliche Regeneration der Stützflüssigkeit;</li> <li>- gereinigter Bodenaushub durch Aufbereitung des Fräsgutes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gefahr des „Verklemmens“ der Fräse bei Stahl und Holz im Untergrund;</li> <li>- größerer Platzbedarf;</li> <li>- komplexere Baustelleneinrichtung;</li> <li>- lange Stehzeiten bei Vortriebsproblemen;</li> <li>- große Bauhöhe des Fräsgerätes;</li> <li>- höhere Anschaffungs- und Wartungskosten.</li> </ul>

Tabelle 6: Vor- und Nachteile der Schlitzwandgeräte<sup>47</sup>

<sup>46</sup> MAYBAUM 2009, S. 139.

<sup>47</sup> Vgl. ebenda.

### 3.4.4 Stützsuspension

#### 3.4.4.1 Beschreibung

Die Tonsuspensionen verhalten sich wie thixotrope Flüssigkeiten und werden zur Stützung unverbaute Erdwände bei Schlitzwänden, Bohrungen und im Tunnelbau verwendet.

Unter Thixotropie versteht man die Eigenschaft der Suspension, solange diese in Ruhe ist, eine gelartige Konsistenz anzunehmen oder steifer zu werden und diese Versteifung in Form einer Verflüssigung zu verlieren, wenn diese umgeformt oder gerührt wird. Bei der Überschreitung der Fließgrenze tritt das Fließen der Suspension ein. Bis zu dieser Grenze verhält sich die Suspension ähnlich wie ein fester Körper, aber nach der Überschreitung dieser Grenze - wie eine Flüssigkeit. Die zeitliche Entwicklung der Fließgrenze wird als thixotrope Verfestigung bezeichnet.

Nach ÖNORM EN 1538 werden als Stützflüssigkeiten Tonsuspensionen, selbsterhärtende Suspensionen oder Polymerlösungen eingesetzt. Meistens werden zur Stützung offener Schlitz Bentonitsuspensionen verwendet.

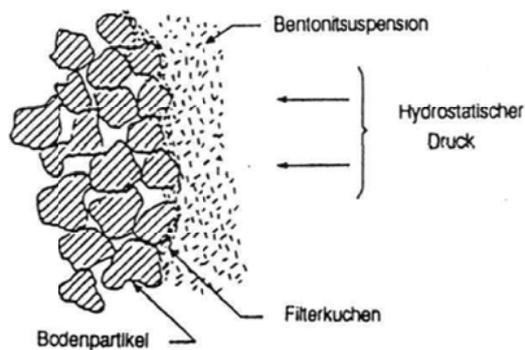
Bentonite sind natürlich vorkommende Tone, die hauptsächlich Montmorillonite aber auch Begleitminerale wie Quarz, Glimmer, Feldspat, Pyrit und Kalk enthalten.

Die Bentonitsuspension verhindert, dass Teile des Bodenkörpers aus der Wandung herausfallen und übt eine stützende Kraft auf das Einzelkorn aus, sodass einzelne Kornfraktionen nicht aus der Schlitzwandung herausgelöst werden können. Die Standsicherheit der mit stützender Flüssigkeit gefüllten Schlitz muss über vier Einzelnachweise aufgezeigt werden. Sie dienen zum Nachweis der Sicherheit<sup>48</sup> gegen:

- den Zutritt von Grundwasser in den Schlitz;
- das Abgleiten von Einzelkörnern oder Korngruppen („innere Standsicherheit“);
- das Unterschreiten des statisch erforderlichen Flüssigkeitsspiegels;
- das Abgleiten des Bodens - gefährliche Gleitflächen („äußere Standsicherheit“).

---

<sup>48</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 147.

Abb. 28: Filterkuchen<sup>49</sup>

Die Stabilität ist von der Filtratwasserabgabe, den Verunreinigungen und der Bildung des Filterkuchens abhängig. Als Filterkuchen bezeichnet man einen relativ dünnen Film von Tonpartikeln (siehe Abb. 28). Über diesen Film in Abhängigkeit von der Bodenart übt die Suspension einen hydrostatischen Druck auf die Schlitzwandungen aus, der größer sein muss als derjenige des Erddruckes und des Grundwasserdruckes.

In der Tabelle 7 sind die Eigenschaften der Bentonitsuspension und ihre Prüfmethode, sowie die wesentlichen Anforderungen angegeben.

Eigenschaften	Definition	Prüfung	Anforderungen
Fließgrenze, $\tau_{F(t,T)}$ , [N/m <sup>2</sup> ]	ist die Schubspannung, ab der Fließen eintritt (Bruchscherspannung). Sie hängt von der Temperatur T und bei thixotropen Flüssigkeiten von der Zeit t der thixotropen Verfestigung ab.	Pendelgerät, Kugelharfen-gerät	0 - 50 (60) N/m <sup>2</sup> $0,5\tau_F \leq \tau_{F(10^\circ\text{C})} \leq 1,3\tau_F$ $0,7\tau_F \leq \tau_{F(30^\circ\text{C})} \leq 1,5\tau_F$ statt $\tau_F \leq 3,5\tau_F$ $\tau_{500} \leq 1,5\tau_F$
Scherspannung, $\tau_{500}$ , [kN/m <sup>2</sup> ]	ist die Scherspannung beim Geschwindigkeitsgefälle $D = 500 \text{ s}^{-1}$ und der $T = 20^\circ\text{C}$ .	Rotationsviskosimeter Marsch-Trichter	Marsch Zeit: 32 – 60 s
Filtratwasserabgabe, $f$ , [cm <sup>3</sup> ]	ist das Volumen des Filtratwassers in cm <sup>3</sup> im Filterpressversuch.	Filterpresse	< 50 cm <sup>3</sup>
Tongehalt, $g_{15}$ , [kg/m <sup>3</sup> ]	ist der Tongehalt in kg/m <sup>3</sup> Suspension, der beim Filterpreßversuch eine Filtratwasserabgabe $f = 15 \text{ cm}^3$ ergibt.	graphisch siehe Abb. 29	-
Dichte, $\rho_F$ , [t/m <sup>3</sup> ]	Die Dichte $\rho_S$ des nicht getrockneten Tons, bezogen auf das Feststoff- und Wasservolumen, ist ein Rechenwert, der für die Berechnung des Mischrezeptes notwendig ist.	Spülungswaage	< 1,25 t/m <sup>3</sup>
pH-Wert	bestimmt den Säuregrad einer Lösung	pH-Elektrode pH-Messstreifen	7 ÷ 11
Sandgehalt, [%]	ist der Massenanteil an Sand in der Suspension	Verfahren nach Vohard	< 4%

Tabelle 7: Übersicht der Eigenschaften von den Stützflüssigkeiten<sup>50,51</sup><sup>49</sup> JODL 2008, S.1/22.<sup>50</sup> DIN 4126, 2004.<sup>51</sup> ÖNORM EN 1538, 2000, S. 5.

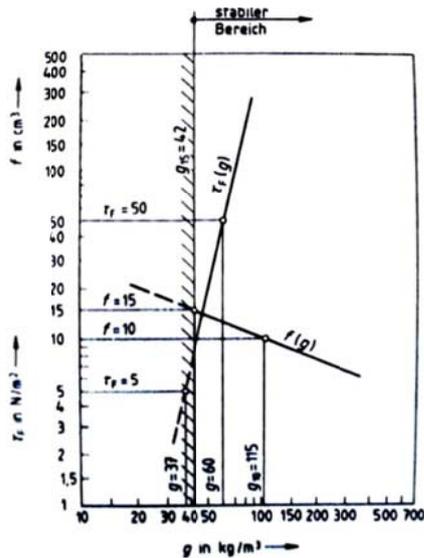


Abb. 29: Fließgrenze und Filtratwasserabgabe in Abhängigkeit vom Tongehalt (Beispiel)<sup>52</sup>

#### 3.4.4.2 Bezeichnung nach DIN 4127

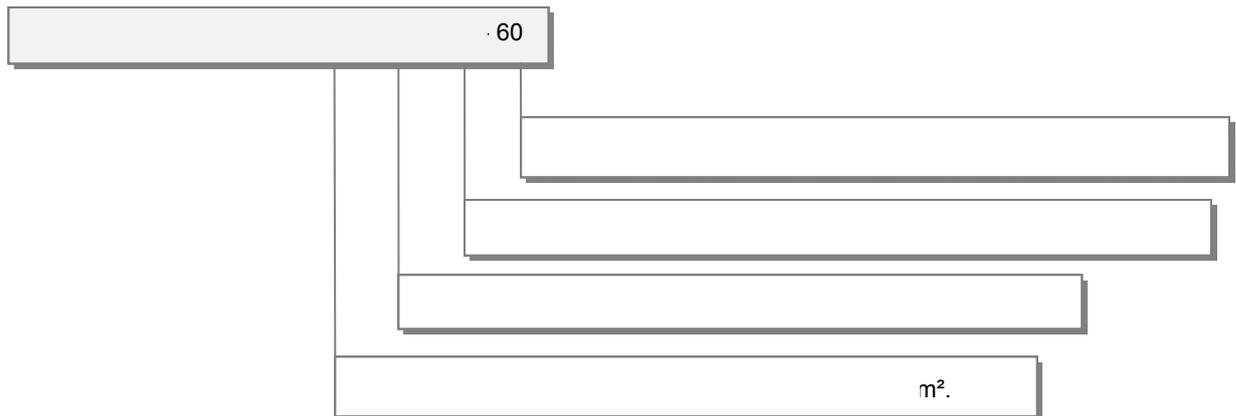


Abb. 30: Bezeichnung eines Schlitzwandtons (Beispiel)<sup>53</sup>

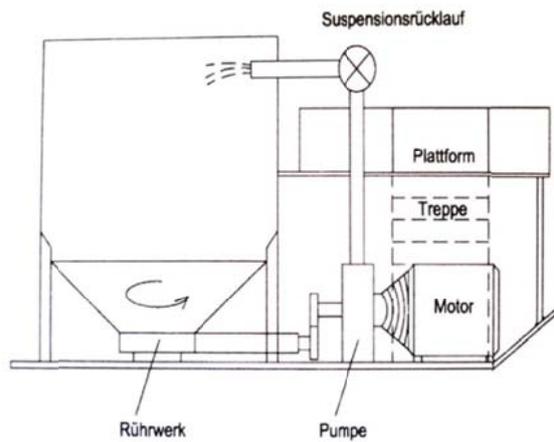
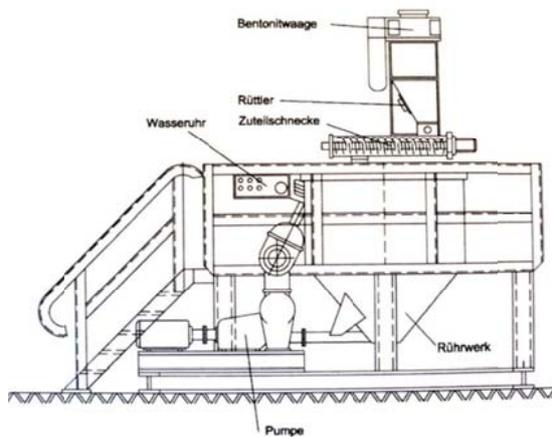
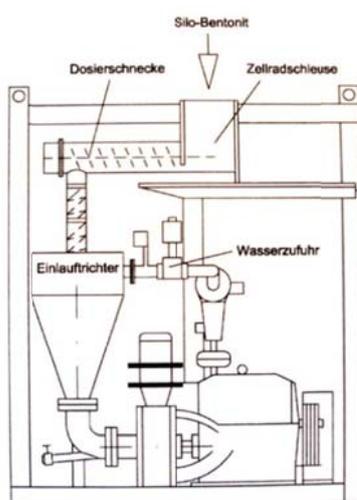
#### 3.4.4.3 Aufbereitung<sup>54</sup>

Die Stützflüssigkeit wird auf der Baustelle aus Bentonitmehl und Frischwasser zubereitet. Der Mischvorgang wird entweder in Mischanlagen chargenweise oder in einer Supratornmischanlage kontinuierlich ausgeführt. Die Hydratation der Suspension und die hierfür erforderliche Zeit hängen von der Art des Mischens ab. Damit die Bentonitsuspension eine ausreichende Hydratisierung und volle Stabilität erreicht, muss sie über einen Zeitraum (10 bis 24 Stunden) ausquellen, d. h. die Suspension muss bereits einen Tag vor ihrer Verwendung hergestellt werden.

<sup>52</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 113.

<sup>53</sup> DIN 4127, 1986, S. 3.

<sup>54</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 125 – 128.

Abb. 31: Prinzip eines einfachen Mischers<sup>55</sup>Abb. 32: Bentonitmischanlage für Siloware<sup>56</sup>Abb. 33: Supratonanlage<sup>57</sup>

Kleine Mischanlage (siehe Abb. 31): Das Trockenbentonit wird langsam, damit es nicht zur Klumpfenbildung kommt, in einem sich bewegenden Wasser beigemischt. Der Mischprozess erfolgt kontinuierlich mit mechanischen Mixern oder durch Pumpenschleusung. Nach 10 min Mindestmischzeit ist 50% der Hydratation abgeschlossen. Anschließend wird die Stützflüssigkeit in die Vorratsbehälter gepumpt, wo der Hydratationsprozess weitergehen kann.

Größere Mischanlage: Auf großen Baustellen, wo große Volumina an Stützsuspension aufbereiten werden müssen, wird das Bentonit als Siloware geliefert. Die Mischanlage ist mit einer Bentonitwaage und einer Zuteilschnecke für das Silobentonit ausgestattet. Hierdurch kann das Trockenbentonit entsprechend dosiert werden (siehe Abb. 32).

Supratonanlage: Um eine große kontinuierliche Durchflussleistung von ca. 20 m<sup>3</sup>/h gewährleisten zu können wird bei sehr großen Schlitzwandbaustellen eine Supratonanlage verwendet. Die Dosierung erfolgt mittels Zellradschleuse und Dosierschnecke. Die Supratonanlage besteht aus einem Gehäuse mit einem Rotor-Stator-System, in dessen Zwischenräumen Bentonit und Wasser intensiv durchmischt werden (siehe Abb. 33).

<sup>55</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 125.

<sup>56</sup> Ebenda, S. 126.

<sup>57</sup> Ebenda, S. 127.

### 3.4.4.4 Regenerierung

Die Regenerierungsanlagen reinigen die Stützflüssigkeit von Sand und feinen Bodenbestandteilen. Die verunreinigte Suspension wird über den Dosierbehälter (1) auf ein Vibrationssieb oder Rüttelsieb (als kombiniertes Grob- und Entwässerungssieb ausgebildet) (2) befördert. Auf diesem Sieb werden Grobsand oder Kies mit einer Körnung größer als 3 mm von der Suspension getrennt und abgeführt (3). Die gesiebte Suspension gelangt in einen Auffangbehälter (4) und wird von dort über eine Kreiselpumpe (5) zu den Hydrozyklonen gepumpt (6). Feinere Bodenfraktionen (Partikeln bis zu 0,03 mm Korngröße) werden über Zykclone abgetrennt. Die regenerierte Suspension fließt über den Oberlauf der Zykclone ab (siehe Abb. 34).

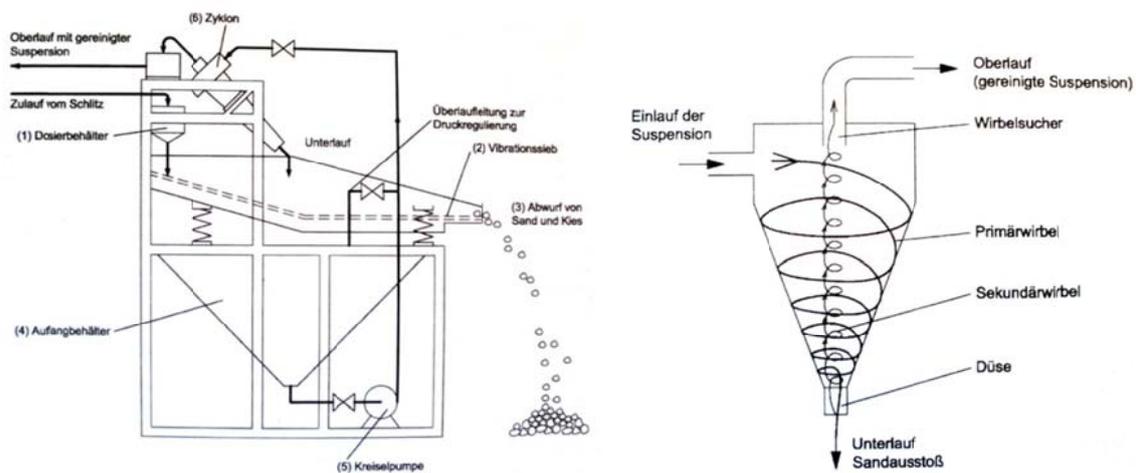


Abb. 34: Schema einer Regenerierungsanlage und eines Zyklons<sup>58</sup>

Die Ausrüstung für die Aufbereitung, Bevorratung und Regenerierung einer Stützflüssigkeit wird in Abb. 35 dargestellt.

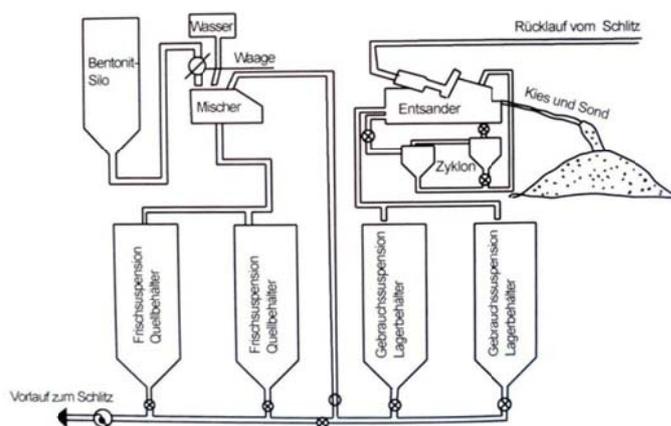


Abb. 35: Schema einer Baustelleneinrichtung für Suspensionverarbeitung<sup>59</sup>

#### Ausrüstung:

- Mischanlage – 1 Stück;
- Regenerierungsanlage – 1 Stück;
- Vorratsbehälter – 4 Stück mit je 20 m<sup>3</sup> oder mehr;
- Diverse Pumpen;
- Leitungsrohre.

<sup>58</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 129, 130.

<sup>59</sup> MAYBAUM 2009, S. 140.

### 3.4.5 Fugenkonstruktion

Beim Zweiphasenverfahren bilden sich zwischen einzelnen Betonierabschnitten (Schlitzwandlamellen) planmäßige Fugen. Die Abstellkonstruktionen (Fugenkonstruktionen) teilen sich in drei Grundtypen (siehe Abb. 36). Sie können entweder vor dem Abbinden des Betons gezogen werden oder verbleiben als verlorene Schalung im Bauwerk. In den ersten Lamellen (Vorläuferlamellen) werden zwei Fugenkonstruktionen eingebaut, in den folgenden Lamellen (Läuferlamellen) – eine und in den letzten Lamellen (Nachläuferlamellen) – keine.

Abstellkonstruktionen müssen eine ausreichende Festigkeit aufweisen und über ihre gesamte Länge gerade sein.<sup>60</sup>

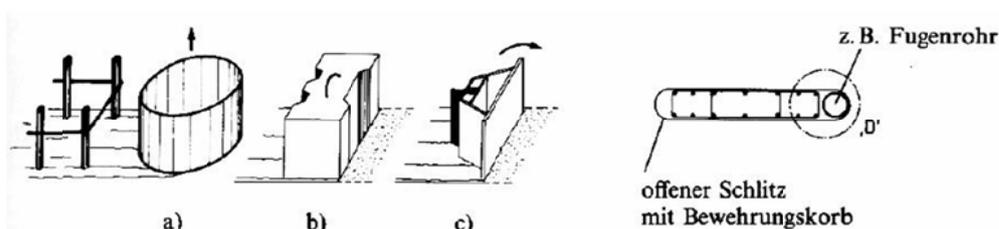


Abb. 36: Fugensysteme zwischen den Lamellen<sup>61</sup> - a) Abstellrohr; b) Betonfertigteil; c) Fugenbandelement

#### 3.4.5.1 Abstellrohr

Als Abstellkonstruktion werden meist Abschallrohre aus Stahl verwendet. Der Außendurchmesser dieser Rohre entspricht der Schlitzwanddicke. Der Arbeitsablauf der Fugenausbildung wird schematisch in der Abb. 30 angegeben und gliedert sich wie folgt:

- Einbringen der Abstellrohre – sie werden in den mit Suspension gefüllten Schlitz gestellt;
- Bewehren und Betonieren des Schlitzelementes;
- Ziehen der Abstellrohre – nach dem Erstarrungsbeginn des Betons werden die Rohre mit entsprechender Vorrichtung gezogen;
- Beseitigen des Umlaufbetons – Beim Aushub des Nachbarschlitzes muss die Fuge von anhaftenden Boden- und Betonteilen gereinigt werden.

<sup>60</sup> ÖNORM EN 1538, 2000.

<sup>61</sup> SMOLTZYK, 1992, S. 507.

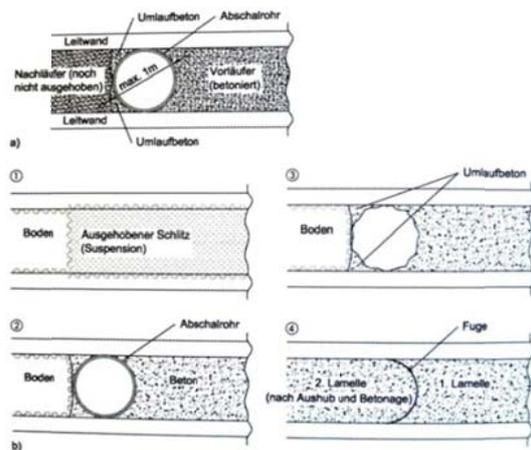


Abb. 37: Der Arbeitsablauf der Fugenausbildung mit Abstellrohre<sup>62</sup>

### 3.4.5.2 Betonfertigteil

Zur Lamellenbegrenzung werden auch vorgefertigte Elemente aus Stahlbeton verwendet (siehe Abb. 38). Sie bleiben im Schlitz einbetoniert. Zwischen jedem Fertigteil und den benachbarten Schlitzwandlamellen entsteht eine Fuge, d. h. zwei Trennflächen.

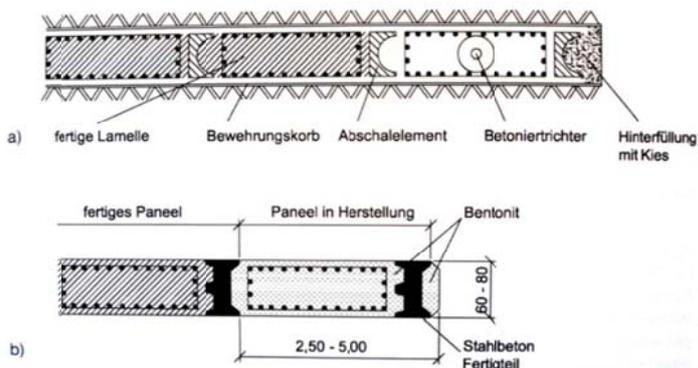


Abb. 38: Stahlbetonfertigteile als Abschalelemente<sup>63</sup>

### 3.4.5.3 Fugenbandelement

Der Einbau von Fugenbandelementen verhindert Feuchtstellen in den Lamellenfugen. In der Abb. 39 wird ein trapezförmig geformtes Stahlprofil dargestellt. Der Arbeitsablauf der Fugenausbildung gliedert sich wie folgt:

- Einquetschen des Gummifugenbandes in das Stahlprofil;
- Einbringen des Fugenbandelementes;
- Bewehren und Betonieren der Schlitzlamelle;

<sup>62</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 136.

<sup>63</sup> Ebenda, S. 142.

- Ziehen des Fugenbandelementes – beim Endaushub der Nachbarlamelle wird das Stahlprofil mit Hilfe eines Hebeegerätes gekippt und herausgehoben. Das Gummifugenband bleibt in der Fuge eingebaut.

Die nächste Fuge wird mit dem wiedergewonnenen Stahlprofil (gereinigt und eingefettet) mit einem neuen Gummiband ausgebildet.

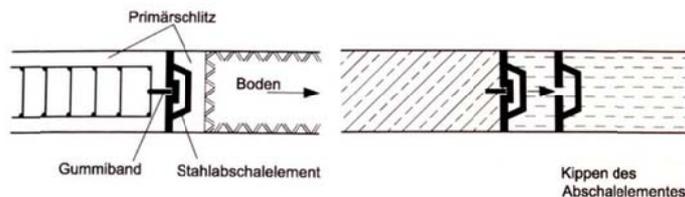


Abb. 39: Die Fugenausbildung mit Fugenbandelement<sup>64</sup>

### 3.4.5.4 Vor- und Nachteile der verschiedenen Abstellkonstruktionen

Abstellkonstruktion		Vorteile	Nachteile
Abstellrohr	Fugenrohr aus Stahl	<ul style="list-style-type: none"> <li>- umläufiger Beton lässt sich sicher entfernen;</li> <li>- Anpassungsfähig an jede Schlitztiefe;</li> <li>- gute Verzahnung der Schlitzwandlamelle;</li> <li>- langer Sickerweg;</li> <li>- gute Führung des Greifers beim Aushub des Sekundärschlitzes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erheblicher Kraftaufwand beim Ziehen der Rohre;</li> <li>- schwierige Bestimmung des richtigen Zeitpunktes zum Ziehen der Rohre;</li> <li>- mögliche Ablenkung des Greifers wegen des nicht gut entfernten Umlaufbetons;</li> </ul>
	Fugenrohr aus Pappe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gleiche Vorteile wie beim Fugenrohr aus Stahl;</li> <li>- Zieheinrichtung entfällt;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geringere Standfestigkeit durch geringeres Eigengewicht;</li> <li>- Pappe löst sich in Suspension auf (schwierige Suspensionsregeneration);</li> </ul>
Fertigteile aus Stahlbeton		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zieheinrichtung entfällt;</li> <li>- durch hohes Eigengewicht standfest;</li> <li>- gute Verzahnung der Schlitzwandlamellen;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umlaufbeton nicht sicher vollständig zu entfernen;</li> <li>- Aufwendige Stoßkonstruktion bei großen Schlitzten;</li> <li>- zwei Trennflächen;</li> </ul>
Fugenbandelement		<ul style="list-style-type: none"> <li>- gute Dichtwirkung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschränkung der erreichbaren Tiefe.</li> </ul>

Tabelle 8: Vor- und Nachteile der verschiedenen Abstellkonstruktionen<sup>65</sup>

<sup>64</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 143.

<sup>65</sup> SCHNELL 1995, S. 186.

### 3.4.5.5 Fugenausbildung beim Aushub mit Hydrofräsen

Bei Arbeiten mit der Schlitzwandfräse entsteht eine Fuge bereits beim Bodenaushub. Die Primärlamelle wird hergestellt und nach der ausreichenden Erstarrung des Betons wird, um eine Verzahnung der beiden Lamellen herzustellen, beim Aushub der Sekundärlamelle die Primärlamelle angefräst, (siehe Abb. 40).

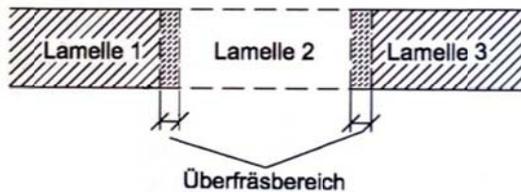


Abb. 40: Der Arbeitsablauf der Fugenausbildung beim Aushub mit Hydrofräsen<sup>66</sup>

### 3.4.6 Bewehrung

Die Bewehrung einer Schlitzwandlamelle wird in vorgefertigten Körben eingebaut. Bei langen Schlitzten werden zwei oder mehr Körbe übereinander eingebaut.

Unmittelbar vor dem Bewehren ist die Stützflüssigkeit im ganzen Schlitzbereich zu homogenisieren. Das Homogenisieren kann durch mindestens fünfmaliges Auf- und Abbewegen des Schlitzwandgreifers über die gesamte Höhe des Schlitzes, oder durch Einleiten von Druckluft in der Nähe der Schlitzsohle erfolgen. Falls der Aushub mit Hydrofräse erfolgt, muss das Abpumpen des Gemänges aus Stützflüssigkeit und Aushub so lange fortgesetzt werden, bis nur noch Stützflüssigkeit aus der Pumpleitung austritt.<sup>67</sup>

Die Bewehrung muss eine angemessene Festigkeit und Steifigkeit der Körbe während des Einbauens und Betonierens sicherstellen. Die Bestandteile eines Bewehrungskorbes sind:

- Vertikalbewehrung – eventuelle Verlängerung durch Überlappungen oder Kupplungen möglich. Falls die Stäbe durch Schweißen verlängert werden, können unter Umständen die Eigenschaften der Suspension beeinträchtigt werden;
- Horizontalbewehrung – es müssen immer Betoniergassen frei gehalten werden, durch welche die Kontraktorrohre geführt werden;
- Aussteifungsrahmen – wird am Kopf an die Vertikalstäbe angeschweißt und besteht aus Winkeleisen;
- Aussteifungskreuze – werden mit Horizontal- und Vertikalbewehrung gebunden;

<sup>66</sup> TRIANTAFYLLIDIS 2004, S. 136.

<sup>67</sup> Ebenda, S. 201.

- Fußbewehrung – hierfür wird ein U-Eisen verwendet;
- Abstandhalter – werden zum Einhalten der Betonüberdeckung verwendet; sind an der Bewehrung befestigt; Platten oder Rollen (meist aus Beton).

In der Tabelle 9 werden die wichtigsten Anforderungen an der Bewehrung nach ÖNORM EN 1538 angegeben.

Vertikalbewehrung	min. $d_s = 12$ mm; min. 3 Stk./m je Seite; lichter Abstand zwischen zwei Stäben min. 100 mm;
Horizontalbewehrung	vertikaler lichter Abstand zwischen zwei Stäben min. 200 mm; horizontaler lichter Abstand zwischen zwei Stäben min. 150 mm;
Betondeckung	min. 75 mm.

Tabelle 9: Wichtigste Anforderungen an der Bewehrung nach ÖNORM EN 1538<sup>68</sup>

### 3.4.7 Betonieren

Der Beton ist unter der zu stützenden Flüssigkeit über Betonierrohre im Kontraktorverfahren einzubringen. Es werden spezielle Schüttrohre mit wasserdichten Kupplungen und Verriegelungsseilen verwendet (siehe Abb. 41).

Die Rohre werden an der Leitwand mit Hilfe einer Abfangschelle eingehängt. Das Betonierrohr muss um etwa 20 cm über der Schlitzsohle positioniert werden und während des Betonierens ständig im Frischbeton eingetaucht bleiben. Die Mindesteintauchtiefen sind in der Tabelle 10 angegeben. Um ein Vermischen von Stützflüssigkeit und Beton zu vermeiden, müssen die Rohre mit einem Schaumgummiball verschlossen sein. Beim Einbringen des Betons wird der Betonierball aus dem Rohr getrieben (siehe Abb. 41).

Der Beton muss ohne längere Unterbrechungen in den Schlitz fließen und die Verdichtung kann nur durch Eigengewicht des Betons erfolgen. Der Beton muss eine größere Dichte und einen höheren Fließwiderstand als die Stützflüssigkeit aufweisen.

<sup>68</sup> ÖNORM EN 1538, 2000.

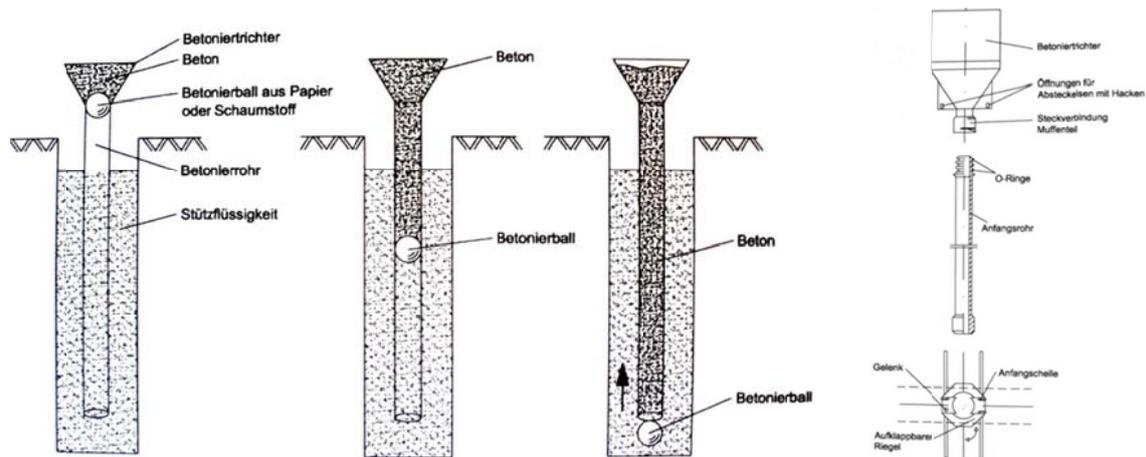


Abb. 41: Kontraktorverfahren und Schema eines Kontraktorrohres<sup>69</sup>

Beim Betoniervorgang durchmischt sich der Oberflächenbereich mit Stützflüssigkeit und Aushubmaterial. Um die geforderte Qualität bis zur Wandoberkante zu erreichen, muss die Schlitzwand um 50 cm über die Sollhöhe hinaus betoniert werden. Dieser Bereich wird nach dem freilegen der Wand entfernt.<sup>70</sup>

Kontraktorrohr	min. Innendurchmesser 150 mm oder gleich das 6fache des Größtkorns des Zuschlags; 1 Rohr je Bewehrungskorb für Schlitzlänge kleiner 5 m;
Eintauchtiefe	min. 3 m; für Schlitzlänge größer 3 m, Eintauchtiefe = horizontale Schnittlänge;
Betonsteiggeschwindigkeit	min. 3 m/h.

Tabelle 10: Wichtigste Anforderungen an dem Betonieren nach ÖNORM EN 1538<sup>71</sup>

<sup>69</sup> TRIANTAFYLLIDIS, 2004, S. 216, 219.

<sup>70</sup> Ebenda, S. 220.

<sup>71</sup> ÖNORM EN 1538, 2000.

## 4 PROJEKTBECHREIBUNG DES GEWÄHLTEN BAULOS

### 4.1 Allgemein

Der zweigleisige monolithische Stahlbetonquerschnitt verfügt über eine Länge von 3,2 km. Davon werden 2,2 km in offener Bauweise und 1,0 km in Deckelbauweise hergestellt. In beiden Bauweisen wird die Baugrube mit Schlitzwänden gesichert. Der U-Bahnverlängerung wird in drei Baulose unterteilt, wobei jedes Baulos eine Station enthält.

In der Tabelle 11 werden die verschiedenen Bauweisen der Baulose 1÷3 angegeben.

Abschnitt	Regel- querschnitt	Bauweise	Lage
1. Baulos – 970 m			
I	1.1	offene Bauweise	Tunnelstrecke
II	1.2		
III	1.1		
IV	2		Station
2. Baulos – 1.230 m			
V	0	offene Bauweise ohne Verbauwände	Tunnelstrecke
VI	1.1	offene Bauweise	
VII	1.3	Deckelbauweise	
VIII	1.1	offene Bauweise	
IX	0	offene Bauweise ohne Verbauwände	
X	1.1	offene Bauweise	
XI	2		Station
3. Baulos – 1.030 m			
XII	1.3	Deckelbauweise	Tunnelstrecke
XIII	1.4		
XIV	3	offene Bauweise	Station

Tabelle 11: Übersicht über die drei Baulose

Im Folgenden werden die wesentlichen technischen Daten der gesamten Trasseverlängerung angegeben:

Tunnellänge: 3.230 m

Aushubtiefe: durchschn. 9,45 m

Erdarbeiten: ~ 519.300 m<sup>3</sup>

Beton: ~ 102.900 m<sup>3</sup> (C 30/37 - 101.500 m<sup>3</sup>; C 20/25 – 1.400 m<sup>3</sup>)

Bewehrung: ~ 13.400 to

Schlitzwand: Dicke: 0,60 m  
 Länge: 2,40 m  
 Höhe: durchschn. 11 m  
 Anzahl: 2.372 Lamelle

Aussteifung: Stahlrohre: Stk. x Breite/Wandstärke: 283 x 325/14; 125 x 325/45  
 Anker: 213 TITAN IBO 40/20

Tunnelquerschnitt:

Typ: Rechteckquerschnitt für zwei Gleise  
 Breite: 9,0 m  
 Höhe: einstöckiger: 5,9 m (siehe Abb. 1); zweistöckiger: 9,9 m  
 Wandstärke: 0,5 m  
 Plattendicke: 0,6 m  
 Deckel: 0,8 m

Querschnitt in Stationsbereich:

Typ: Rechteckquerschnitt für zwei Gleise  
 Breite: 16,6 m  
 Höhe: einstöckiger: 7,7 m; zweistöckiger: 11,7 m  
 Wandstärke: 0,5 m  
 Plattendicke: 0,6 m  
 Säulen: Ø 0,5 m; Achsabstand: 2 m

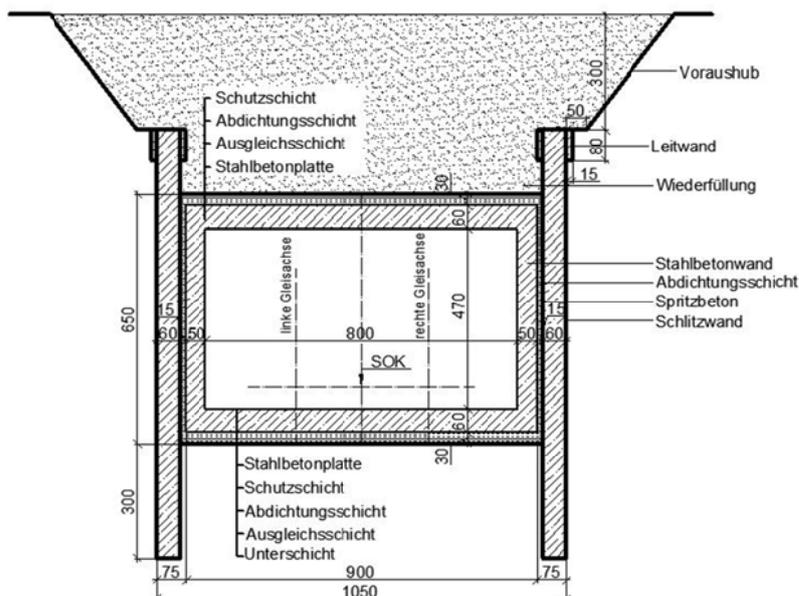


Abb. 42: Querschnitt in einer Blockfuge

## 4.2 Variante A – 3. Baulos (Tunnelstrecke)

Technische Projektdaten: Die Tunnelstrecke des 3. Bauloses wird für die baubetriebliche und wirtschaftliche Analyse (siehe Punkt 1: Kostenermittlung und Anhang 11) herangezogen. Dieses Baulos wird in Deckelbauweise ausgeführt. Seine Lage ist in der Abb. 43 angegeben.

Tunnellänge:	860 m	
Aushubtiefe:	durchschn. 11,0 m	
Erdarbeiten:	~ 125.250 m <sup>3</sup>	
Beton:	~ 27.200 m <sup>3</sup> (C 30/37 - 26.800 m <sup>3</sup> ; C 20/25 – 400 m <sup>3</sup> )	
Bewehrung:	~ 3.700 t	
Schlitzwand:	Höhe:	durchschn. 11 m
	Anzahl:	716 Lamellen
Aussteifung:	Stahlrohren:	50 x 325/45

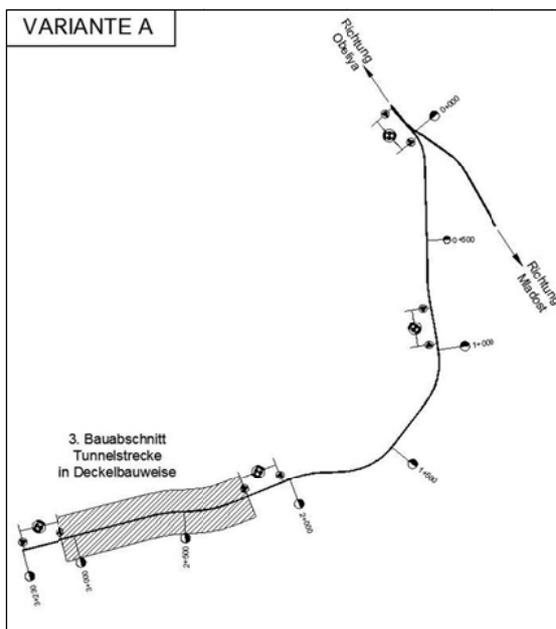


Abb. 43: Lage des gewählten Baulos entlang der Trasse

## 4.3 Bauausführung

### 4.3.1 Baugrube

Der Arbeitsablauf bei der Herstellung der Baugrube mit Schlitzwandsicherung (Zweiphasen – Verfahren) gliedert sich wie folgt:

- Voraushub;
- Schlitzwandherstellung;
- Aushub mit gleichzeitigem Aussteifen der Schlitzwände bis zur Unterkante des Deckels;
- Herstellen des Deckels;
- Rückfüllung und Verdichtung;
- Unterirdischer Aushub bis zur Unterkante der Sohle.

#### 4.3.1.1 Voraushub

Entlang der Trasse ist ein Voraushub mit einer Tiefe bis 3 m vorgesehen. Um die Standsicherheit des Voraushubes gemäß DIN 4124 zu gewährleisten ist eine Böschungsneigung von 1:0,75 einzuhalten. Durch Anordnung von waagerechten Schutzstreifen (2 m) wird der Rand der Baugrube von Aushubmaterial und Gegenständen freigehalten.

Zum Ausheben, Laden, Abtransportieren oder Zwischenlagern (wenn das Bodenmaterial als Rückfüllung verwendet wird) werden Hydraulikbagger auf Raupen und LKW benötigt.



Abb. 44: Hydraulikbagger auf Raupen<sup>72</sup>

#### 4.3.1.2 Schlitzwandherstellung

Leitwandherstellung: Die Leitwände werden mit einem rechteckförmigen Querschnitt beiderseits des Schlitzes ausgeführt. Die Gründe der Wahl der Querschnittsform sind:

- die geologischen Bedingungen;
- die leichte Ausführung der Schalung;

---

<sup>72</sup> Firmenprospekt: Liebherr International Deutschland GmbH, 2008

Die gewählten Abmessungen sind in der Abb. 45 angegeben.

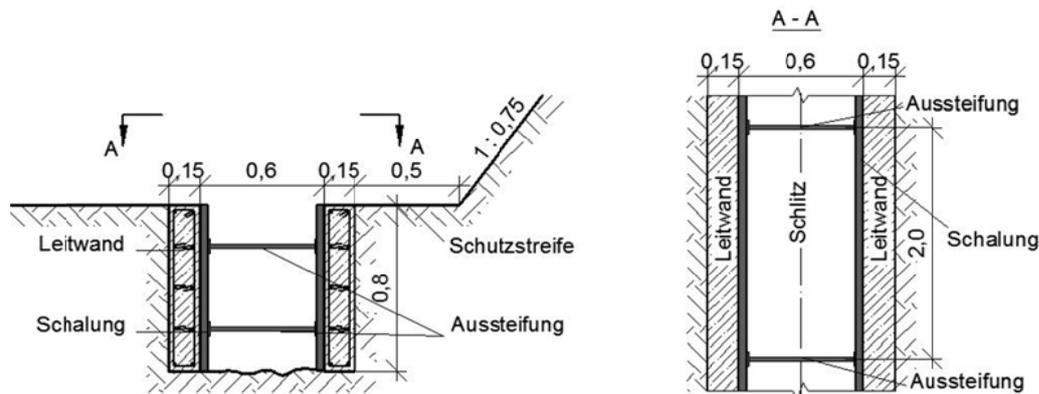


Abb. 45: Leitwandherstellung

Der Aushub für die Leitwände erfolgt mittels eines Hydraulikbaggers. Die Leitwände sind aus Ortbeton mit einseitiger Schalung herzustellen (Betonieren direkt gegen das Erdreich). Es ist zu beachten, dass der Abstand zwischen den Leitwänden 60 cm (+ 5 cm Toleranzmaß) beträgt. Die Leitwände werden nach dem Ausschalen (zwei bis sieben Tage nach dem Betonieren) durch Kanthölzer mit einem Abstand von ca. 2 m gegeneinander ausgesteift.

In den Tabelle 12 und Tabelle 13 wird eine Übersicht über die verwendeten Materialien angegeben.

	Festigkeitsklasse	Betonaufwand
Beton	C20/25	0,12 m <sup>3</sup> /lfm

Tabelle 12: Übersicht über den verwendeten Beton in den Leitwänden

Bewehrung	Durchmesser	Gewicht
Hauptbewehrung	N 14 mm	0,015 t/lfm
Bügelbewehrung	N 6,5 mm	
Aussteifungsbewehrung	N 6,5 mm	

Tabelle 13: Übersicht über die verwendete Bewehrung in den Leitwänden

Aushub des Schlitzes: Nach der Herstellung der Leitwände wird mit dem Aushub des flüssigkeitsgestützten Schlitzes begonnen. Die Läuferlamellen dürfen erst dann ausgehoben werden, wenn der Beton der vorderen Läuferlamellen ausreichende Festigkeit erreicht hat. Aus baubetrieblichen Gründen wird das Pilgerschrittverfahren gewählt. Zunächst werden die Primärlamelle und anschließend die Sekundärlamelle hergestellt. Die Lamellen sind 2,4 m lang und haben eine Breite von 0,6 m.

Die Sicherung des Schlitzes erfolgt während des Aushubes durch eine Stützflüssigkeit. Die notwendige Suspensionsmenge wird an Ort und Stelle aufbereitet. Zur Aufbereitungsanlage<sup>73</sup> für die Bentonitsuspension (siehe Abb. 46) gehören:

- 1 Entsandungsanlage – reinigt die Suspension von Sand und Feststoffen. Die Durchsatzleistung der Anlage beträgt von 50 bis 100 m<sup>3</sup>/h<sup>74</sup>;
- 4 Silos – für Bentonitpulver und für Bevorratung von Frischsuspension;
- 3 Förderpumpen;
- Waagen;
- 1 Mischer – vermischt im Durchlaufbetrieb den Bentonit-Feststoff mit Wasser zu Suspension. Der Mischer verfügt über eine Leistung von 60 m<sup>3</sup>/h<sup>75</sup>, die der zu erwartenden Leistung des Schlitzwandgerätes entspricht;
- Rohre und Schläuche;
- ausreichende Strom- und Wasserversorgung;
- 1 Baustellenlabor – um die innere und äußere Standsicherheit des Aushubes zu gewährleisten wird für eine kontinuierliche Überprüfung der Bentonitqualität ein Baustellenlabor eingerichtet.

Um ein Einbrechen des anstehenden Bodenmaterials zu verhindern, muss der Spiegel der stützenden Flüssigkeit während des Aushubs oberhalb der Unterkante der Leitwand bleiben. Bei bedeutsamen und plötzlichen Verluste an Bentonitsuspension muss zusätzliche Suspension nachgefüllt werden. Um dies zu gewährleisten wird mindestens die Suspensionsmenge für eine Schlitzwandlamelle vorgehalten.<sup>76</sup>

Das Lösen und Fördern des Bodens erfolgt in intermittierender Weise aus dem suspensiongestützten Schlitz mit einem Seilgreifer. Die Wahl des Greiferverfahrens ist abhängig von Randbedingungen des vorliegenden Projektes. Dies sind:

- geologischen Bedingungen – häufiger Wechsel der Bodenschichten, z. B. Lehm, Ton, Sand;
- durchschnittliche Tiefe des Schlitzes von ca. 11 m;
- geringer Platzbedarf.

Das genutzte Aushubwerkzeug ist ein Hydraulik-Seilbagger mit Greifer (siehe Abb. 46). Die Bewegungen des Schlitzwandgreifers werden während Schlitzwandherstellung durch

---

<sup>73</sup> MAYBAUM 2009, S. 140.

<sup>74</sup> KÖNIG 2008, S. 310.

<sup>75</sup> Vgl. ebenda, S. 310.

<sup>76</sup> ÖkoKauf Wien, S. 50.

Inklinometer überwacht und elektronisch protokolliert.<sup>77</sup> Beim Antreffen von Hindernissen kann der Greifer leicht durch Freifallmeißel ersetzt werden.



Abb. 46: Mischanlage (links) und Hydraulik-Seilbagger mit Greifer<sup>78</sup>

**Fugenausbildung:** Die einzelnen Lamellen werden während des Aushubs einseitig durch Abstellrohre getrennt (siehe Abb. 47). Das Abstellrohr ergibt eine halbkreisförmige Fuge mit einem verlängerten Sickerweg des eindringenden Wassers. Gleichzeitig wird auch eine gute Verzahnung der einzelnen Wandabschnitte erreicht. Der Außendurchmesser der Rohre entspricht der Schlitzwanddicke.

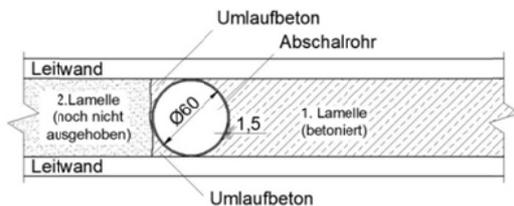


Abb. 47: Fugenausbildung durch Abschalrohr

**Bewehren:** Die Bewehrung wird in Körben eingebaut. Nach Erreichen der geplanten Schlitztiefe wird der Bewehrungskorb in die Suspension eingehängt. Zum Einhängen und Positionieren des Bewehrungskorbes im Schlitz ist ein Kran vorgesehen. Die Bewehrungskörbe werden an den Leitwänden aufgehängt.

Die Planung der Bewehrungskörbe entspricht ÖNORM EN 1538 und Eurocode 2 und in Abb. 48 ist ein Schema für den Bewehrungseinbau einer Schlitzwandlamelle inkl. Freiraum für eine Betoniergasse angegeben.

<sup>77</sup> Firmenprospekt: Fa. FRANKI Grundbau GmbH & Co 2008

<sup>78</sup> Baustelle: U-Bahnbaubau, Sofia – „Mladost“.

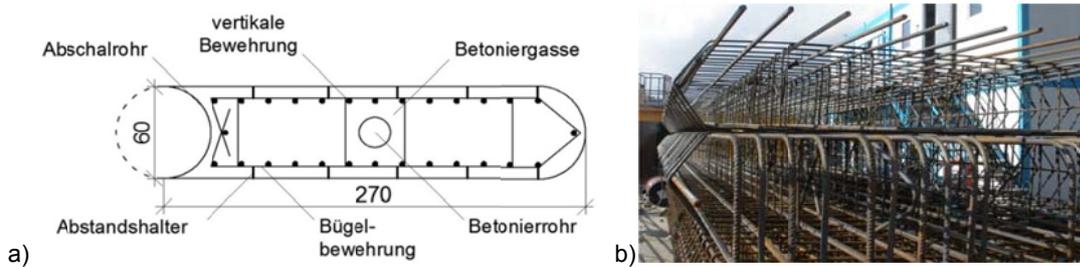


Abb. 48: Bewehrungseinbau im Querschnitt – a) Schema; b) Photo<sup>79</sup>

Die Bewehrungsstäbe werden bei Verbauwänden, die eine Tiefe größer als 12 m aufweisen, mittels Bindedraht zusammengeflochten. Die Betondeckung von 7,5 cm wird durch Abstandshalter erreicht. Die verwendeten Stabdurchmesser werden in der Tabelle 14 angegeben.

Bewehrungsart	Durchmesser	Gewicht
Vertikalbewehrung	N 22 mm, N 25 mm	0,10 t/lfm
Bügelbewehrung	N 12 mm	
Aussteifungskreuzen	N 16 mm	
Fußbewehrung	N 20 mm	

Tabelle 14: Übersicht über die verwendete Bewehrung in den Verbauwänden

Es sind Aussparungen für Aussteifungselemente, sowie für die Deckelplatte vorgesehen. Für den Fall, dass die Schlitzwände durch Stahlrohre ausgesteift werden, werden in den Bewehrungskorb Stahlplatten mit einer Dicke von 1 cm eingebaut.

Zur Auftriebsicherung der Deckelplatte ist eine Verbindung der Deckelplatte mit der Schlitzwand über eine Stahlstange vorgesehen. Die Verbindung zwischen der Tunnelwand und der Deckelplatte wird durch eine Zugstange gewährleistet. In der Abb. 49 ist die Ausführung dieses Knotenpunktes (Schlitzwand – Deckelplatte – Tunnelwand) schematisch dargestellt.

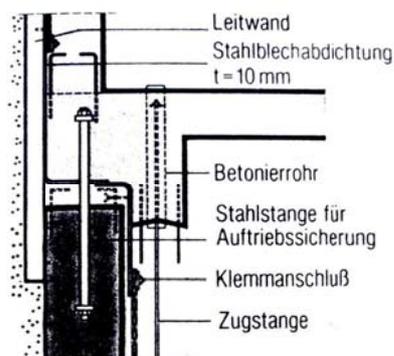


Abb. 49: Der Anschluss der Deckelplatte<sup>80</sup>

<sup>79</sup> Baustelle: U-Bahnbau, Sofia – „Mladost“.

<sup>80</sup> BAUER 1995, S. 413.

Liegt die Deckelplatte nicht auf dem Schlitzwandkopf, wird eine Stremaform-Aussparung „Boxout“ als Verwehrkasten vorgesehen. Nach Entfernen der Blechabdeckung und Spülen der Aussparung sind die Schraubmuffen zugänglich. Die Rückseite der Aussparung bietet nachgewiesenen Verbund für den Anschlussbeton.<sup>81</sup> Die Abb. 50 zeigt der Arbeitsprinzip.

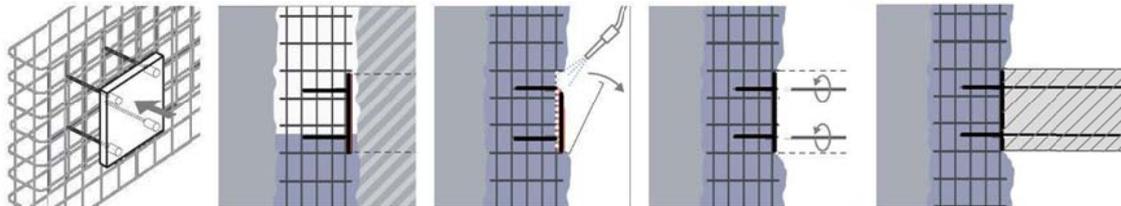


Abb. 50: Der Anschluss der Deckelplatte mit Stremaform-Aussparung<sup>82</sup>

**Betonieren:** Das Betonieren erfolgt im Kontraktorverfahren, wobei eine Betonpumpe, sowie ein Kontraktorrohr benötigt werden. Durch die Betonpumpe wird das Fließen des Betons ohne Unterbrechungen gewährleistet.

In jeder Lamelle wird das Rohr eingehängt und an der Leitwand mittels Anfangschelle aufgehängt. Um eine problemlose Durchführung des Kontraktorrohres durch den Bewehrungskorb zu sichern, ist ein Rohr mit Innendurchmesser von 0,20 m vorgesehen.

Um das Ablagern von Bentonit und Sand an den Bewehrungsstäben zu verhindern, müssen die Schlitzwände spätestens zwei Stunden nach dem Einheben der Bewehrung betoniert werden. Während des Betoniervorgangs wird das Kontraktorrohr min. 3 m<sup>83</sup> in den Beton eingetaucht und die Steiggeschwindigkeit des Betons soll nicht weniger als 3 m/h<sup>84</sup> betragen. Die Verdichtung durch Rütteln ist unzulässig und erfolgt nur durch das Eigengewicht des Betons.

Die Tabelle 15 gibt eine Übersicht über den verwendeten Beton in den Verbauwänden an.

	Festigkeitsklasse	Betonaufwand
Beton	C 30/37	1,44 m <sup>3</sup> /lfm

Tabelle 15: Übersicht über den verwendeten Beton in den Verbauwänden

**Ziehen des Abschalrohres:** Die Abschalrohre werden nach dem Ansteifen des Betons mit der Hydraulik-Seilbagger wieder gezogen.

<sup>81</sup> Firmenprospekt: Stremaform, Fa. MAX Frank GmbH & Co 2007.

<sup>82</sup> Vgl. ebenda.

<sup>83</sup> ÖNORM EN 1538, 2000, S. 22.

<sup>84</sup> Vgl. ebenda.

#### 4.3.1.3 Aushub mit gleichzeitigem Aussteifen bis zur Unterkante des Deckels

Bei tieferer Lage des Deckels erfolgt der Aushub mit gleichzeitiger Anordnung von Aussteifungselementen – Stahlrohren. Diese werden in einem Abstand von 4,8 m angeordnet. Unter Berücksichtigung der freigelegten Fläche der Verbauwände und den Bodenbeanspruchungen werden Stahlrohre mit einem Aussendurchmesser von 325 mm und einer Wanddicke von 14 mm gewählt.

#### 4.3.1.4 Herstellen des Deckels

Unterbeton: Für den Aufbau des Deckels wird zuerst eine Sauberkeitsschicht (Unterbeton) hergestellt. Der Unterbeton besitzt eine Festigkeitsklasse C 12/15 und eine Dicke von 10 cm.

Bewehren und Betonieren des Deckels: Die Bewehrungsstäbe werden einbaufertig nach Positionen gebündelt auf die Baustelle geliefert. Die Bewehrungsstäbe werden mittels Bindedraht zusammengeflochten. Die verwendeten Stabdurchmesser werden in der Tabelle 16 angegeben.

Bewehrungsart	Durchmesser	Gewicht
Hauptbewehrung	N 25 mm	0,58 t/lfm
Bügelbewehrung	N 12 mm	
Einspannbewehrung	N 16 mm	

Tabelle 16: Übersicht über die verwendete Bewehrung im Deckel

Zur Sicherung der Betondeckung von 3,5 cm sind Abstandshalter in ausreichendem Umfang einzubauen. Die Festigkeitsklasse des verwendeten Betons und der durchschnittliche Betonaufwand bei der Herstellung des Deckels sind in der Tabelle 17 angegeben. Das Betonieren erfolgt mit Hilfe einer Autobetonpumpe. Der Beton wird mittels Innenrüttler verdichtet.

	Festigkeitsklasse	Betonaufwand
Beton	C 30/37	7,5 m³/lfm

Tabelle 17: Übersicht über den verwendeten Beton im Deckel

Verlegen der Abdichtung auf den Deckel: siehe Punkt 4.3.2.2

#### 4.3.1.5 Rückfüllung und Verdichtung

Nach Erreichen der notwendigen Betonfestigkeit des Deckels wird das auf der Baustelle zwischengelagerte Bodenmaterial lagenweise rückgefüllt und mit einer Tandemvibrationswalzen verdichtet. Die Wiederherstellung der Verkehrsflächen läuft parallel zu den weiteren, unter dem Deckel auszuführenden Bauarbeiten.

#### 4.3.1.6 Unterirdischer Aushub bis zur Unterkante der Sohle

Im Schutz des Deckels wird der Bodenmaterial mittels Tunnelbagger ausgehoben. Die Abmessungen des gewählten Tunnelbaggers sind mit dem Lichtraumprofil abgestimmt (siehe Abb. 51). Die Entsorgung des Ausbruchmaterials erfolgt mit LKW über eine Rampe am Tunnelende (siehe Abb. 52).

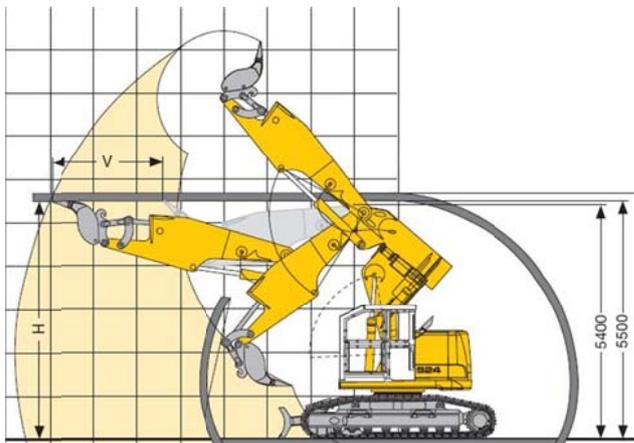


Abb. 51: Tunnelbagger<sup>85</sup>

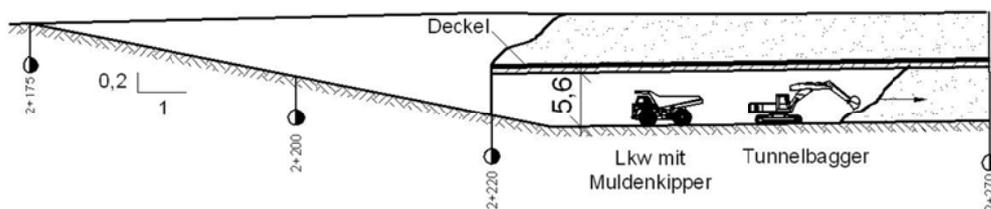


Abb. 52: Schema des unterirdischen Aushubes

#### 4.3.2 Innenschale

Der Arbeitsablauf bei der Herstellung der Innenschale gliedert sich wie folgt:

- Herstellen einer Sauberkeitsschichte (Unterbeton);

<sup>85</sup> Firmenprospekt: R 924 Compact Tunnelgerät, 2008, Liebherr International Deutschland GmbH 2008.

- Einbau der Abdichtung auf der Baugrubensohle;
- Schalen, Bewehren und Betonieren der Sohle;
- Herstellen einer glatten Wandoberfläche mittels Spritzbeton;
- Ausführung der vertikalen Wandabdichtung;
- Schalen, Bewehren und Betonieren der Tunnelwände.

#### 4.3.2.1 Spritzbeton

Der Spritzbeton wird lagenweise an den Wänden aufgetragen. Auf Grund der höheren Leistung pro Stunde, der geringeren Staubbelastung und des geringeren Rückpralls wird der Spritzbeton im Nassspritzverfahren aufgebracht. Der Beton wird mit einer Betonpumpe durch eine Schlauchleitung gefördert und am Schlauchende in einer Düse mit Druckluft beaufschlagt. Durch die Verengung der Düse wird die benötigte Geschwindigkeit erzielt. Es werden Spritzleistungen bis zu 20 m<sup>3</sup>/h erreicht.<sup>86</sup>

#### 4.3.2.2 Abdichtung

Die vertikale Abdichtung wird am Spritzbeton (12,5 cm) befestigt. Die horizontale Abdichtung wird auf den Ausgleichsbeton (9 cm) ausgelegt. Als Abdichtung wird eine Hydroisulationsmembrane „ISOBENT“ der Firma „Eco Technology“ gewählt. Die Verlegung der Abdichtung erfolgt direkt auf den Unterbeton (frühestens drei Tagen nach der Betonage).

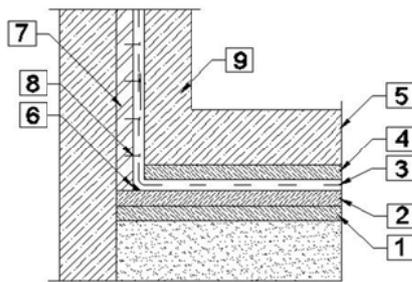
Die einzelnen Membranbahnen der horizontalen Abdichtung werden in Längsrichtung mind. 10 cm und in Querrichtung mind. 15 cm überlappt. In den Randzonen werden die Bahnen an den vertikalen Wänden mind. 30 cm hochgezogen und an der Betonoberfläche befestigt. Die Überlappung zwischen den vertikal angebrachten Einzelbahnen soll 30 cm in Längs- und in Querrichtung nicht unterschreiten. Die Membranteile werden mittels Stahlnägeln fixiert (min. 3 Stk/m). Die Nägel werden vor allem in die Überlappungszonen mit einem Abstand von 30 cm eingeschlagen.<sup>87</sup>

In der Abb. 53 ist ein Detail des Feuchtigkeitsschutzes dargestellt.

---

<sup>86</sup> KÖNIG 2008, S. 30.

<sup>87</sup> Firmenprospekt: Fa. ECO Technology GmbH 2009.



Unterbeton, C12/15 – 10 cm  
 Ausgleichsbeton, C12/15 – 9 cm  
 Isolationsschicht, ISOBENT –  $6 \pm 1$  mm  
 Schutzbeton, C12/15 – 10 cm  
 Stahlbetonplatte, C30/37 – 60 cm  
 Zement-Sand-Mörtel – 5 cm  
 Spritzbeton, C12/15 – 12,5 cm  
 Stahlnagel – Hilti  
 Stahlbetonwand, C30/37 – 50 cm

Abb. 53: Detail der Feuchtigkeitschutz

#### 4.3.2.3 Bewehren und Betonieren

Die Sohlplatte wird von zwei Mannschaften, die jeweils von der Mitte der Strecke beginnend nach außen parallel arbeiten, hergestellt (siehe Abb. 54).

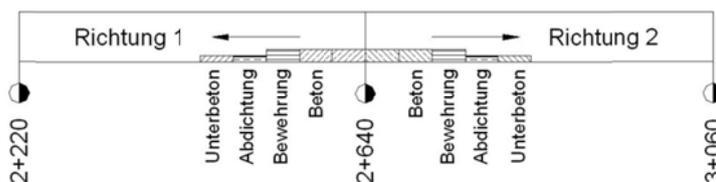


Abb. 54: Schema der Arbeitsablauf bei der Herstellung der Sohlplatte

Die Herstellung der Wände der Innenschale erfolgt im Schutz des Deckels mittels Schalwagen und wird in Längsrichtung in Betonierabschnitte von 10 m unterteilt. Die Position der Schalwagen entlang der Baustrecke ist in der Abb. 55 schematisch dargestellt.

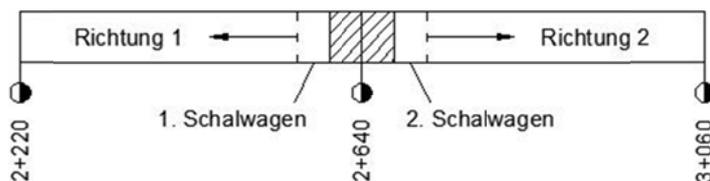


Abb. 55: Position der Schalwagen entlang der Trasse

Die Herstellung der Innenschale des Bauabschnittes erfolgt mit zwei Schalwagen. Diese sind gleichzeitig im Einsatz. Zwei Blöcke je Richtung werden im Wochentakt (Schalen, Bewehren, Betonieren) hergestellt. Die Wände werden einen Tag nach dem Betonieren ausgeschalt. Der Wagen wird hydraulisch abgesenkt und über Rollen zum nächsten Betonierabschnitt weitergezogen. Die Abb. 56 zeigt schematisch ein Wochentakt.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di
Richtung 1 264 Bl. → 222 Bl.	Bewehren	Aus-/ Einschalen	Betonieren	Bewehren	Aus-/ Einschalen	Betonieren	Ruhetag	Bewehren	
Richtung 2 264 Bl. → 306 Bl.	Ruhetag	Betonieren	Bewehren	Aus-/ Einschalen	Betonieren	Bewehren	Aus-/ Einschalen	Betonieren	Ruhetag

Abb. 56: Arbeitsablauf – Wochentakt

Die Versorgung der Betonierarbeiten mit Beton erfolgt von der Oberfläche aus mit Hilfe von Betonpumpenrohren. In der Abb. 57 ist die Herstellung der Innenschale schematisch dargestellt. Die Bewehrung der Wänden wird von leichten Fassadengerüsten aus montiert.

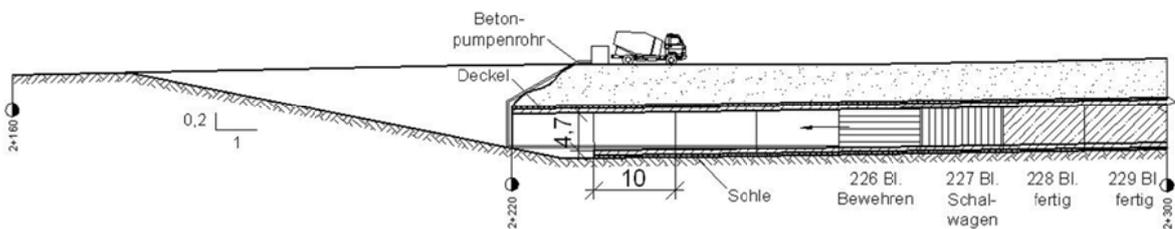


Abb. 57: Schema der Herstellung der Innenschale

Die Betondeckung beträgt 3,5 cm und wird durch Abstandshalter gewährleistet. Die Bewehrungsstäbe werden mittels Bindedraht zusammengeflochten. Die verwendeten Stabdurchmesser werden in der Tabelle 18 angegeben.

Bewehrungsart	Durchmesser	Gewicht
Hauptbewehrung	N 16, N 18, N 20, N 22, N25	1,41 t/lfm
Bügelbewehrung	N 12	
Einspannbewehrung	N 16	

Tabelle 18: Übersicht über die verwendete Bewehrung in der Innenschale

Die Festigkeitsklasse des verwendeten Betons und der durchschnittliche Betonaufwand bei der Herstellung der Innenschale sind in der Tabelle 19 angeführt.

	Festigkeitsklasse	Betonaufwand
Beton	C 30/37	10,1 m³/lfm

Tabelle 19: Übersicht über den verwendeten Beton in der Innenschale

## 4.4 Baustelleneinrichtung

### 4.4.1 Großgeräte

In der Tabelle 20 ist die Gerätedisposition für das 3. Bauabschnitt der U-Bahnverlängerung angegeben.

Geräte	Anzahl
Hydraulikbagger auf Raupen	3
Hydro-Seilbagger mit Greifer	2
Suspensionanlage	1
Tunnelbagger	1
LKW	16
Planierdrape	1
Tandemvibrationswalzen	1
Betonfahrmischer	8
Autobetonpumpe	2
Spritzbetonmanipulator	1

Tabelle 20: Gerätedisposition

### 4.4.2 Verkehrsflächen und Transportwege

Bis zur Fertigstellung des Deckels ist die Sperrung der Straßen erforderlich. In dieser Zeit ist eine Umfahrung der Baustelle vorzusehen.

Für den externen Baustellenverkehr (Anlieferung der Baustoffe und Bauteile, für Abtransport von Aushubmaterial) werden die öffentlichen Straßen benutzt. Die Zu- und Abfahrten zum Baustellengelände sind so anzulegen, dass der öffentliche Geh-, Rad- und Straßenverkehr möglichst wenig gestört wird und sich die Baustellenfahrzeuge ungehindert in den Verkehrsfluss einordnen können.<sup>88</sup>

Für den internen Baustellenverkehr werden zweispurige Stichstraßen vorgesehen, die in einem Sicherheitsabstand (2 m<sup>89</sup>) von der Außenkante der Baugrube angelegt werden. Die Baustraße hat eine Breite von 6,0 m. Dabei sind keine gesonderte Bereiche für das Halten, Entladen und Ausweichen notwendig. Am Ende der Stichstraße ist eine ausreichend dimensionierte Wendemöglichkeit vorhanden (siehe Abb. 58).

<sup>88</sup> Vgl. SCHACH 2008, S. 87 – 104.

<sup>89</sup> Vgl. ebenda, S. 277.

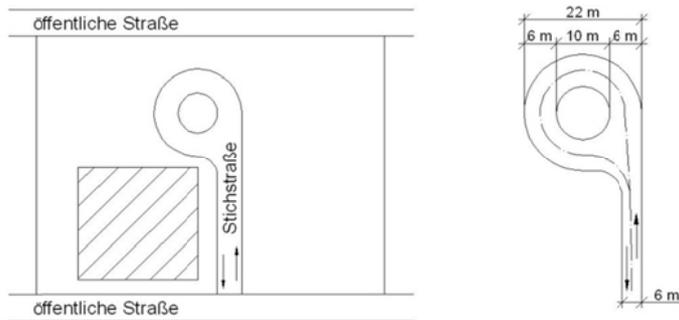


Abb. 58: Dimensionierung von Wendemöglichkeiten<sup>90</sup>

#### 4.4.3 Sozial- und Büroeinrichtungen

##### 4.4.3.1 Personalbedarf

Der Arbeiterstand wird in folgende Gruppen unterteilt:

- 20 Facharbeiter,  
(10 Bewehrungsarbeiter; 6 Betonierungsarbeiter; 4 Abdichtungsarbeiter);
- 3 Helfer;
- 4 Maschinist;
- 16 Fahrer.

Es ist auch zu beachten, dass das folgende unproduktive Personal während der gesamten Bauzeit auf der Baustelle zu beschäftigen ist:

- 1 Bauleiter;
- 2 Polier;
- 1 Magazineur;
- 1 Laborant ;
- 2 Kranfahrer.

Die maximale Anzahl des Baustellenpersonals, die gleichzeitig auf der Baustelle beschäftigt werden, beträgt 35, (28 Arbeiter und 7 Personen des unproduktiven Personals) (siehe Anhang 11). Diese Anzahl ist maßgebend für die Dimensionierung der notwendigen Sozial- und Büroeinrichtungen.

<sup>90</sup> SCHACH 2008, S. 93.

#### 4.4.3.2 Geplante Einrichtungen

Zu den Sozial- und Büroeinrichtungen, die auf der Baustelle in Containern bereitgestellt werden, zählen:

- die Tagesunterkünfte – das Personal übernachtet nicht auf der Baustelle;
- die Sanitäranlagen (Toiletten und Waschräume);
- die Sanitäts- und Erste-Hilfe-Einrichtungen;
- die Büro- und Besprechungsräume;
- Laborraum;
- Magazine für Kleingeräte, Werkzeuge u.a.

Bei der Wahl der Anzahl und der Abmessungen der Container werden folgende Voraussetzungen<sup>91</sup> berücksichtigt:

- lichte Mindestraumhöhe – 2,30 m, bei Containern 2,20 m;
- Raumtemperatur in der kalten Jahreszeit – mindestens 21°C;
- freie Bodenfläche pro Person – 0,75 m<sup>2</sup>, bei Raumhöhen bis 2,30 m 1,00 m<sup>2</sup>;
- Tischfläche pro Person – mindestens 60 cm breit und 30 cm hoch;
- Sitzplatz pro Person – 1 Sitzplatz pro Person;
- Spind pro Person – mindestens 50 cm breit, 50 cm tief, 180 cm hoch;
- Kochnische – muss vorhanden sein;
- Nichtraucherchutz – geeignete Maßnahmen;
- Anzahl der Waschplätze – eine Waschgelegenheit pro 5 Arbeitnehmer;
- Anzahl der Brauseplätze – eine Brauseeinrichtung pro 20 Arbeitnehmer;
- Aborte – eine Abortanlage pro 20 männliche bzw. 15 weibliche Arbeitnehmer;
- Pissoirs – ein Pissoir pro 15 männliche Arbeitnehmer.

Die Container werden als Einheit zum Einsatzort gebracht und mit dem Mobilkran versetzt. Aus Platzgründen werden die Container übereinandergestellt und mit einem Treppenaufgang versehen.

Die gewählte Anzahl, Abmessungen und Massen gängiger Container sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

---

<sup>91</sup> JODL 2008, S. 10 und 11.

Containerart	Anzahl	Länge	Breite	Höhe	Masse je Cont.
Büro-/Aufenthaltscontainer 10'	2	2,99 m	2,44 m	2,59 m	1.245 kg
Büro-/Aufenthaltscontainer 20'	8	6,06 m	2,44 m	2,59 m	1.924 kg
Sanitärcontainer 8'	3	2,40 m	1,40 m	2,54 m	0,570 kg
Sanitärcontainer 16'	1	4,89 m	2,44 m	2,59 m	2.000 kg
Lagercontainer 20'	1	6,06 m	2,44 m	2,59 m	1.530 kg
Summe:	15				

Tabelle 21: Charakteristische Daten gängiger Container<sup>92</sup>

## 4.5 Lagerräume

### 4.5.1 Materialbedarf

**Beton:** Auf die Baustelle wird der Beton durch Subunternehmer geliefert. Die Betonmischanlage ist ca. 4 km von der Baustelle entfernt und kann 102 m<sup>3</sup>/h Beton mit Festigkeitsklasse von C12/15 bis C40/45 produzieren. Zur Betonlieferung bietet der Subunternehmer eigene Betonfahrmischer. Der in der Mischanlage erzeugte Beton entspricht der ISO 9001:2000.

Die Konsistenz des Betons für die Verbauwände entspricht einem Ausbreitsmaß zwischen 55 cm und 60 cm. Der Mindestzementgehalt ist mit 350 kg/m<sup>3</sup> vorgeschrieben.<sup>93</sup>

**Betonstahl:** Der verwendete Stahl BSt 500 wird als gerippten Stabstahl mit einem Durchmesser von 6,5 mm und von 12 mm bis 25 mm geliefert und muss EN 10 080 entsprechen. Ein Stabdurchmesser von 6,5 mm ist ein spezielles Produkt bulgarischer Stahlwerke und wird überwiegend als konstruktive Bewehrung verwendet.

**Bentonit:** Die Herstellung der Verbauwände erfolgt in flüssigkeitsgestützten Erdschlitzen. Die verwendete Flüssigkeit ist eine Suspension aus Bentonit und Wasser mit Normdichte von 1,5 t/m<sup>3</sup>. An Ort und Stelle wird die Bentonitsuspension aufbereitet und regeneriert. Die Standardrezeptur bei der Aufbereitung besteht aus 4(6)% Bentonit und 96% Wasser<sup>94</sup>. Die Bentonitsuspension muss die Bedingungen<sup>95</sup> der ÖNORM EN 1538 erfüllen.

**Abdichtung:** Zum Schutz der Innenschale gegen Feuchtigkeit wird eine geosynthetische Bentonitmembrane (ISOBENT<sup>96</sup>) der Firma „Eco Technology“ eingebaut. „ISOBENT“ wird in Sandwich-Form in drei Schichten hergestellt, wobei sich das gekörnte Bentonit zwischen

<sup>92</sup> Firmenprospekt: Fa. Container Handelsgesellschaft m.b.H 2009, S. 61.

<sup>93</sup> ÖNORM EN 1538, 2000, S. 10, 11.

<sup>94</sup> JODL 2008, Kapitel 05.

<sup>95</sup> ÖNORM EN 1538, 2000, S. 9, Tabelle 1.

<sup>96</sup> Firmenprospekt: Fa. ECO Technology GmbH, 2009.

zwei Geotextilschichten befindet. Nach Anfeuchten des Materials wandelt es sich in eine flexible Membrane für den Feuchtigkeitsschutz um. Durch das gleichzeitige Anschwellen der Membrane werden eventuell vorhandene kleine Hohlräume ausgefüllt. „ISOBENT“ wird in Bahnen mit einer Standardbreite von 5 m und einer -länge von 40 m, eingewickelt in Rollen, angeliefert. Die Bentonitmenge schwankt zwischen 3,5 und 4,8 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.5.1.1 Geplante Räume

Auf der Baustelle werden Lagerräume und Stellflächen für folgende Materialien und Produkte vorgesehen:

- Betonstabstahl;
- Einbau- und Anlagenteile;
- Schal- und Rüstmaterial.

In der Tabelle 22 sind die notwendigen Abmessungen der Lagerräume angegeben.

Containerart	Anzahl	Länge	Breite	Höhe	Masse je Cont.
Lagercontainer 20'	1	6,06 m	2,44 m	2,59 m	1.530 kg

Tabelle 22: Abmessungen und Massen gängiger Container<sup>97</sup>

Aus Gründen des Platzmangels auf der Baustelle werden die Baumaterialien Just-in-time angeliefert und sofort verlegt/eingebaut.

Die Bewehrungsstäbe werden auf getrennten Stellflächen im Verwendungsbereich zwischengelagert. Um das Verschmutzen der Stäbe durch Bodenberührung zu vermeiden werden diese auf Unterlagshölzern abgelegt. Hierdurch ist auch ein leichter Anschlag mit Kranseil möglich.

Das Rüst- und Schalmaterial ist aus Stabilitätsgründen, der Beschädigung und der Stabilität nur bedingt stapelbar. Der Kontakt zum Boden wird auch hier durch Unterlagen aus Kanthölzern vermieden.

In der Tabelle 23 werden die Abmessungen der Stellflächen verschiedener Materialien angegeben.

<sup>97</sup> Firmenprospekt: Fa. Container Handelsgesellschaft m.b.H 2009, S. 61.

	Länge	Breite	Fläche
Betonstabstahl	12 m	3 m ÷ 5 m	36 m <sup>2</sup> ÷ 60 m <sup>2</sup>
Einbau- und Anlagenteilen	3 m	3 m	9 m <sup>2</sup>
Schal- und Rüstmaterial	12 m	6 m	72 m <sup>2</sup>

Tabelle 23: Stellflächen verschiedener Materialien

Ein Platz zur Lagerung der Erdaushubmassen ist nicht vorhanden. Somit müssen alle Erdmassen für die spätere Verfüllung abtransportiert und anderorts zwischengelagert werden.

#### 4.5.2 Medienversorgung und Entsorgung

Zur Medienversorgung gehören die Versorgung der Baustellen mit elektrischer Energie, Wasser (ohne Wasser für Bentonitsuspension), Druckluft und Treibstoff sowie der Anschluss an Kommunikationsnetze. Die benötigte Infrastruktur wird direkt am Grundstück vorbei geführt und ist daher problemlos zu erschließen. Bei der Verteilung der Medien auf der Baustelle sind Leitungen und Kabel frei und teilweise unterirdisch zu verlegen. Die Entsorgung betrifft insbesondere den Abfall sowie Schmutz- und Niederschlagwasser.<sup>98</sup>

##### 4.5.2.1 Wasserversorgung

###### Ausgangsdaten zur Ermittlung des Wasserbedarfes:

Max. Anzahl Arbeitnehmer (28 gewerbl., 7 unprod.)	= 35 AN
Max. Betonierleistung	= 100 m <sup>3</sup> /AT
Wasser für Nachbehandlung des Betons und Gerätereinigung:	= 0,04 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Zuschlag für Verluste:	= 10%

###### Wasserbedarf der AN<sup>99</sup>:

$$35 \text{ AN} \times 0,03 \text{ m}^3/\text{AT} \text{ und AN} = 1,05 \text{ m}^3/\text{AT}$$

Sonstiges:

Nachbehandlung des Betons und Gerätereinigung

$$100 \text{ m}^3/\text{AT} \times 0,04 \text{ m}^3/\text{m}^3 = \underline{4,00 \text{ m}^3/\text{AT}}$$

###### Zwischensumme:

$$= 5,05 \text{ m}^3/\text{AT}$$

Leitungsverluste 10% von 4,90 m<sup>3</sup>

$$= \underline{0,51 \text{ m}^3/\text{AT}}$$

###### **Gesamtbedarf:**

$$= \underline{\underline{5,56 \text{ m}^3/\text{AT}}}$$

<sup>98</sup> (SCHACH 2008, S. 126.

<sup>99</sup> JODL 2008.

## 4.5.2.2 Strombedarf

Der Strombedarf der Baustelle ergibt sich aus der Summe des Stromverbrauches der eingesetzten Baumaschinen, zuzüglich des Strombedarfes für Beleuchtung, Büromaschinen, Warmwasseraufbereitung usw. In der Tabelle 24 wird der Strombedarf berechnet.

Menge	Bezeichnung	ÖBGL-Nr	kW	kW*Menge
2	Innenvibrator	1816-0090	1	2
2	Vibrationsbohle	1832-0040	1,5	3
1	Betonstahlschere	9162-0020	1,5	1,5
1	Handschalungsreiniger	9217-0150	1	1
1	Hochdruckreiniger	9330-0025	2,5	2,5
1	Bentonit-Mischanlage	-	18,5	18,5
1	Bentonit-Regenerierungsanlage	-	22	22
1	Spritzgerät	-	30	30
			Summe	80,5

Tabelle 24: Ermittlung des Strombedarfes

Ermittlung der aufgenommenen Leistung:  $\eta = P_{ab} / P_{auf} \rightarrow P_{auf} = P_{ab} / \eta$

Wirkungsgrad:  $\eta = 0,85$  (angenommen)  $\rightarrow P_{auf} = 80,5 / 0,85 = 94,71$  kW

Für einen Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,60$  ergibt sich die erforderliche Scheinleistung zu:

$P_s = P_{auf} / \cos\varphi = 94,71 / 0,60 = 157,84$  kW

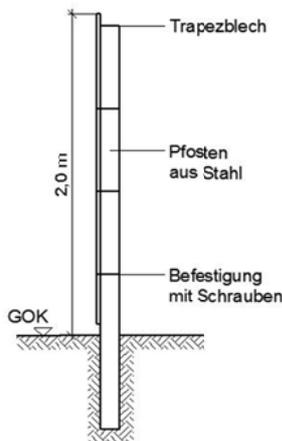
Stück	Elektrogerät	Anschlusswert [kW]	
		Einzel	Gesamt
	Baugeräte		157,84
4	Kaffeemaschinen	1,00	4,00
2	Wasserkocher	2,00	4,00
3	Kühlschränke	0,20	0,60
1	Boiler	12,00	12,00
	Bürogeräte (Annahme)		10,00
11	Heizlüfter	2,00	22,00
25	Beleuchtung	0,04	1,00
Gesamt			211,44

Tabelle 25: Ermittlung der Anschlusswert

Gleichzeitigkeitsfaktor: 0,60 (angenommen)  $\rightarrow$  Anschlusswert:  $211,44 \times 0,60 = 126,86$  kW

Gewählt: ein Anschlussschrank ÖBGL-Nr. 7701-0250 (Anschlusswert 160 kW) und drei Verteilerschränke ÖBGL-Nr. 7703-0250 (Anschlusswert 160 kW)

#### 4.5.3 Baustellensicherung



Ein Bauzaun ist umlaufend um die Baustelle vorgesehen. Die leichten Trapezbleche mit Abmessungen von 2 x 2 m werden mit selbstschneidenden Schrauben an Stehern befestigt (siehe Abb. 59). Der Abstand der Steher beträgt ca. 2 m.

Abb. 59: Geschlossener Bauzaun<sup>100</sup>

Durch die Anordnung von Bauzäunen wird die Umgebung vor Staub und Verschmutzungen geschützt. Gleichzeitig erfüllt der Bauzaun auch eine gestalterische Funktion. Die Bauzäune sind wiederwendbar und sind so ausgerichtet, dass ein schneller Auf- und Abbau und ein einfacher Transport möglich ist.

Zusätzlich zum Bauzaun sind folgende Sicherheitsmaßnahmen und –einrichtungen<sup>101</sup> vorzusehen:

- Kennzeichnung der Baustelle – Verkehrsschilder, vorübergehende Markierungen, Warneinrichtungen u.a.;
- Baustellenbeleuchtung;
- Persönliche Schutzausrüstung – Industrieschutzhelme, Sicherheitsschuhe, Schutzhandschuhe und –kleidung u.a.;
- Brandschutz – funktionsfähiger Brandschutzplan, Flucht- und Rettungswege, Löschwasserversorgung u.a.

Es wird ein Baustelleneinrichtungsplan für die Schlitzwandherstellung und ein zusätzlich für die unterirdische Herstellung der Innenschale erstellt. In diesen werden die Geräteposition auf der Baustelle, die Baustraßen, die Flächen der Büro- und Sozialeinrichtungen angegeben (siehe Anhang 9 und Anhang 10).

<sup>100</sup> JODL 2008, S. 197.

<sup>101</sup> SCHACH 2008, S. 201 – 248.

## 5 KOSTENERMITTLUNG

### 5.1 Allgemeines

Die Berechnungen werden für den dritten Bauabschnitt der U-Bahnverlängerung durchgeführt. Die Strecke liegt zwischen km 2+220 und km 3+060 und wird in Deckelbauweise ausgeführt. Als Regelquerschnitte kommen:

- RQ1, Ausführungsvariante 3 (Länge ca. 600 m) und
- RQ1, Ausführungsvariante 4 (Länge ca. 240 m)

zur Anwendung (Vgl. Abb. 14c, d und Abb. 43).

Für die folgenden Berechnungen werden die entsprechenden Werte dem Handbuch für Baukosten<sup>102</sup> (2009) in BGN und der ÖBGL (1996) in ATS entnommen. Die dort angegebenen Preise werden in EUR umgerechnet. Die Baukosten im Handbuch für Baukosten (2009) werden für die einzelnen Bauarbeiten inkl. Geräte-, Lohn- und Materialkosten angegeben.

Zusätzlich werden folgende Annahmen getroffen:

MLK: 3 €/h;

MLK – Fahrer: 3,3 €/h;

MLP = MLK x GZ = 3 €/h x 1,125 = 3,3 €/h;

Gesamtzuschlag (Lohn, Stoff, Gerät): 12,5%;

Lagerungsdichte: 2,10 t/m<sup>3</sup>;

Auflockerungsfaktor: 1,25;

Abminderungsfaktoren ÖBGL: AV: 0,60, Rep: 0,70;

Durchschnittlicher Dieserverbrauch: 0,2 l/kWh;

Dieselpreis: 0,80 €/l;

Strompreis: 0,06 €/kWh

Wasserpreis: 0,92 €/m<sup>3</sup>

GHPI: 131,3% (zur Anpassung der ÖBGL-Werte);

1,9558 BGN = 1 €;

13,7603 ATS = 1 €;

1 Mo = 172 h (5 AT/ Woche);

1 Mo = 241 h (7 AT/ Woche).

---

<sup>102</sup> DEENICHINA 2009.

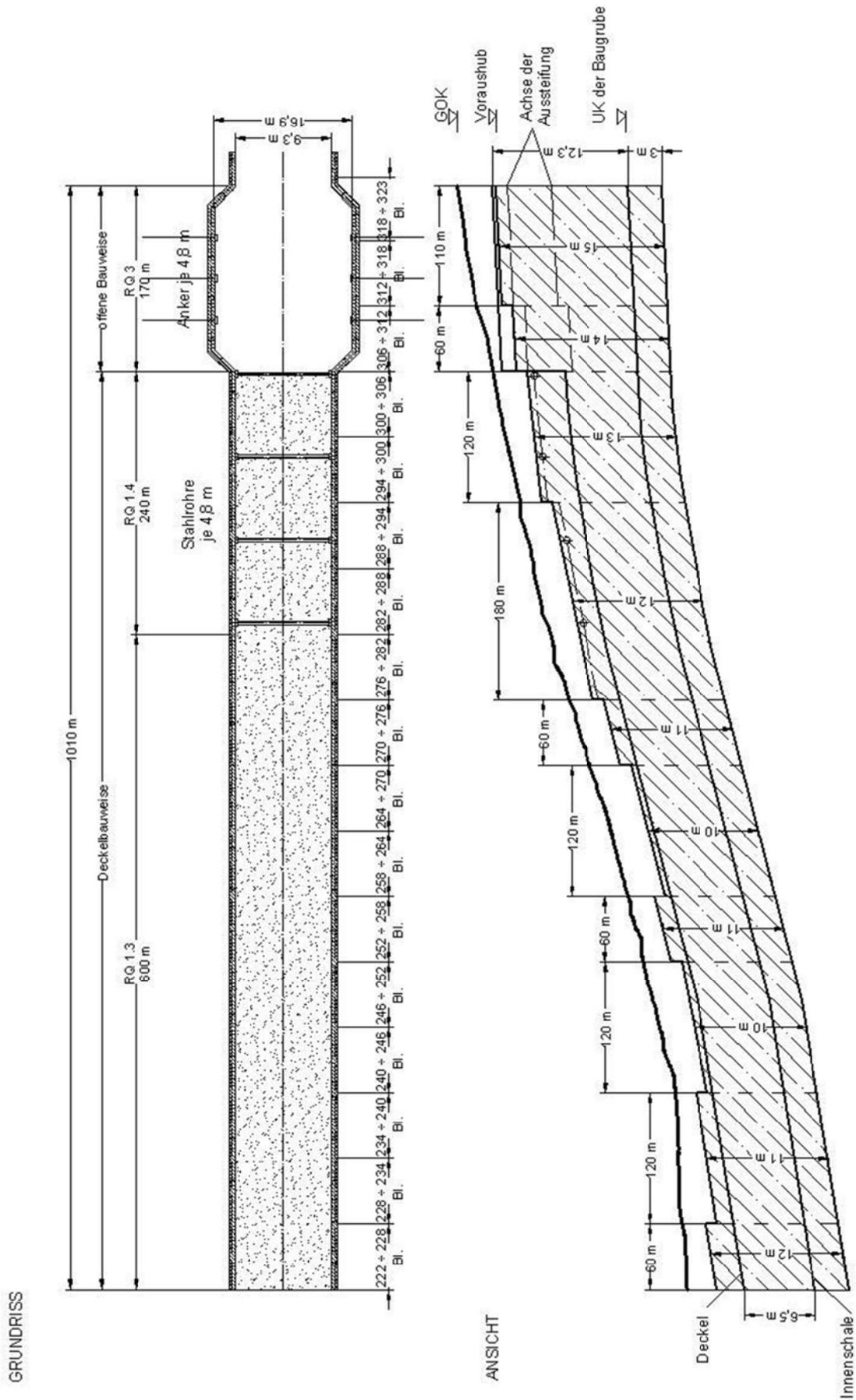


Abb. 60: Grundriss und Ansicht des gewählten Bauleses (überhöht)

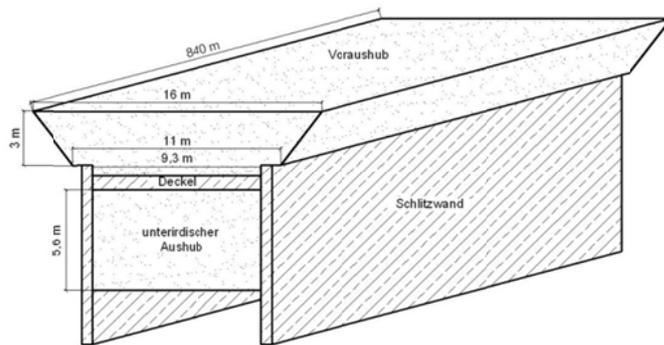


Abb. 61: Schema für Ermittlung der Erdmassen

## 5.2 Bauausführungskosten

Die Einzelkosten der Teilleistungen (Lohn-, Material- und Gerätekosten) werden in einzelnen Positionen (Arbeitsvorgänge) dargestellt.

Reihenfolge der Arbeitsvorgänge:

- Voraushub;
- Herstellen der Schlitzwand;
- Herstellen des Deckels;
- Rückfüllung;
- Unterirdischer Aushub;
- Herstellen der Innenschale.

### 5.2.1 Voraushub

Angabe: Voraushub in 51 AT;

Voraushub =  $3 \text{ m} \times 840 \text{ m} \times (11,5 \text{ m} + 16 \text{ m}) / 2 = 34.650 \text{ m}^3_{\text{fest}}$  (siehe Abb. 61)

Masse Voraushub =  $34.650 \text{ m}^3_{\text{fest}} \times 1,25$  (Auflockerungsfaktor) =  $43.312 \text{ m}^3_{\text{lose}}$

$51 \text{ AT} \times 8 \text{ h/AT} = 408 \text{ h} \rightarrow L_{\text{erf.}} = 43.312 \text{ m}^3_{\text{lose}} / 408 \text{ h} = 106,6 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$

Gerätewahl: Hydraulikbagger mit Tieföffel;

Gewählt: 60 LS/h

Tieföffelinhalt:  $V_{\text{erf}}/\text{LS} = \text{erf. Leistung}/h_{(\text{lose})} / (\text{Ladespiele} \times \text{Füllfaktor})$

$V_{\text{erf}}/\text{LS} = 106,16 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} / (60 \text{ LS/h} \times 0,90) = 1,97 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{LS}$

Gewählt: ÖBGL 3182-0200 TL für Hydraulikbagger  $2 \text{ m}^3$ , ( $1 \text{ m}^3 \sim 20 \text{ t}$  Dienstgewicht)

ÖBGL 3140-0400 Hydraulikbagger auf Raupen 40 t

Hydraulikbagger mit Tieflöffel für Voraushub			
H-Bagger	ÖBGL	3140-0400	f-AV 0,6
TL	ÖBGL	3182-0200	f-Rep 0,7
TL	AV-ATS	4 860,00	
	Rep-ATS	3 400,00	
	AV-€	353,19	
	Rep-€	247,09	
H-Bagger	AV-ATS	114 400,00	kW 160
	Rep-ATS	109 200,00	
	AV-€	8 313,77	
	Rep-€	7 935,87	
Summe			
	Summe AV/h	39,70	inkl.GHPI
	Summe Rep/h	43,73	inkl.GHPI
	Betriebsstoffe	25,60	
	Schmierstoffe	2,56	
	Fahrer	3,3	
	Kosten/h	<b>114,88</b>	<b>€/h</b>

Tabelle 26: Kosten Hydraulikbagger

Ist-Leistung:  $60 \text{ LS/h} \times 2,00 \text{ m}^3 \times 0,90 = 108 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} > L_{\text{erf}} = 106,16 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$

Dauer:  $D_{\text{erf.}} = 43.312 \text{ m}^3_{\text{lose}} / 108 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 401 \text{ h} \sim 50,1 \text{ AT} \sim 10 \text{ Wo}$

Gesamtkosten:  $114,88 \text{ €/h} / 108 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 1,06 \text{ €/m}^3_{\text{lose}}$

$114,88 \text{ €/h} / 86,4 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 1,33 \text{ €/m}^3_{\text{fest}}$

$K_{\text{Ges, Voraushub}} = 1,33 \text{ €/m}^3_{\text{fest}} \times 34.650 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 46.072,42 \text{ €}$

- Verfuhr

Gerätewahl: Ein LKW soll mit  $5 \div 8$  Ladespielen gefüllt werden.

Ladespiele	5	8
erf. Ladeinhalt [ $\text{m}^3_{\text{lose}}$ ] = LS x Tieflöffelinhalt [ $\text{m}^3_{\text{lose}}$ ] x Füllfaktor	9,00	14,40
ef. Nutzlast [t] = erf. Ladeinhalt [ $\text{m}^3_{\text{lose}}$ ] x Schüttdichte [t/ $\text{m}^3_{\text{lose}}$ ]	15,12	24,19

Tabelle 27: Gerätewahl Verfuhr

Gewählt: ÖBGL 2922-0309 LKW, Dreiachser mit Kippeinrichtung 23,3 t

Anzahl der LKW's:

Beladen:	1,0 min/LS x 7 LS	7 min
Hinfahrt:	10 km / 30 km/h x 60 min/h	20 min
Abladen:		3 min
<u>Rückfahrt:</u>	<u>10 km / 35 km/h x 60 min/h</u>	<u>17 min</u>
Umlaufzeit:		47 min

1. Stehzeitbedingung:  $T \leq n \times t_b$

T Umlaufzeit eines Transportgerätes

n Anzahl der Transportgeräte

$t_b$  Beladezeit

$$n = \frac{\text{Umlaufzeit}}{\text{Beladezeit}} = \frac{47 \text{ min}}{7 \text{ min}} = 7 \text{ Stk}$$

2. Stehzeitbedingung:  $n \times Q_{tr} \geq Q_{la}$

$Q_{tr}$  Transportleistung pro Stunde

$Q_{la}$  Ladeleistung pro Stunde

→ gewählt 7 Stk

tatsächliche Nutzlast/Lkw

$$= 7 \text{ LS} \times 2,00 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{LS} \times 0,90 \times 1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}}$$

$$= 21,2 \text{ t/Lkw}$$

$$n = \frac{108 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{h}}{\frac{60 \text{ min/h}}{47 \text{ min/Umlauf}} \times \frac{21,2 \text{ t/Lkw}}{1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}}}} = 7 \text{ Stk}$$

LKW				
LKW	ÖBGL	2922-0309	f-AV	0,6
			f-Rep	0,7
LKW	AV-ATS	44 100,00	KW	309
	Rep-ATS	46 200,00		
	AV-€	3 204,87		
	Rep-€	3 357,48		
Summe				
	Summe AV/h	14,68	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	17,94	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	49,44		
	Schmierstoffe	4,94		
	Fahrer	3,3		
	Kosten/h	<b>90,30</b>	<b>€/h</b>	

Tabelle 28: Kosten LKW

Dauer: Gleiche Dauer wie für Baugrubenvoraushub erforderlich!

Gesamtkosten:  $7 \times 90,30 \text{ €/h} / 108 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 5,85 \text{ €/ m}^3_{\text{lose}}$

$7 \times 90,30 \text{ €/h} / 86,4 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 7,32 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}}$

$K_{\text{Ges, Voraushub}} = 7,32 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 34.650 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 253.507,11 \text{ €}$

- Kostenzusammenstellung - Voraushub

Voraushub	46.072,42 €
<u>Verfuhr</u>	<u>253.507,11 €</u>
<b>Summe</b>	<b>299.579,53 €</b>

### 5.2.2 Schlitzwandherstellung

Angabe: Breite der Einzellamelle: 2,4 m

Anzahl der Lamellen: 2 Seiten x (60 m / 2,4 m) = 50 Stk. je 60 m

$L_{\text{Ges.}} = 200 \text{ Stk} \times 10 \text{ m} + 200 \text{ Stk} \times 11 \text{ m} + 200 \text{ Stk} \times 12 \text{ m} + 100 \text{ Stk} \times 13 \text{ m}$

$L_{\text{Ges}} = 7900 \text{ lfm}$

Gesamtfläche:  $7900 \text{ lfm} \times 2,4 \text{ m} = 18.960 \text{ m}^2$

Gewählt: Hydraulikbagger mit Greifer

Leistung<sup>103</sup>:  $10 \text{ m}^2/\text{h} \times 8 \text{ h/AT} \rightarrow 80 \text{ m}^2/\text{AT}$

Dauer:  $D_{\text{erf, Schlitzwand}} = 18.960 \text{ m}^2 / 80 \text{ m}^2/\text{AT} = 237 \text{ AT} (\sim 47,4 \text{ Wo})$

2 Geräte:  $\rightarrow 119 \text{ AT} (\sim 24 \text{ Wo})$

Gesamtkosten<sup>104</sup>:  $227,00 \text{ €/m}^2$  (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten, Materialkosten, Wasser für Bentonitsuspension)

$K_{\text{Ges, Schlitzwand}} = 227,00 \text{ €/ m}^2 \times 18.860 \text{ m}^2 = 4.303.920,00 \text{ €}$

(Zum Vergleich nach ÖkoKauf, Wien<sup>105</sup> sind die Kosten:  $250 \text{ €/m}^2$ .)

### 5.2.3 Aushub bis Unterkante des Deckels

Angabe: Masse Aushub =  $6.101,60 \text{ m}^3_{\text{fest}} \times 1,25$  (Auflockerungsfaktor) =  $7.627 \text{ m}^3_{\text{lose}}$

Gerätewahl: Hydraulikbagger mit Tieflöffel;

<sup>103</sup> Angabe: Fa. Bauer Bulgaria GmbH.

<sup>104</sup> Preisangabe: Fa. Bauer Bulgaria GmbH.

<sup>105</sup> ÖkoKauf Wien, S. 58.

Gewählt: 60 LS/h;  
 Füllfaktor: 0,9  
 Gewählter Tieflöffelinhalt: 1,2 m<sup>3</sup>

Gewählt: ÖBGL 3182-0120 TL für Hydraulikbagger 1,2 m<sup>3</sup>  
 ÖBGL 3140-0250 Hydraulikbagger auf Raupen 25 t

Hydraulikbagger mit Tieflöffel für Aushub				
H-Bagger	ÖBGL	3140-0250	f-AV	0,6
TL	ÖBGL	3182-0120	f-Rep	0,7
TL	AV-ATS	2 430,00		
	Rep-ATS	1 700,00		
	AV-€	176,59		
	Rep-€	123,54		
H-Bagger	AV-ATS	65 560,00	kW	120
	Rep-ATS	62 580,00		
	AV-€	4 764,43		
	Rep-€	4 547,87		
Summe				
	Summe AV/h	22,63	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	24,96	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	19,20		
	Schmierstoffe	1,92		
	Fahrer	3,3		
Kosten/h		<b>72,01</b>	<b>€/h</b>	

Tabelle 29: Kosten Hydraulikbagger

Ist-Leistung: 60 LS/h x 1,20 m<sup>3</sup> x 0,90 = 64,8 m<sup>3</sup><sub>lose</sub>/h

Dauer: D<sub>erf.</sub> = 7.627 m<sup>3</sup><sub>lose</sub> / 64,8 m<sup>3</sup><sub>lose</sub>/h = 117,7 h ~ 15 AT ~ 3 Wo

Gesamtkosten: 72,01 €/h / 64,8 m<sup>3</sup><sub>lose</sub>/h = 1,11 €/ m<sup>3</sup><sub>lose</sub>

72,01 €/h / 51,84 m<sup>3</sup><sub>fest</sub>/h = 1,39 €/ m<sup>3</sup><sub>fest</sub>

K<sub>Ges, Voraushub</sub> = 1,39 €/ m<sup>3</sup><sub>fest</sub> x 6.101,60 m<sup>3</sup><sub>fest</sub> = 8.476,- €

- Verfuhr

Gerätewahl: Ein LKW soll mit 5÷8 Ladespielen gefüllt werden.

Ladespiele	5	8
erf. Ladeinhalt [m <sup>3</sup> <sub>lose</sub> ]	5,40	8,64
ef. Nutzlast [t]	9,07	14,52

Tabelle 30: Gerätewahl Verfuhr

Gewählt: ÖBGL 2921-0265 LKW, Dreiachser mit Kippeinrichtung 13,1 t

Anzahl der LKW's:

Beladen:	1,0 min/LS x 7 LS	7 min
Hinfahrt:	10 km / 30 km/h x 60 min/h	20 min
Abladen:		3 min
<u>Rückfahrt:</u>	<u>10 km / 35 km/h x 60 min/h</u>	<u>17 min</u>
Umlaufzeit:		47 min

1. Stehzeitbedingung

$$T \leq n \times t_b \Rightarrow n = \frac{T}{t_b} = \frac{47 \text{ min}}{7 \text{ min}} = 7 \text{ Stk}$$

2. Stehzeitbedingung

tatsächl. Nutzlast/Lkw =

$$= 7 \text{ LS} \times 1,20 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{LS} \times 0,90 \times 1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}} = 12,7 \text{ t/Lkw}$$

$$n \times Q_{\text{tr}} \geq Q_{\text{la}} \Rightarrow n = \frac{Q_{\text{la}}}{Q_{\text{tr}}} = \frac{64,8 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{h}}{\frac{60 \text{ min/h}}{47 \text{ min/Umlauf}} \times \frac{12,7 \text{ t/Lkw}}{1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}}}} = 7 \text{ Stk}$$

} → gewählt 7 Stk

LKW				
Lkw	ÖBGL	2921-0265	f-AV	0,6
			f-Rep	0,7
Lkw	AV-ATS	39 060,00	kW	265
	Rep-ATS	40 920,00		
	AV-€	2 838,60		
	Rep-€	2 973,77		
Summe				
	Summe AV/h	13,00	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	15,89	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	42,40		
	Schmierstoffe	4,24		
	Fahrer	3,3		
	Kosten/h	<b>78,83</b>	<b>€/h</b>	

Tabelle 31: Kosten LKW

Dauer: Gleiche Dauer wie für Aushub erforderlich!

Gesamtkosten:  $7 \times 78,83 \text{ €/h} / 64,8 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 8,52 \text{ €/ m}^3_{\text{lose}}$

$$7 \times 90,30 \text{ €/h} / 51,84 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 10,64 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}}$$

$$K_{\text{Ges, Voraushub}} = 10,64 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 6.101,60 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 64.950,12 \text{ €}$$

- Kostenzusammenstellung – Aushub bis Unterkante des Deckels

Aushub	8.476,- €
<u>Verfuhr</u>	<u>64.950,12 €</u>
<b>Summe</b>	<b>73.426,12 €</b>

#### 5.2.4 Aussteifung

Angabe:  $N_{\text{Stahlrohre}} = 240 \text{ m} / 4,8 \text{ m} = 50 \text{ Stk}$  (siehe Abb. 60)

$l_{\text{Stahlrohre}} = 9,30 \text{ lfm}$

$L_{\text{ges. Stahlrohre}} = 50 \text{ Stk} \times 9,30 \text{ lfm} = 465 \text{ lfm}$

$g_{\text{Stahlrohre}} = 77,68 \text{ kg/lfm}$

$G_{\text{ges. Stahlrohre}} = 465 \text{ lfm} \times 77,68 \text{ kg/lfm} = 36.121 \text{ kg}$

Dauer: Gleiche Dauer wie für Baugrubenaushub erforderlich!

Gesamtkosten:

Lohn:  $K_{\text{Lohn}} = 2 \text{ Mann} \times 3 \text{ €/h} \times 117,70 \text{ h} = 706,20 \text{ €}$

Material:  $0,51 \text{ €/kg}$

$K_{\text{Material}} = 0,51 \text{ €/h} \times 36121,20 \text{ kg} = 18.421,82 \text{ €}$

$K_{\text{Ges. Aussteifung}} = 706,20 \text{ €} + 18.421,82 \text{ €} = \mathbf{19.128,02 \text{ €}}$

#### 5.2.5 Herstellen des Deckels

Alle notwendigen Mengen/Massen sind der Abb. 42 und dem Anhang 8 zu entnehmen.

- Unterbeton

Angabe:  $10 \text{ m} \times 9,3 \text{ m} \times 0,10 \text{ m} = 9,3 \text{ m}^3/\text{Block}$

$840 \text{ m} \times 9,3 \text{ m} \times 0,10 \text{ m} = 781,20 \text{ m}^3$

Leistung<sup>106</sup>:  $11 \text{ m}^3/\text{h}$  (Annahme)

Dauer:  $9,3 \text{ m}^3 / 11 \text{ m}^3/\text{h} = 0,8 \text{ h/Block}$

$781,2 \text{ m}^3 / 11 \text{ m}^3/\text{h} = 71,0 \text{ h} \sim 8,9 \text{ AT}$

Gesamtkosten:  $53,10 \text{ €/m}^3$  (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

<sup>106</sup> WIESER 2009.

Die Kosten für das Herstellen des Unterbetons inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten werden dem Handbuch für Baukosten (2009) entnommen (siehe Abb. 62).

**CEK 04 - Бетонни работи**

Код на СЕК	Видове работи, мярка	Обща цена юли 2009	Gesamtkosten July 2009			
			Lohn	Material	Geräte	Sonstiges
04.007	ПС Фу <b>Herstellen der Unterbetonschicht</b> 10 ЗА ОСНОВИ,	102.60	5.81	79.91	8.96	7.92
04.008	ПОЛАГАНЕ НА НЕАРМИРАН БЕТОН КЛАС В 12.5 ЗА ОСНОВИ, ФУНДАМЕНТИ И НАСТИЛКИ	103.85	5.81	81.16	8.96	7.92
04.009	ПОЛАГАНЕ НА НЕАРМИРАН БЕТОН КЛАС В 20 ЗА ОСНОВИ, ФУНДАМЕНТИ И НАСТИЛКИ	125.30	5.81	102.61	8.96	7.92
04.027	ПОЛАГАНЕ НА НЕАРМИРАН БЕТОН КЛАС В 10 ЗА СТЕНИ С ДЕБЕЛИНА ДО 15 cm	102.71	5.87	79.91	8.96	7.97
04.028	ПОЛАГАНЕ НА НЕАРМИРАН БЕТОН КЛАС В 12.5 ЗА СТЕНИ С ДЕБЕЛИНА ДО 15 cm	103.97	5.87	81.16	8.96	7.97

103,85 BGN/m<sup>3</sup> / 1,95583 BGN/€ = 53,10 €/m<sup>3</sup>

Abb. 62: Ermittlung der Kosten für das Herstellen der Unterbetonschicht nach Handbuch für Baukosten<sup>107</sup>

$$K_{\text{Ges, Unterbeton}} = 781,20 \text{ m}^3 \times 53,10 \text{ €/m}^3 = 41.481,72 \text{ €}$$

- Bewehren – Deckel

Angabe: 10,59 t/Block

$$10,59 \text{ t} \times 84 \text{ Blöcke} = 889,73 \text{ t}$$

Leistung<sup>108</sup>: 100 kg/h/Mann, Gewählt: 12 Mann → 1,2 t/h

Dauer: 10,59 t / 1,2 t/h = 8,83 h/Block

$$889,73 \text{ t} / 1,2 \text{ t/h} = 741,44 \text{ h} \sim 93 \text{ AT}$$

Gesamtkosten: 0,64 €/kg (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges, Unterbeton}} = 889,73 \text{ t} \times 1000 \times 0,64 \text{ €/kg} = 569.472,- \text{ €}$$

- Betonieren – Deckel

Angabe: 10 m x 9,3 m x 0,80 m = 74,4 m<sup>3</sup>/Block

$$840 \text{ m} \times 9,3 \text{ m} \times 0,80 \text{ m} = 6.249,6 \text{ m}^3$$

Leistung<sup>109</sup>: 14 m<sup>3</sup>/h

Dauer: 74,4 m<sup>3</sup> / 14 m<sup>3</sup>/h = 3,2 h/Block

$$6.249,6 \text{ m}^3 / 14 \text{ m}^3/\text{h} = 446 \text{ h} \sim 56 \text{ AT}$$

Gesamtkosten: 72,60 €/kg (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

<sup>107</sup> DEENICHINA et al., 2009), S. 104.

<sup>108</sup> BISANI 2006, S. 111.

<sup>109</sup> WIESER 2009.

$$K_{\text{Ges, Unterbeton}} = 6.249,6 \text{ m}^3 \times 72,60 \text{ €/m}^3 = 453.720,96 \text{ €}$$

- Abdichtung – Deckel

Angabe: 10 m x 9,3 m = 93 m<sup>2</sup>/Block

840 m x 9,3 m = 7.812 m<sup>2</sup>

Leistung<sup>110</sup>: 100 m<sup>2</sup>/h

Dauer: 93 m<sup>2</sup> / 100 m<sup>2</sup>/h = 9,3 h

7.812 m<sup>2</sup> / 100 m<sup>2</sup> = 78 h ~ 10 AT

Gesamtkosten<sup>111</sup>:

Lohn:  $K_{\text{Lohn}} = 4 \text{ Mann} \times 2,56 \text{ €/h} \times 78 \text{ h} = 799,90 \text{ €}$

Material: 4,09 €/m<sup>2</sup>

$K_{\text{Material}} = 4,09 \text{ €/m}^2 \times 7.812 \text{ m}^2 = 31.951,08 \text{ €}$

$K_{\text{Ges. Ausstefung}} = 799,90 \text{ €} + 31.951,08 \text{ €} = 32.751,03 \text{ €}$

- Kostenzusammenstellung – Herstellen des Deckels

Unterbeton	41.481,72 €
Bewehrung	569.472,00 €
Beton	453.720,96 €
<u>Abdichtung</u>	<u>32.751,03 €</u>
<b>Summe</b>	<b>1.097.425,71 €</b>

### 5.2.6 Rückfüllung/Verdichtung

Angabe: Masse Aushub = 40.752 m<sup>3</sup><sub>fest</sub> x 1,25 (Auflockerungsfaktor) = 50.940 m<sup>3</sup><sub>lose</sub>

- Ladegerät

Gerätewahl: Hydraulikbagger mit Tieflöffel;

Gewählt: 60 LS/h;

Füllfaktor: 0,9

Gewählter Tieflöffelinhalt: 2,5 m<sup>3</sup>

Gewählt: TL für Hydraulikbagger 2,5 m<sup>3</sup>

<sup>110</sup> Angabe: Fa. ECO Technology GmbH.

<sup>111</sup> Angabe: Fa. ECO Technology GmbH.

Hydraulikbagger auf Raupen 50 t

Ist-Leistung:  $60 \text{ LS/h} \times 2,50 \text{ m}^3 \times 0,90 = 135 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$

Dauer:  $D_{\text{erf.}} = 50.940 \text{ m}^3_{\text{lose}} / 135 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 377 \text{ h} \sim 47 \text{ AT} \sim 9,4 \text{ Wo}$

- Verfuhr

Gerätewahl: Ein LKW soll mit 5÷8 Ladespielen gefüllt werden.

Ladespiele	5	8
erf. Ladeinhalt [ $\text{m}^3_{\text{lose}}$ ]	11,25	18,00
ef. Nutzlast [t]	18,90	30,24

Tabelle 32: Gerätewahl Verfuhr

Gewählt: ÖBGL 2922-0309 LKW, Dreiachser mit Kippeinrichtung 23,3 t

Anzahl der LKW's

Abladen:		3 min
Hinfahrt:	10 km / 35 km/h x 60 min/h	17 min
Beladen:	1,0 min/LS x 6 LS	6 min
<u>Rückfahrt:</u>	<u>10 km / 30 km/h x 60 min/h</u>	<u>20 min</u>
Umlaufzeit:		46 min

1. Stehzeitbedingung

$$T \leq n \times t_b \Rightarrow n = \frac{\text{Umlaufzeit}}{\text{Beladezeit}} = \frac{46 \text{ min}}{6 \text{ min}} = 8 \text{ Stk}$$

2. Stehzeitbedingung

$$n \times Q_{\text{tr}} \geq Q_{\text{la}}$$

tatsächliche Nutzlast/Lkw=

$$= 6 \text{ LS} \times 2,5 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{LS} \times 0,9 \times 1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}} = 22,68 \text{ t/Lkw}$$

$$n \times Q_{\text{tr}} \geq Q_{\text{la}} \Rightarrow n = \frac{Q_{\text{la}}}{Q_{\text{tr}}} = \frac{135 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{h}}{\frac{60 \text{ min/h}}{46 \text{ min/Umlauf}} \times \frac{22,68 \text{ t/Lkw}}{1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}}}} = 8 \text{ Stk}$$

} → gewählt 8 Stk

LKW				
LKW	ÖBGL	2922-0309	f-AV	0,6
			f-Rep	0,7
LKW	AV-ATS	44 100,00	kW	309
	Rep-ATS	46 200,00		
	AV-€	3 204,87		
	Rep-€	3 357,48		
Summe				
	Summe AV/h	14,68	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	17,94	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	49,44		
	Schmierstoffe	4,94		
	Fahrer	3,3		
	Kosten/h	<b>90,30</b>	<b>€/h</b>	

Tabelle 33: Kosten LKW

Dauer: Gleiche Dauer wie für das Beladen erforderlich!

Gesamtkosten:  $8 \times 90,30 \text{ €/h} / 135 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 5,35 \text{ €/ m}^3_{\text{lose}}$

$8 \times 90,30 \text{ €/h} / 108 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 6,69 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}}$

$K_{\text{Ges, Voraushub}} = 6,69 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 40.752 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 272.598,07 \text{ €}$

- Einbaugeräte

$q_{e, \text{eff.}} = (F \times f_c \times 3.600 \times \eta_G) / T^{112}$ , wo:

$q_{e, \text{eff}}$  - Leistung des Einzelgeräts [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ]

F - Schildkapazität (nach Gerätehandbuch) [ $\text{fm}^3$ ]

$f_c$  - Nutzladungsbeiwert (angenommen: 0,9)

$\eta_G$  - Geräteausnutzung (angenommen: 0,8)

T – Spielzeit (angenommen: 50 s)

$F = (q_{e, \text{eff.}} \times T) / (f_c \times 3.600 \times \eta_G) = (135 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} \times 50 \text{ s}) / (0,9 \times 3.600 \times 0,8) = 2,6 \text{ fm}^3$

Gewählt: Planierraupe, Motorleistung 95 kW

Dauer: Gleiche Dauer wie für das Beladen erforderlich!

<sup>112</sup> RESCH 2008, S 15.

Planierraupe			
Planierraupe ÖBGL	3311-0095	f-AV f-Rep	0,6 0,7
Planierraupe AV-ATS	77.140,00	kW	95
Rep-ATS	53.200,00		
AV-€	5.605,98		
Rep-€	3.866,19		
Summe			
Summe AV/h	25,68	inkl.GHPI	
Summe Rep/h	20,66	inkl.GHPI	
Betriebsstoffe	15,20		
Schmierstoffe	1,52		
Fahrer	3,3		
Kosten/h	<b>66,36</b>	<b>€/h</b>	

Gesamtkosten:

$$K_{\text{Ges, Einbau}} = 66,36 \text{ €/h} \times 377 \text{ h} = 25.038,38 \text{ €}$$

- Verdichtung

Gewählt: ÖBGL 3625-0020 Tandemvibrationswalzen

Tandemvibrationswalzen			
TVW ÖBGL	3625-0020	f-AV f-Rep	0,6 0,7
TVW AV-ATS	14 090,00	kW	20
Rep-ATS	10 210,00		
AV-€	1 023,96		
Rep-€	741,99		
Summe			
Summe AV/h	38,41	inkl.GHPI	
Summe Rep/h	32,47	inkl.GHPI	
Betriebsstoffe	3,20		
Schmierstoffe	0,32		
Fahrer	3,3		
Kosten/h	<b>77,71</b>	<b>€/h</b>	

Tabelle 34: Kosten Tandemvibrationswalzen

Dauer: Gleiche Dauer wie für Rückfüllung erforderlich!

$$\text{Gesamtkosten: } K_{\text{Ges, Voraushub}} = 77,71 \text{ €/h} \times 377,3 \text{ h} = 29.321,65 \text{ €}$$

## - Kostenzusammenstellung – Rückfüllung/Verdichtung

Verfuhr	272.598,07 €
Einbau	25.038,38 €
<u>Verdichtung</u>	<u>29.321,65 €</u>
<b>Summe</b>	<b>326.958,10 €</b>

## 5.2.7 Unterirdischer Aushub

Angabe: Masse unterird. Aushub = 5,6 m x 9,3 m x 840 m = 43.747 m<sup>3</sup><sub>fest</sub> (siehe Abb. 61)  
 unterird. Aushub = 43.747 m<sup>3</sup><sub>fest</sub> x 1,25 (Auflockerungsfaktor) = 54.684 m<sup>3</sup><sub>lose</sub>

Gerätewahl: Hydraulikbagger mit Tieflöffel;  
 Gewählt: 60 LS/h;  
 Gewählter Tieflöffelinhalt: 1,5 m<sup>3</sup>

Gewählt: Tunnelbagger 30 t, TL für Tunnelbagger 1,5 m<sup>3</sup>, (1m<sup>3</sup> ~ 20 t Dienstgewicht)

Die Gerätekosten sind nach der Neuwertmethode ermittelt. Der mittlere Neuwert ist angenommen (Internet Recherche).

Tunnelbagger				
H-Bagger	ÖBGL		f-AV	0,6
			f-Rep	0,7
H-Bagger	AV-€	10 150,00	kW	250
	Rep-€	8 750,00		
Summe				
	Summe AV/h	46,49	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	46,76	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	40,00		
	Schmierstoffe	4,00		
	Fahrer	3,3		
Kosten/h		<b>140,55</b>	<b>€/h</b>	

Tabelle 35: Kosten Tunnelbagger

Ist-Leistung: 60 LS/h x 1,50 m<sup>3</sup> x 0,85 = 76,5 m<sup>3</sup><sub>lose</sub>/h

Dauer:  $D_{\text{erf.}} = 54.684 \text{ m}^3_{\text{lose}} / 76,5 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 714,8 \text{ h} \sim 89 \text{ AT} \sim 18 \text{ Wo}$

Gesamtkosten: 76,5 €/h / 76,5 m<sup>3</sup><sub>lose</sub>/h = 1,84 €/ m<sup>3</sup><sub>lose</sub>

76,5 €/h / 61,2 m<sup>3</sup><sub>fest</sub>/h = 2,30 €/ m<sup>3</sup><sub>fest</sub>

$K_{\text{Ges, Voraushub}} = 2,30 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 43.747 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 100.465,52 \text{ €}$

- Verfuhr – die Verfuhr erfolgt durch LKW; die Höhe des Fahrzeuges beträgt ca.  $3,5 \text{ m}^{113}$ ; lichte Höhe des Tunnels (4,7 m).

Gerätewahl: Ein LKW soll mit 5÷8 Ladespielen gefüllt werden.

Ladespiele	5	8
erf. Ladeinhalt [ $\text{m}^3_{\text{lose}}$ ]	6,38	10,20
erf. Nutzlast [t]	10,71	17,14

Tabelle 36: Gerätewahl Verfuhr

Gewählt: ÖBGL 2922-0235 LKW, Dreiachser mit Kippeinrichtung 14 t

### Anzahl der LKW's

Beladen:	1,0 min/LS x 6 LS	6 min
Hinfahrt:	10 km / 30 km/h x 60 min/h	20 min
Abladen:		3 min
Rückfahrt:	10 km / 35 km/h x 60 min/h	17 min
Umlaufzeit:		46 min

#### 1. Stehzeitbedingung

$$T \leq n \times t_b \Rightarrow n = \frac{\text{Umlaufzeit}}{\text{Beladezeit}} = \frac{46 \text{ min}}{6 \text{ min}} = 8 \text{ Stk}$$

#### 2. Stehzeitbedingung

$$n \times Q_{tr} \geq Q_{la}$$

tatsächliche Nutzlast/Lkw =

$$= 6 \text{ LS} \times 1,5 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{LS} \times 0,85 \times 1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}} = 12,85 \text{ t/Lkw}$$

$$n \times Q_{tr} \geq Q_{la} \Rightarrow n = \frac{Q_{la}}{Q_{tr}} = \frac{76,5 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{h}}{\frac{60 \text{ min/h}}{46 \text{ min/Umlauf}} \times \frac{12,85 \text{ t/Lkw}}{1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}}}} = 8 \text{ Stk}$$

} → gewählt 8 Stk

<sup>113</sup> KÖNIG 2008, S. 131.

LKW				
LKW	ÖBGL	2922-0235	f-AV	0,6
			f-Rep	0,7
Lkw	AV-ATS	38 850,00	kW	235
	Rep-ATS	40 700,00		
	AV-€	2 823,34		
	Rep-€	2 957,78		
Summe				
	Summe AV/h	12,93	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	15,81	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	37,60		
	Schmierstoffe	3,76		
	Fahrer	3,3		
	Kosten/h	<b>73,40</b>	<b>€/h</b>	

Tabelle 37: Kosten LKW

**Dauer:** Gleiche Dauer wie für unterirdischen Aushub erforderlich!

**Gesamtkosten:**  $8 \times 73,40 \text{ €/h} / 76,5 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 7,68 \text{ €/ m}^3_{\text{lose}}$

$8 \times 73,40 \text{ €/h} / 61,2 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 9,59 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}}$

$K_{\text{Ges, Voraushub}} = 9,59 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 43.747,20 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 419.725,98 \text{ €}$

- Kostenzusammenstellung – unterirdischer Aushub

Unterirdischer Aushub	100.465,52 €
<u>Verfuhr</u>	<u>419.725,98 €</u>
<b>Summe</b>	<b>520.191,50 €</b>

### 5.2.8 Innenschale

Die Sohle wird vorauseilend betoniert, anschließend werden die Wände hergestellt. Für die Herstellung werden zwei Schalwagen – System Variokit<sup>114</sup> eingesetzt (siehe Abb. 61). Das Betonieren erfolgt in Betonierabschnitten von 10 m. Zwei Blöcke werden im Wochentakt (schalen, bewehren, betonieren) hergestellt. Die Wände werden einen Tag nach dem Betonieren ausgeschalt, worauf der Schalwagen zum nächsten Betonierabschnitt weitergezogen wird.

<sup>114</sup> Firmenprospekt: Fa. PERI GmbH, 2008.

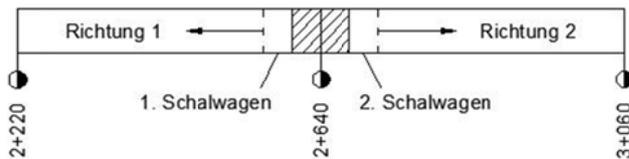


Abb. 63: Position der Schalwagen entlang der Trasse

Die Bauabschnitt wird mit zwei Schalwagen ausgeführt. Beide Schalwagen sind gleichzeitig im Einsatz, wobei beide zu Beginn der Betonierarbeiten in der Mitte des Bauloses (263. Block und 263. Block) positioniert werden.

Die Abb. 64 zeigt schematisch ein Wochentakt.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di
Richtung 1 264 Bl. → 222 Bl.	Bewehren	Aus-/ Einschalen	Betonieren	Bewehren	Aus-/ Einschalen	Betonieren	Ruhetag	Bewehren	Ruhetag
Richtung 2 264 Bl. → 306 Bl.	Ruhetag	Betonieren	Bewehren	Aus-/ Einschalen	Betonieren	Bewehren	Aus-/ Einschalen	Betonieren	Ruhetag

Abb. 64: Arbeitsablauf – Wochentakt

#### - Unterbeton – Sohle

Angabe: 10 m x 9,3 m x 0,3 m = 28 m<sup>3</sup>/Block  
840 m x 9,3 m x 0,3 m = 2.344 m<sup>3</sup>

Leistung: 11 m<sup>3</sup>/h (Annahme)

Dauer: 28 m<sup>3</sup> / 11 m<sup>3</sup>/h = 2,5 h/Block  
2.344 m<sup>3</sup> / 11 m<sup>3</sup>/h = 213 h ~ 27 AT

Gesamtkosten: 53,10 €/m<sup>3</sup> (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges, Unterbeton}} = 2.344 \text{ m}^3 \times 53,10 \text{ €/m}^3 = 120.296,99 \text{ €}$$

#### - Spritzbeton – Wände

Angabe: 2 x 6,5 m x 10 m = 130 m<sup>2</sup>/Block  
130 m<sup>2</sup> x 84 Blöcke = 10.920 m<sup>2</sup>

Leistung<sup>115</sup>: 10 m<sup>2</sup>/h, Dicke = 0,125 m → 80 m<sup>2</sup>/h

Dauer: 130 m<sup>2</sup> / 80 m<sup>2</sup>/h = 1,6 h/Block  
10.920 m<sup>2</sup> / 10 m<sup>2</sup>/h = 136 h ~ 17 AT

<sup>115</sup> BUJA 2001, S. 625.

Gesamtkosten: 20,54 €/m<sup>2</sup> (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges, Betonieren}} = 10.920 \text{ m}^2 \times 20,54 \text{ €/m}^2 = 224.296,80 \text{ €}$$

- Abdichtung<sup>116</sup>

Angabe:       Sohle: 10 m 9,3 m = 93 m<sup>2</sup>/Block  
                       840 m x 9,3 m = 7.812 m<sup>2</sup>  
                       Wände: 2 x 6,5 m x 10 m = 130 m<sup>2</sup>/Block  
                       130 m<sup>2</sup> x 84 Blöcke = 10.920 m<sup>2</sup>

Leistung:     Sohle: 100 m<sup>2</sup>/h  
                       Wände: 37,5 m<sup>2</sup>/h

Dauer:         Sohle: 93 m<sup>2</sup> / 100 m<sup>2</sup>/h = 9,3 h/Block  
                       7.812 m<sup>2</sup> / 100 m<sup>2</sup>/h = 78 h ~ 10 AT  
                       Wände: 130 m<sup>2</sup> / 37,5 m<sup>2</sup>/h = 3,5 h/Block  
                       10.920 m<sup>2</sup> / 37,5 m<sup>2</sup>/h = 291 h ~ 36 AT

Gesamtkosten:

Lohn:             $K_{\text{Lohn}} = 4 \text{ Mann} \times 2,56 \text{ €/h} \times 369,32 \text{ h} = 3.781,80 \text{ €}$

Material:       Sohle: 4,09 €/m<sup>2</sup>

                      Wände: 5,62 €/m<sup>2</sup>

$$K_{\text{Material}} = 4,09 \text{ €/m}^2 \times 7.812 \text{ m}^2 + 5,62 \text{ €/m}^2 \times 10.920 \text{ m}^2 = 93.321,48 \text{ €}$$

$$K_{\text{Ges, Abdichtung}} = 3.781,80 \text{ €} + 93.321,48 \text{ €} = 97.103,32 \text{ €}$$

- Bewehren

Angabe:       Sohle: 4,56 t/Block  
                       4,56 t x 84 Blöcke = 383 t  
                       Wände: 5,27 t/Block  
                       5,27 t x 84 Blöcke = 443 t

Leistung<sup>117</sup>:   Sohle: 100 kg/h/Mann, Gewählt: 10 Mann → 1,0 t/h  
                       Wände: 100 kg/h/Mann, Gewählt: 5 Mann → 0,5 t/h

Dauer:         Sohle: 4,56 t / 1,0 t/h = 4,6 h/Block  
                       383 t / 1,0 t/h = 383 h ~ 48 AT  
                       Wände: 5,27 t / 0,5 t/h = 10,5 h  
                       443 t / 0,5 t/h = 885,4 h ~ 111 AT

<sup>116</sup> Angabe: Fa. ECO Technology GmbH.

<sup>117</sup> BISANI 2006, S. 111.

Gesamtkosten: 0,64 €/t (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges, Bewehren}} = (383 \text{ t} + 443 \text{ t}) \times 1000 \times 0,64 \text{ €/t} = 528.460,80 \text{ €}$$

- Schalung

Angabe: 2 Stk. Schalwagen

Leistung: Das Aus-/Einschalen erfolgt in einem halben Tag (angenommen).

Dauer: 5 Mo, 2 AT/Wo (siehe Abb. 3) → 42 AT ~ 336 h

Gesamtkosten<sup>118</sup>:

Lohn:  $K_{\text{Lohn}} = 4 \text{ Mann} \times 3 \text{ €/h} \times 336 \text{ h} = 4.032,- \text{ €}$

Material: Kaufteile: 11.760,- €

Mietteile: 143.600,- €

Technische Bearbeitung: 7.000,- €

Mietsätze: 3,7%

$$K_{\text{Material}} = 2 \times (11.760 \text{ €} + 7.000 \text{ €} + 3,7\% \times 143.600 \text{ €} \times 5 \text{ Mo}) = 90.615,- \text{ €}$$

$$K_{\text{Ges.Schalung}} = 4.032 \text{ €} + 90.615 \text{ €} = 94.647,- \text{ €}$$

- Betonieren

Angabe: Sohle: 10 m x 9,0 m x 0,60 m = 54 m<sup>3</sup>/Block

$$840 \text{ m} \times 9,0 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 4.536 \text{ m}^3$$

Wände: 2 x 10 m x 4,7 m x 0,50 m = 47 m<sup>3</sup>/Block

$$47 \text{ m}^3 \times 84 \text{ Blöcke} = 3.948 \text{ m}^3$$

Leistung<sup>119</sup>: Sohle: 14 m<sup>3</sup>/h

Wände: 7 m<sup>3</sup>/h

Dauer: Sohle: 54 m<sup>3</sup> / 14m<sup>3</sup>/h = 3,9 h/ Block

$$4.536 \text{ m}^3 / 14 \text{ m}^3/\text{h} = 324 \text{ h} \sim 41 \text{ AT}$$

Wände: 47 m<sup>3</sup> / 7 m<sup>3</sup>/h = 6,7 h/Block

$$8.484 \text{ m}^3 / 7 \text{ m}^3/\text{h} = 564 \text{ h} \sim 71 \text{ AT}$$

Gesamtkosten: 72,60 €/m<sup>3</sup> (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges, Betonieren}} = 8.484 \text{ m}^3 \times 72,60 \text{ €/m}^3 = 615.938,40 \text{ €}$$

<sup>118</sup> Angabe: Fa. Peri Bulgaria GmbH.

<sup>119</sup> WIESER 2009.

## - Kostenzusammenstellung - Innenschale

Unterbeton - Sohle	120.296,99 €
Abdichtung	97.103,32 €
Bewehren	528.460,80 €
Schalung	94.647,00 €
Betonieren	615.938,40 €
<u>Spritzbeton - Wände</u>	<u>224.296,80 €</u>
<b>Summe</b>	<b>1.680.743,30 €</b>

## 5.2.9 Ermittlung des Gesamtpreises

Voraushub	299.579,53 €
Schlitzwand	4.303.920,00 €
Aushub bis UK des Deckels	73.426,12 €
Aussteifung	19.128,02 €
Herstellen des Deckels	1.097.425,70 €
Rückfüllung/Verdichtung	326.958,10 €
Unterirdischer Aushub	520.191,50 €
<u>Herstellen der Innenschale</u>	<u>1.680.743,30 €</u>
<b>Bauausführungskoten</b>	<b>8.321.372,27 €</b>
+	
<u>Gewinn+Wagnis: 10%</u>	<u>832.137,23 €</u>
<b>Gesamtpreis</b>	<b>9.153.509,50 €</b>

## 5.3 Baustellengemeinkosten

Die Baustellengemeinkosten werden in drei Gruppen untergegliedert: einmalige Kosten (Einrichten und Räumen der Baustelle), zeitgebundene Kosten und Gerätekosten. Diese werden im Folgenden für den gewählten Bauabschnitt (3. Baulos) dargestellt.

Die Bemessung der Baustelleneinrichtung im Punkt 4.4 dient als Grundlage dieser Kostenberechnungen.

Die Kosten der für die Transporte eingesetzten Geräte werden pauschal in €/h angegeben und sind Fremdleistungen. Für die Kalkulation werden folgende Annahmen getroffen:

- LKW                   MLP: 25,3 €/h (3,3 € Lohn / 22,- € Gerät);
- Tieflader           MLP: 32,3 €/h (3,3 € Lohn / 29,- € Gerät).

### 5.3.1 Einmalige Kosten

Die einmaligen Kosten sind zeitunabhängig und beinhalten folgende Einzelpositionen an:

- Einrichten der Baustelle;
- Räumen der Baustelle.

Dazu gehören die Lohnkosten für das Auf- und Abbauen der Baustelleneinrichtung, die zugehörigen Stoff-, Transport- und Gerätekosten, sowie die Kosten für Baustellensicherung und Installationsarbeiten (Verlegen von Leitungen).

- Einrichten der Baustelle

Das Einrichten umfasst folgende Leistungen:

- Aufstellen und Einrichten der Container;
- Einrichtung der Baustellensicherung und Installationen. Installationsarbeiten sind aufgrund der innerstädtischen Lage der Baustelle kaum erforderlich und werden daher nicht weiter berücksichtigt.

Der Faktor 0,2 in der Kalkulation der Materialkosten berücksichtigt den Wertverlust während der Vorhaltdauer (fünf Einsätze).

Die Aufwands- und Leistungswerte werden aufgrund des Übungsbeispiels – Baustelleneinrichtung<sup>120</sup> angenommen.

---

<sup>120</sup> JODL 2008.

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
<b>Unterkünfte aufstellen und einrichten</b>			
<b><u>Aufladen, Transport und Abladen</u></b>			
<i>Auf- und Abladen</i>			
Aufandswert: 1 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 1 h/Cont x MLP	50,63		
<i>Transport (inkl. Stehzeit)</i>			
Aufandswert: 2,2 h/Cont; Tieflader: 32,3 €/h			
Lohn: 15 Cont x 2,2 h/Cont x 3,3 €/h x GZ	122,51		
Gerät: 15 Cont x 2,2 h/Cont x 29 x GZ		1076,63	
<i>für Einrichtung, Material, etc.:</i>			
Aufandswert: 0,5 h/Cont; LkW: 25,3 €/h			
Lohn: 15 Cont x 0,5 h/Cont x 3,3 €/h x GZ	27,84		
Gerät: 15 Cont x 0,5 h/Cont x 22 x GZ		185,63	
<b><u>Aufbau</u></b>			
Aufandswert: 1,5 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 1,5 h/Cont x MLP	75,94		
<i>Holzstiegen für Containertürme</i>			
Aufandswert: 16 h/Turm (2 Mann x 8 h)			
Lohn: 2 Türme x 16 h/Turm x MLP	108,00		
Material: Bauholz ~6 m³			
6 m³ x 29 € x GZ		195,75	
Kleinzeug pauschal: 60 € x GZ		67,50	
<b><u>Anschlüsse, Installationen, Einrichten</u></b>			
Aufandswert: 2,5 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 2,5 h/Cont x MLP	126,56		
Material: Diverses 50 €/Cont			
50 €/Cont x 15 Cont x GZ		843,75	
<b>Zwischensumme</b>	<b>511,48</b>	<b>2.369,25</b>	<b>2.880,73</b>
<b>Baustellensicherung</b>			
Aufandswert: 170 h (2 Mann x 85 h)			
Lohn: 170 x MLP	573,75		
Gerät: 1 LkW mit Hebeeinrichtung, 25,3 €/h			
Lohn: 85 h x 3,3 x GZ	315,56		
Gerät: 85 h x 22 €/h x GZ		2.103,75	
Material: Gitterelement (L= 1700 lfm), 7,3 €/lfm			
1700 lfm x 0,2 x 7,3 €/lfm x GZ		2.792,25	
<b>Zwischensumme</b>	<b>889,31</b>	<b>4.896,00</b>	<b>5.785,31</b>
<b>Installationen</b>			
Strom, Wasser, Telefon			
Anschlussgebühren			
Telefon: 2 x 36 € x GZ		81,00	
Internet: 2 x 15 € x GZ		33,75	
Kanal und Wasser: 350 € x GZ		393,75	
Strom: 375 € x GZ		421,88	
Aufandswert: 16 h (2 Mann x 8 h)			
Lohn: 16 h x MLP	54,00		
Material: div. Kleinzeug: 75 € x GZ		84,38	
<b>Zwischensumme</b>	<b>54,00</b>	<b>1.014,75</b>	<b>1.068,75</b>
<b>Summe der Preise</b>	<b>1.454,79</b>	<b>8.280,00</b>	<b>9.734,79</b>

Tabelle 38: Ermittlung des Gesamtpreises für Einrichten der Baustelle

## - Räumen der Baustelle

Das Räumen beinhaltet das Abbauen und Abtransportieren der Unterkünfte, das Abbauen der Baustellensicherung, das Abbauen der Installationen und die Beseitigung der Baustellenabfälle.

Für die Beseitigung des Abfalls wird angenommen, dass zwei Mulden notwendig sind. Die Entsorgungskosten für eine Mulde betragen ca. 120,- €.

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
<b>Unterkünfte abbauen und abtransportieren</b>			
<u>Aufladen, Transport und Abladen</u>			
<i>Auf- und Abladen</i>			
Aufwandswert: 1 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 1 h/Cont x MLP	50,63		
<i>Transport (inkl. Stehzeit)</i>			
Aufwandswert: 2,2 h/Cont; Tieflader: 32,3 €/h			
Lohn: 15 Cont x 2,2 h/Cont x 3,3 €/h x GZ	122,51		
Gerät: 15 Cont x 2,2 h/Cont x 29 x GZ		1076,63	
<i>für Einrichtung, Material, etc.:</i>			
Aufwandswert: 0,5 h/Cont; LkW: 25,3 €/h			
Lohn: 15 Cont x 0,5 h/Cont x 3,3 €/h x GZ	27,84		
Gerät: 15 Cont x 0,5 h/Cont x 22 x GZ		185,63	
<u>Aufbau</u>			
Aufwandswert: 1,0 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 1,0 h/Cont x MLP	50,63		
<i>Holzstiegen für Containertürme</i>			
Aufwandswert: 16 h/Turm (2 Mann x 8 h)			
Lohn: 2 Türme x 16 h/Turm x MLP	108,00		
<u>Anschlüsse, Installationen, Einrichten</u>			
Aufwandswert: 2,0 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 2,0 h/Cont x MLP	101,25		
<b>Zwischensumme</b>	<b>460,86</b>	<b>1.262,25</b>	<b>1.723,11</b>
<b>Abbau der Baustellensicherung</b>			
Aufwandswert: 170 h (2 Mann x 85 h)			
Lohn: 170 x MLP	573,75		
Gerät: 1 LkW mit Hebeeinrichtung, 25,3 €/h			
Lohn: 85 h x 3,3 x GZ	315,56		
Gerät: 85 h x 22 €/h x GZ		2103,75	
<b>Zwischensumme</b>	<b>889,31</b>	<b>2.103,75</b>	<b>2.993,06</b>
<b>Abbau der Installationen</b>			
Aufwandswert: 16 h (2 Mann x 8 h)			
Lohn: 16 x MLP	573,75		
<b>Zwischensumme</b>	<b>573,75</b>	<b>0,00</b>	<b>573,75</b>
<b>Beseitigung der Baustellenabfälle</b>			
pauschal: 1 Mulde entsorgen: ca. 120 €			
2 Mulden x 120 €/Mulde x GZ		270,00	
<b>Zwischensumme</b>	<b>0,00</b>	<b>270,00</b>	<b>270,00</b>
<b>Summe der Preise</b>	<b>1.923,92</b>	<b>3.636,00</b>	<b>5.559,92</b>

Tabelle 39: Ermittlung des Gesamtpreises für Räumen der Baustelle

### 5.3.2 Zeitgebundene durchschnittliche Vorhaltekosten der Baustelle

Die zeitgebundenen Kosten der Baustelle sind von der Baudauer abhängig und umfassen die Gehaltskosten, die Lohnkosten für Arbeiter, die zur Aufrechterhaltung der Produktionsfähigkeit der Baustelle erforderlich sind (Fahrer, Magazinier und Bewachung) und sonstige Kosten der Baustelle (Bürokosten, Wasser, Strom, Telefon).

Der Bauzeitplan dient als Grundlage für die Bestimmung des Baudauers. Der Baudauer beträgt 14 Monate.

Folgende Neuwerte werden bei der Ermittlung der Abschreibung der Einrichtungen der Bauleitung und der Unterkünfte angenommen.

Neuwert der Einrichtung Unterkünfte	1.000,00	€
Neuwert der Einrichtung Bauleitung	1.000,00	€
<b>Summe</b>	<b>2.000,00</b>	<b>€</b>
5 Computer (500 €/Stk)	2500	€
2 Kopier & Faxgerät (400 €/Stk)	800	€
2 Telefonanlage	200	€
<b>Summe</b>	<b>3.500,00</b>	<b>€</b>

Die Kosten für den Wasser- und Energieverbrauch richten sich an den notwendigen Spitzenverbrauch, der in Punkt 4.5.2 ermittelt wurde. Der Preis für Wasser wird mit 0,92 €/m<sup>3</sup><sup>121</sup> und für Strom mit 0,06 €/kWh<sup>122</sup> angenommen.

Die Transportkosten der Baustelle sind zeitabhängig. Es wird mit zwei Versorgungsfahrten pro Woche kalkuliert.

<sup>121</sup> Homepage: [www.sofiyskavoda.bg](http://www.sofiyskavoda.bg) 2009.

<sup>122</sup> Homepage: [www.cez.bg](http://www.cez.bg) 2009.

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
<b>Gehaltskosten der Angestellten</b>			
Bauleiter Gehalt: 2000 €/Mo x 1 x 14 Mo x GZ	31.500,00		
Polier Gehalt: 1200 €/Mo x 2 x 14 Mo x GZ	37.800,00		
<b>Zwischensumme</b>	<b>69.300,00</b>	<b>0,00</b>	<b>69.300,00</b>
<b>unproduktive Lohnkosten</b>			
Magaziner Lohn: 2,0 x 172 h/Mo x 14 Mo x GZ	5.418,00		
Laborant Lohn: 2,5 x 172 h/Mo x 14 Mo x GZ	6.772,50		
Reinigungsfachkraft Lohn: 1,5 €/h, Einsatz 20 h/Mo 2,0 €/h x 20 h/Mo x 4 Mo x GZ	135,00		
<b>Zwischensumme</b>	<b>12.325,50</b>	<b>0,00</b>	<b>12.325,50</b>
<b>Monatliche Kosten für Strom, Wasser (inkl. Wasserentsorgung)</b>			
Strom: (130 kW x 172 h/Mo x 9 Mo +130 kW x 241 h/Mo x 5 Mo) x 0,6 x 0,06 €/kWh x GZ		14.494,55	
Wasser: Bedarf ca.5,56 m³/AT 5,56 m³/AT x 349 AT x 0,92 €/m³ x GZ		2.008,36	
<b>Zwischensumme</b>	<b>0,00</b>	<b>16.502,90</b>	<b>16.502,90</b>
<b>Bürokosten</b>			
Telefon / Internet: Gebühren: 65 €/Mo x 2 x 14 Mo x GZ		585,00	
Bürobedarf: 50 €/Mo x 14 Mo x GZ		787,5	
<b>Zwischensumme</b>	<b>0,00</b>	<b>1.372,50</b>	<b>1.372,50</b>
<b>Abschreibung der Einrichtung</b>			
NW der Einrichtung: 2.000 € monatl. AV: 2,2% monatl. Rep: 1,0%			
AV: 2.000 € x 0,022 x 14 Mo x GZ		693,00	
Rep-L: 2.000 € x 0,01 x 0,5 x 14 Mo x GZ	157,50		
Rep-S: 2.000 € x 0,01 x 0,5 x 14 Mo x GZ		157,50	
NW der Einrichtung: 3.500 € monatl. AV: 2,8% monatl. Rep: 0,6%			
AV: 3.500 € x 0,028 x 14 Mo x GZ		1.543,50	
Rep-L: 3.500 € x 0,006 x 0,5 x 14 Mo x GZ	165,38		
Rep-S: 3.500 € x 0,006 x 0,5 x 14 Mo x GZ		165,38	
<b>Zwischensumme</b>	<b>322,88</b>	<b>2.559,38</b>	<b>2.882,25</b>
<b>Transportkosten zur Versorgung der Baustelle</b>			
NW der Einrichtung: 2.000 € 8 Fahrten/Mo x 2,5 h/Fahrt = 20 h/Mo; LKW: 25,3 €/h			
Lohn: 20 h x 14 Mo x 3,3 €/h x GZ	1.039,50		
Gerät: 20 h x 14 Mo x 22 €/h x GZ		6.930,00	
<b>Zwischensumme</b>	<b>1.039,50</b>	<b>6.930,00</b>	<b>7.969,50</b>
<b>Summe der Preise</b>	<b>82.987,88</b>	<b>27.364,78</b>	<b>110.352,65</b>

Tabelle 40: Ermittlung des Gesamtpreises

### 5.3.3 Gerätekosten der Baustelle

Die Gerätekosten sind wie die zeitgebundenen Kosten von der Baudauer direkt abhängig und umfassen die Kosten jener Geräte, die dem allgemeinen Betrieb der Baustelle dienen (Vorhaltegeräte) und sind nicht als Einzelgerätekosten in den Leistungspositionen erfasst. Die auf der Baustelle notwendigen Vorhaltegeräte werden in der Tabelle 42 aufgelistet.

Die monatlichen AV- und Rep-Kosten sind in der folgenden Tabelle kalkuliert. In Anlehnung an die ÖBGL (1996) wird die monatliche AV mit 1,8% bzw. 2,2% und das monatliche Reparaturentgelt mit 0,8% bzw. 1,2% abgeschätzt.

Menge	Bezeichnung	Neuwert <sup>123</sup> €	AV [%]	Rep [%]	monatl. AV	monatl. Rep	monatl. AV x Menge	monatl. Rep x Menge
2	Bürocontainer 10'	3.100,00	1,8	0,8	55,80	24,80	111,6	49,6
8	Bürocontainer 20'	3.980,00	1,8	0,8	71,64	31,84	573,12	254,72
3	Sanitärcontainer 8'	2.550,00	2,2	1,2	56,10	30,60	168,3	91,8
1	Sanitärcontainer 16'	8.100,00	2,2	1,2	178,20	97,20	178,2	97,2
1	Lagercontainer 20'	2.780,00	1,8	0,8	50,04	22,24	50,04	22,24

Tabelle 41: Ermittlung der Kosten – AV und Rep. für die gewählten Container

<sup>123</sup> Preisangabe: (Firmenprospekt: Fa. Container Handelsgesellschaft m.b.H., 2009)

Menge	Bezeichnung	ÖBGL-Nr.	monatl. AV/Stk.	monatl. Rep/Stk.	[€ x GHPI x AbmFak]	[€ x GHPI x AbmFak]	AV x Menge	Rep x Menge	Verr. Monate	AV ges.	Rep. ges
2	Mobilkran	2147-0025	60.300,00	40.200,00	3.452,28	2.685,10	6.904,55	5.370,21	10,50	72.497,78	56.387,16
2	Innenvibrator	1816-0090	1.060,00	720,00	60,69	48,09	121,37	96,18	11,50	1.395,80	1.106,10
2	Vibrationsbohle	1832-0040	1.330,00	910,00	76,14	60,78	152,29	121,56	11,50	1.751,33	1.397,99
2	Baustellen - KFZ	2901-0000	5.000,00	4.000,00	286,26	267,17	572,52	534,35	14,00	8.015,23	7.480,88
1	Anschlusschrank	7701-0250	1.380,00	765,00	79,01	51,10	79,01	51,10	14,00	1.106,10	715,36
3	Verteilerschrank	7703-0250	1.590,00	885,00	91,03	59,11	273,09	177,34	14,00	3.823,27	2.482,72
1	Betonstahlschere	9162-0020	500,00	300,00	28,63	20,04	28,63	20,04	14,00	400,76	280,53
1	Handschalungsreiniger	9217-0150	405,00	221,00	23,19	14,76	23,19	14,76	14,00	324,62	206,66
1	Hochdruckreiniger	9330-0025	630,00	364,00	36,07	24,31	36,07	24,31	5,00	180,34	121,56
2	Bürocontainer 10'	-	-	-	-	-	111,60	49,60	14,00	1.562,40	694,40
7	Bürocontainer 20'	-	-	-	-	-	573,12	254,72	14,00	8.023,68	3.566,08
3	Sanitärcontainer 8'	-	-	-	-	-	168,30	91,80	14,00	2.356,20	1.285,20
1	Sanitärcontainer 16'	-	-	-	-	-	178,20	97,20	14,00	2.494,80	1.360,80
1	Lagercontainer 20'	-	-	-	-	-	50,04	22,24	14,00	700,56	311,36
1	Nivelliergerät	9501-0019	176,00	66,00	11,76	4,41	11,76	4,41	14,00	164,58	61,72
1	Theodolite	9505-0300	1.330,00	498,00	88,84	33,26	88,84	33,26	14,00	1.243,70	465,68
20	Arbeitsbühnen [lfm]	-	39,00	30,00	2,60	2,00	52,10	40,08	5,00	260,50	200,38
<b>Summe</b>										<b>106.301,63</b>	<b>78.124,59</b>

Tabelle 42: Ermittlung der Kosten für die Vorhaltegeräte

In der Tabelle 43 ist der Gerätepreis angegeben.

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
AV gesamt		106.301,63	
Aufteilung Rep. 50% Lohn und 50% Sonstiges	39.062,30	39.062,30	
Gerätekosten gesamt	39.062,30	145.363,93	
Gesamtzuschlag	4.882,79	18.170,49	
<b>Gerätepreis insgesamt</b>	<b>43.945,08</b>	<b>163.534,42</b>	<b>207.479,50</b>

Tabelle 43: Ermittlung der Gerätepreis

#### 5.3.4 Baustellengesamtpreis

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
Einrichten	1.454,79	8.280,00	9.734,79
Räumen	1.923,92	3.636,00	5.559,92
Zeitgebundene	82.987,88	27.364,78	110.352,65
Geräte	43.945,08	163.534,42	207.479,50
<b>Summe</b>	<b>130.311,67</b>	<b>202.815,19</b>	<b>333.126,86</b>

Tabelle 44: Baustellengesamtpreis

#### 5.4 Zusammenstellung des Herstellungspreises

Um den Angebotspreis zu erhalten, wird auf den Gesamtpreis Mehrwertsteuer (MwSt.) aufgeschlagen.

Bauausführung	9.153.509,50 €
<u>Baustelleneinrichtung</u>	<u>333.126,86 €</u>
Gesamtpreis	9.486.636,36 €
+	
<u>MwSt.: 20%</u>	<u>1.897.327,27 €</u>
<b>Angebotspreis</b>	<b>11.383.963,63 €</b>

## 6 GEGENÜBERSTELLUNG

In der gegenständlichen Diplomarbeit wurden alle bauverfahrenstechnisch relevanten Arbeiten und Vorgänge, welche für die Ausführung des gewählten 3. Bauloses der U-Bahnverlängerung (Variante A – vgl. Abb. 4) erforderlich sind, beschrieben. Eine weitere Ausführungsvariante wird in der Diplomarbeit „Variantenstudie – Offene Bauweise mit Bohrpfahlwänden“ (Variante B) von Elvina Stoyanova, Matr. N 0427340 dargestellt. Beide Ausführungsmöglichkeiten werden im Folgenden aus baubetrieblicher und wirtschaftlicher Sicht verglichen. Die notwendigen Daten werden beiden Diplomarbeiten entnommen.

Die Kostenermittlung erfolgte bei Variante A für das 3. Baulos. Für Variante B wurden die Kosten für das 1. Baulos bestimmt.

Beide Varianten der Anbindungsstrecken verfügen über drei Stationen. Die Tunnellänge der Varianten unterscheiden sich um 220 m:

- Variante A, L = 3.230 m;
- Variante B, L = 3.450 m.

Bei der Ausführung der Tunnel werden vier Regelquerschnitte (siehe Punkt 2.4) herangezogen. Das untere Balkendiagramm zeigt für die Varianten A und B die Anwendungslängen der jeweiligen Tunnelquerschnitte.

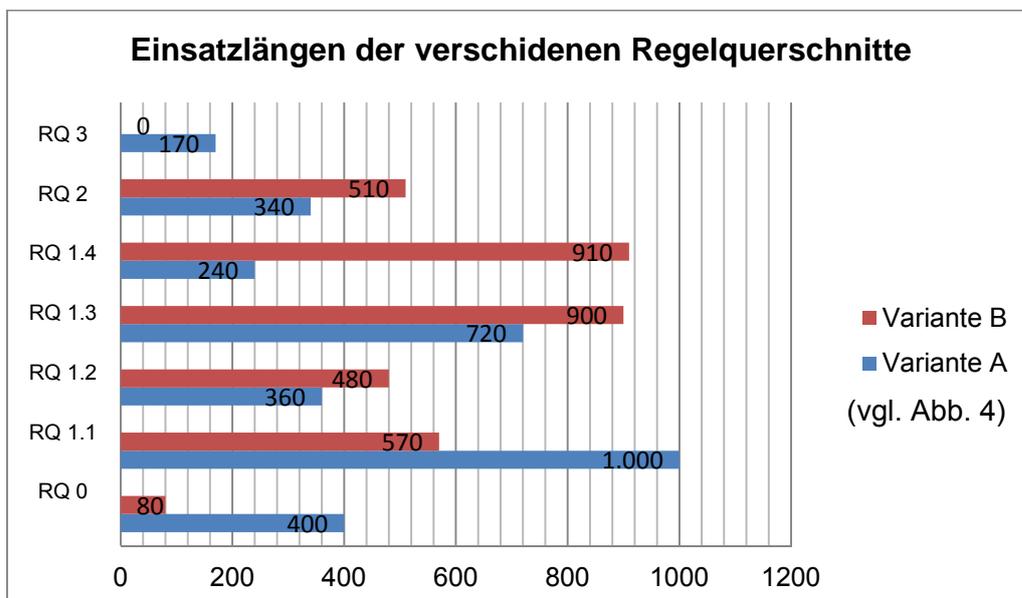


Abb. 65: Einsatzlängen der Regelquerschnitte entlang der Trassenvariante A und B

Bei der Variante A wurde das 3. Baulos näher betrachtet. Dieses Baulos ist im Regelquerschnitt 1 mit Ausführungsvarianten 1.3 und 1.4 auszuführen. Das gewählte Baulos der Variante B ist das 1. Baulos. Die Ausführung erfolgt mit dem Regelquerschnitt 1,

Ausführungsvarianten 1.1 und 1.2. Im Folgenden werden nur die gewählten Baulose der Variante A und B miteinander verglichen. Ihre Lage entlang der Tunnelstrecken ist in der Abb. 66 angegeben.

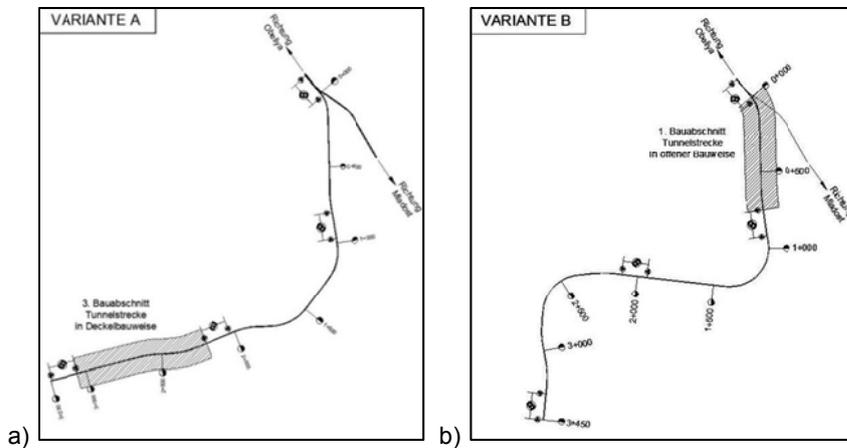


Abb. 66: Lage der betrachteten Baulosen – a) Variante A; b) Variante B

Das betrachtete 3. Baulos der Variante A wird in Deckelbauweise hergestellt und das 1. Baulos der Variante B in offener Bauweise. In der Abb. 67 werden schematisch die Arbeitsschritte für Herstellung eines Tunnelbauwerks in Deckelbauweise, sowie in offener Bauweise angegeben.

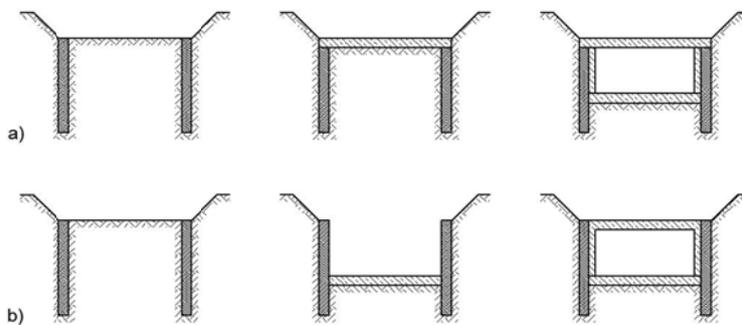


Abb. 67: Schematische Darstellung der Arbeitsschritte – a) Deckelbauweise; b) offene Bauweise

Der größte Vorteil der Deckelbauweise liegt in der nur kurzfristig notwendigen Sperre der öffentlichen Straßen. Im Gegensatz dazu verbleibt die Baugrube der offenen Bauweise bis zur Fertigstellung des Tunnels. Die Witterungsunabhängigkeit der Bauarbeiten in der Deckelbauweise und die Reduzierung der Beeinträchtigung der Anlieger sind weitere Vorteile der Deckelbauweise. Eine eingeschränkte Kranhilfe und die längeren unterirdischen Ver- und Entsorgungswege sind die wesentlichen Nachteile der Herstellung eines Bauwerks in Deckelbauweise.

Der unterirdische Aushub des Bodenmaterials in der Deckelbauweise bestimmt den Einsatz eines Baggers mit kleinen Abmessungen und besonderen Ausrüstungen. Im Gegensatz dazu erfolgt der Aushub in offener Bauweise durch herkömmliche Bagger. Der Unterschied

in den Abmessungen der eingesetzten Erdbaumaschinen beider Bauweisen wird in der Abb. 68 dargestellt.

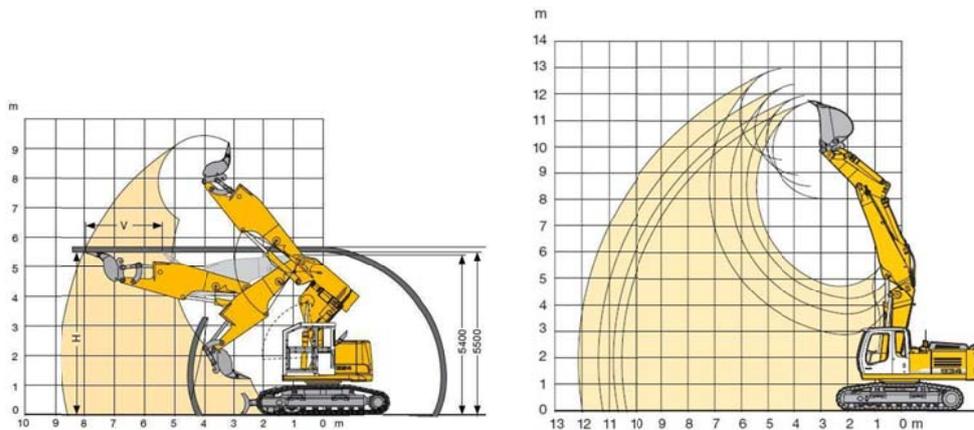


Abb. 68: Bagger – a) Tunnelbagger<sup>124</sup>; b) Hydraulikbagger auf Raupen<sup>125</sup>

Die Baugrubensicherung der Variante A erfolgt durch Schlitzwände und die der Variante B durch Pfahlwände. Beide Verbauwände werden aus Ortbeton hergestellt. Der Aushub des Bodenmaterials aus dem Erdschlitz erfolgt diskontinuierlich durch einen Hydraulik-Seilbagger mit Greifer und aus dem Bohrloch kontinuierlich durch ein Trägergerät mit durchgehender Schnecke. Eine Stützflüssigkeit (Bentonitsuspension) gewährleistet die Standsicherheit des Erdschlitzes beim Schlitzwandverfahren. Die Stützung der Bohrlochwand erfolgt durch die mit Boden gefüllte Bohrschnecke. Die Bentonitsuspension wird in einer zusätzlichen Anlage hergestellt und regeneriert. In der Abb. 69 werden die beiden Trägergeräte mit den entsprechenden Ausrüstungen dargestellt.



Abb. 69: Geräte – a) Hydraulik-Seilbagger; b) Bentonitanlage; c) Trägergerät mit durchgehender Schnecke<sup>126</sup>

<sup>124</sup> Firmenprospekt: R 924 Compact Tunnelgerät, Liebherr International Deutschland GmbH 2008.

<sup>125</sup> Firmenprospekt: Liebherr International Deutschland GmbH, 2008.

<sup>126</sup> Firmenprospekt: Fa. Bauer AG.

Ein wesentlicher Unterschied beider Verbauwände liegt in der Wasserdichtigkeit. Die Pfahlwand wird in der vorliegenden Variante als aufgelöste Pfahlwand ausgeführt. Das dabei entstandene Stützgewölbe zwischen den einzelnen Pfählen ist als Schwachstelle für einen eventuellen Wassereindrang anzusehen. Im Gegensatz hierzu ist die Schlitzwand als nahezu wasserdicht anzusehen.

Von der durchgeführten Kostenermittlung ist auszugehen, dass die Ausführung einer aufgelösten Pfahlwand wirtschaftlicher als die Ausführung einer Schlitzwand ist. Die Leistung und die Kosten der Herstellung der Schlitzlamellen und der Bohrpfähle werden in der Tabelle 45 angegeben.

	Schlitzlamelle	Bohrpfahl
Abmessungen	0,6 x 2,4 m	Ø 0,6 m
Tiefe	< 15 m	< 15 m
Leistung	10 m <sup>2</sup> /h	10 m/h
Kosten	227,00 €/m <sup>2</sup>	75,75 €/lfm

Tabelle 45: Wesentliche Daten für die Herstellung der Schlitzlamelle und der Bohrpfahl <sup>127</sup>

Der Kostenvorteil der Pfahlwand verringert sich, wenn z. B aufgrund eines höheren GW-Spiegels eine tangierende Bohrpfahlwand herzustellen ist.

Die Ausführung beider Varianten wird mittels Verbauwänden und Innenschalen angenommen. Weiters ist mit keinem Grundwasser im Bereich der Tunnelröhre zu rechnen. Diese Annahmen entsprechen den Gegebenheiten einer typischen U-Bahnbaustelle in Sofia.

In der Variante A wird zunächst die Sohlplatte fertiggestellt, die Wänden der Innenschale werden im Schutz des Deckels mittels Schalwagen hergestellt. Im Gegensatz dazu erfolgt die Herstellung der Sohlplatte in der Variante B einige Betonierabschnitte vor der Herstellung der Innenschale. Die Wände und die Decken werden hier mit einem Schalwagen (in einem Guss) betoniert. Im Anhang 3 „Arbeitsablauf im Wochentakt“ werden schematisch die Wochentakte und die Positionen der Schalwagen entlang der Baustrecke für beide Variante angegeben. Für die Herstellung der Innenschale werden zwei Schalwagen gleichzeitig eingesetzt. Der Einsatzdauer der Schalwagen wird fünf Mo für Variante A und neun Mo für Variante B angenommen. Anhang 1 gibt eine Übersicht über die Mengen der wichtigsten Baumaterialien beider Varianten. Die auf der Baustelle eingesetzten Großgeräte, das unproduktive Personal, die Anzahl der Arbeiter und die erforderlichen Container werden im Anhang „Daten der Baustelle“ angegeben.

<sup>127</sup> Angabe: Fa. Bauer Bulgaria EOOD.

Um das Vergleichen beider Variante zu ermöglichen wurde die Kostenermittlung mit gleichen Leistungs- und Kostenansätze aus der Literatur durchgeführt – gleiche Modellkalkulationen. Das Säulendiagramm (Abb. 70) zeigt auf Grundlage der durchgeführten Kostenermittlung die Gesamtpreise beider Varianten. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass die Preise pro Laufmeter Tunnel für die Baustelleneinrichtungen und die Bauausführung nahe zu gleich für die beiden Varianten sind. Es ist auch deutlich zu erkennen, dass der wesentliche Unterschied der Gesamtpreise beider Varianten in den Preisen für die Herstellung der Verbauwände liegt.

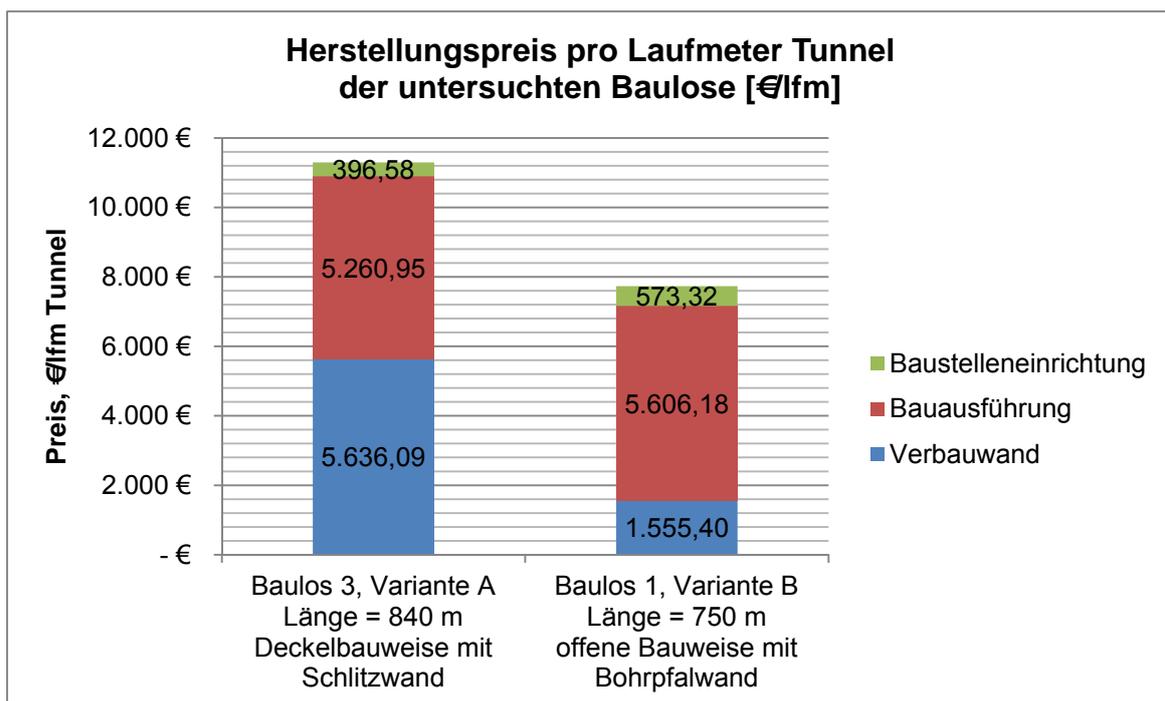


Abb. 70: Herstellungspreis pro Laufmeter Tunnel der untersuchten Baulose

Es wird darauf hingewiesen, dass im Falle einer Tunnelausführung in offener Bauweise eventuell folgende zusätzlichen indirekten Kosten zu berücksichtigen sind:

- Umbauten des Straßenverkehrs,
- Staus,
- Beeinträchtigung der Anlieger und
- Verzögerung der Bauarbeiten aufgrund von Witterungseinflüssen.

Aufgrund der vorliegenden geologischen Randbedingungen kann somit die Herstellung der Verbauwand mittels aufgelöster Bohrpfalwand empfohlen werden. Auch die Herstellung der Innenschale ist ein wesentlicher Kostenträger (10 ÷ 20%). Falls die statische Beanspruchung klein ist und kein starker Grundwasserzufluss zu erwarten ist, können die Verbauwände als Teil der Endkonstruktion (Tunnelkonstruktion) ausgeführt werden. In diesem Fall könnte auf die Herstellung einer Innenschale verzichtet werden.

## QUELLENVERZEICHNIS

- BALDAUF, Heinrich; TIMM, Uwe: *Betonkonstruktionen im Tiefbau*, Berlin: Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 1988
- BAUER, Hermann: *Baubetrieb*, Berlin: Springer Verlag, 1995
- BISANI, Karl: *Beton- und Stahlbetonarbeiten, Skriptum zur Vorlesung*, München, 2006
- BRANDL, Heinz: *Studien Blätter*, Wien, 2006
- BRATOEV, Stoyan: *Seichtliegende U-Bahnen (Konstruktionen und Ausführung)*, Sofia: Bauwesen und Architektur, 1987
- *U-Bahn Sofia*, Sofia: Nota Bene!, 2004
- *Verlängerung der U-Bahn Sofia*, Sofia: Nota Bene!, 2008
- BUJA, Heinrich Otto: *Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren*, Düsseldorf: Werner Verlag GmbH & Co, 2001
- DEENICHINA, Gergana, BOZHKOVA, Yordan und PEHLIVANOVA, Stefka: *Handbuch für die Baukosten, Auflage 2/2009* - Sofia: Daniel SG GmbH, 2009
- DIN 4126: *Nachweis der Standsicherheit von Schlitzwänden - Entwurf*, Deutsches Institut für Normung e.V., 2004
- DIN 4127: *Erd- und Grundbau; Schlitzwandtonne für stützende Flüssigkeiten; Anforderungen, Prüfverfahren, Lieferung, Güteüberwachung*, Deutsches Institut für Normung e.V., 1986
- DREES, Gerhard und REIFF, Karl-Otto: *Die Baustelleneinrichtung*, Düsseldorf: Werner-Verlag GmbH, 1971
- HINKEL, Walter J., TREIBER, K. und PAUSER, Alfred: *Die 1. und 2. Ausbauphase der Wiener U-Bahn*, Wien: Compress Verlag, 1985
- HINKEL, Walter J., TREIBER, K. und VALENTA, G.: *U-Bahnen gestern - heute - morgen von 1863 bis 2010*, Wien: N. J. Schmidt Verlag Wien, 2004
- HOCHMUTH, Werner, KRISCHKE, Alfred und BEIER, Werner: *U-Bahn für München*, München: Bruckmann, 1980
- HUDELMAIER, Klaus F: *Spezialtiefbau - Kompendium Band II*, München: Ernst & Sohn, 2009
- IVANCHEV, Iliya: *Unterirdische Verkehrsanlagen (Notizen für die Studenten)*, Sofia, 2005
- JODL, Hans: *Bauverfahren in Tiefbau - Skriptum*, Wien, 2008
- JODL, Hans Georg und RESCH, Daniel: *Baustelleneinrichtung - Übungsbeispiel*, Wien, 2008

- KÖNIG, Horst: *Maschinen im Baubetrieb*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2008
- LANGER, Elmar: *Kosten und Dimensionierung der Baustelleneinrichtung, Diplomarbeit*, Wien, 1998
- LEIMBÖCK, Egon, KLAUS, Ulf Rüdiger und HÖLKERMANN, Oliver: *Baukalkulation und Projektcontrolling unter Berücksichtigung der KLR Bau und der VOB*, Dortmund: Vieweg & Sohn Verlag, 2007
- MAYBAUM, Georg, MIETH, Petra und OLTMANN, Wolfgang: *Verfahrenstechnik und Baubetrieb im Grund- und Spezialtiefbau*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009
- MÖLLER, Gerd: *Geotechnik kompakt - Grundbau*, Berlin: Bauwerk Verlag GmbH, 2003
- NEUFERT, Ernst und Peter: *Architects´ data*, Oxford: Blackwell Science, 2006
- OGANESOV, Georgi und BRATOEV, Stoyan: *U-Bahn-Bau*, Sofia: Technika, 1990
- ÖkoKauf Wien, *Ökoeffiziente Entscheidungshilfen im Tiefbau*, Wien
- ÖNORM EN 1538, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Schlitzwände*, Österreichisches Normungsinstitut, 2000
- RESCH, Daniel: *Übungsbeispiel - Erdbau*, Wien, 2008
- SCHACH, Rainer und OTTO, Jens. 2008. *Baustelleneinrichtung, Grundlagen - Planung - Praxishinweise - Vorschriften und Regeln*. Wiesbaden : B. G. Teubner Verlag, 2008
- SCHMITT, Roland: *Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik*, Berlin: Ernst & Sohn, 2001
- SCHNELL, Wolfgang: *Verfahrenstechnik zur Sicherung von Baugruben*, Stuttgart: B. G. Teubner, 1995
- SCHWANDL, Robert: *Wien U-Bahn Album*, Berlin: Rucksaldruck Berlin, 2006
- SMOLTCZYK, Ulrich: *Grundbautaschenbuch*, Berlin: Ernst & Sohn, 1992
- TRIANAFYLLIDIS, Theodoros: *Planung und Bauausführung im Spezialtiefbau, Teil 1: Schlitzwand- und Dichtwandtechnik*, Bochum: Ernst & Sohn, 2004
- VENN, Alexander: <http://www.cireview.de/stadtentwicklung/strasenbahnen-stadtentwicklung-voll-im-trend/>, Juni 2008.
- VOTH, Berthold: *Tiefbaupraxis*, Berlin: Bauverlag GmbH, 1995
- WIESER, Isabella, JODL, Hans George und RESCH, Daniel: *Interdisziplinäre Seminararbeit, Nachkalkulation der Aufwandswerte für Schalungs- und Betonarbeiten S1 Tunnel Rannersdorf*, Wien, 2009

Firmenprospekt:

Bauer AG, 2009

Brueckner Grundbau GmbH, 2007

Container Handelsgesellschaft m.b.H., 2009

ECO Technology GmbH., Sofia, 2009

FRANKI Grundbau GmbH & Co, Seevetal, 2008.

Liebherr International Deutschland GmbH, 2008

Max Frank GmbH & Co., 2007

PERI GmbH, 2008

Homepage:

[www.bauer.de](http://www.bauer.de), 2009

[www.bg.guide-bulgaria.com](http://www.bg.guide-bulgaria.com), 2007

[www.cez.bg](http://www.cez.bg), 2009

[www.de.wikipedia.org](http://www.de.wikipedia.org), 2009

[www.metropolitn.bg](http://www.metropolitn.bg), 2009

[www.sofiyskavoda.bg](http://www.sofiyskavoda.bg), 2009

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Netzgestaltung .....	11
Abb. 2: Netzgestaltung der U-Bahn Sofia .....	11
Abb. 3: Netzgestaltung der U-Bahn Sofia mit der geplanten Aststrecke .....	13
Abb. 4: Schema der vier Anbindungsmöglichkeiten .....	14
Abb. 5: Lageplan - Variante A.....	15
Abb. 6: Baugrube - a) offene Bauweise; b) Deckelbauweise .....	18
Abb. 7: Schema der Herstellung eines Tunnels in der Deckelbauweise .....	19
Abb. 8: Typen der Tunnelkonstruktion – a) einschalig; b) zweischalig .....	20
Abb. 9: Anschlüsse – a) Verbauwand und Deckel durch Muffen; b) Verbauwand und Zwischendecken durch Bügel und Muffen .....	21
Abb. 10: Lichtraumprofil - a)Tunnelstrecke; b) Station .....	22
Abb. 11: Regelquerschnitt 0 – a) Einsatzbereich; b) Tunnelkonstruktion .....	23
Abb. 12: Regelquerschnitt 0 – a) Baugrube bis 3 m Tiefe; b) Baugrube über 3 m Tiefe .....	23
Abb. 13: Regelquerschnitt 1 – a) Einsatzbereich; b) Tunnelkonstruktion .....	24
Abb. 14: Regelquerschnitt 1 – a) Ausführungsvariante 1.1; b) Ausführungsvariante 1.2; c) Ausführungsvariante 1.3; d) Ausführungsvariante 1.4;.....	24
Abb. 15: Regelquerschnitt 2 – a) Einsatzbereich; b) Tunnelkonstruktion .....	26
Abb. 16: Regelquerschnitt 3 – Baugrube.....	26
Abb. 17: Regelquerschnitt 3 – a) Einsatzbereich; b) Tunnelkonstruktion .....	27
Abb. 18: Regelquerschnitt 3 - Baugrube.....	27
Abb. 19: Geometrie eines Schlitzwandelementes .....	29
Abb. 20: Anwendungsbeispiele für Schlitzwände” .....	31
Abb. 21: Arbeitsablauf beim Herstellen einer gegreiferte Schlitzwand .....	34
Abb. 22: Arbeitsablauf beim Herstellen einer mit Fräse ausgehobenen Schlitzwand .....	34
Abb. 23: Herstellen einer Fertigteilschlitzwand.....	35
Abb. 24: Reihenfolge der Lamellenherstellung.....	37
Abb. 25: Leitwandformen bei Ortbetonausführung - a) bei standfesten Böden und normaler Beanspruchung durch Aushubwerkzeuge; b) bei kohäsionslosen oder	

aufgeschütteten Böden und normaler Beanspruchung durch Aushubwerkzeuge; c) bei standfesten Böden und hoher Beanspruchung durch Aushubwerkzeuge; d) bei standfesten Böden und für höheren Suspensionsspiegel.....	38
Abb. 26: Schlitzwandgreifer – a) Mechanischer; b) Hydraulischer Schlitzwandgreifer .....	40
Abb. 27: Systeme der Fräse und erforderliche Einrichtungen .....	41
Abb. 28: Filterkuchen.....	44
Abb. 29: Fließgrenze und Filtratwasserabgabe in Abhängigkeit vom Tongehalt (Beispiel)...	45
Abb. 30: Bezeichnung eines Schlitzwandtons (Beispiel).....	45
Abb. 31: Prinzip eines einfachen Mischers.....	46
Abb. 32: Bentonitmischanlage für Siloware .....	46
Abb. 33: Supratoranlage .....	46
Abb. 34: Schema einer Regenerierungsanlage und eines Zyklons .....	47
Abb. 35: Schema einer Baustelleinrichtung für Suspensionverarbeitung.....	47
Abb. 36: Fugensysteme zwischen den Lamellen - a) Abstellrohr; b) Betonfertigteile; c) Fugenbandelement.....	48
Abb. 37: Der Arbeitsablauf der Fugenausbildung mit Abstellrohre.....	49
Abb. 38: Stahlbetonfertigteile als Abschalelemente .....	49
Abb. 39: Die Fugenausbildung mit Fugenbandelement.....	50
Abb. 40: Der Arbeitsablauf der Fugenausbildung beim Aushub mit Hydrofräsen .....	51
Abb. 41: Kontraktorverfahren und Schema eines Kontraktorrohres .....	53
Abb. 42: Querschnitt in einer Blockfuge .....	55
Abb. 43: Lage des gewählten Baulos entlang der Trasse .....	56
Abb. 44: Hydraulikbagger auf Raupen.....	57
Abb. 45: Leitwandherstellung .....	58
Abb. 46: Mischanlage (links) und Hydraulik-Seilbagger mit Greifer .....	60
Abb. 47: Fugenausbildung durch Abschalrohr.....	60
Abb. 48: Bewehrungseinbau im Querschnitt – a) Schema; b) Photo .....	61
Abb. 49: Der Anschluss der Deckelplatte .....	61
Abb. 50: Der Anschluss der Deckelplatte mit Stremaform-Aussparung .....	62

Abb. 51: Tunnelbagger .....	64
Abb. 52: Schema des unterirdischen Aushubes.....	64
Abb. 53: Detail der Feuchtigkeitsschutz .....	66
Abb. 54: Schema der Arbeitsablauf bei der Herstellung der Sohlplatte.....	66
Abb. 55: Position der Schalwagen entlang der Trasse.....	66
Abb. 56: Arbeitsablauf – Wochentakt .....	67
Abb. 57: Schema der Herstellung der Innenschale .....	67
Abb. 58: Dimensionierung von Wendemöglichkeiten .....	69
Abb. 59: Geschlossener Bauzaun .....	75
Abb. 60: Grundriss und Ansicht des gewählten Bauloses (überhöht) .....	77
Abb. 61: Schema für Ermittlung der Erdmassen .....	78
Abb. 62: Ermittlung der Kosten für das Herstellen der Unterbetonschicht nach Handbuch für Baukosten .....	85
Abb. 63: Position der Schalwagen entlang der Trasse.....	93
Abb. 64: Arbeitsablauf – Wochentakt .....	93
Abb. 65: Einsatzlängen der Regelquerschnitte entlang der Trasse.....	105
Abb. 66: Lage der betrachteten Baulosen – a) Variante A; b) Variante B .....	106
Abb. 67: Schematische Darstellung der Arbeitsschritte – a) Deckelbauweise; b) offene Bauweise .....	106
Abb. 68: Bagger – a) Tunnelbagger; b) Hydraulikbagger auf Raupen .....	107
Abb. 69: Geräte – a) Hydraulik-Seilbagger; b) Bentonitanlage; c) Trägergerät mit durchgehender Schnecke .....	107
Abb. 70: Gesamtpreise beider Varianten.....	109

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Allgemeine Daten über das U-Bahnnetz in Sofia.....	12
Tabelle 2: Stationen der Anbindungsstrecke A.....	16
Tabelle 3: Bodenschichten .....	17
Tabelle 4: Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren bei der Schlitzwandherstellung	36
Tabelle 5: Einsatzbereich der Schlitzwandgeräte.....	42
Tabelle 6: Vor- und Nachteile der Schlitzwandgeräte.....	42
Tabelle 7: Übersicht der Eigenschaften von den Stützflüssigkeiten' .....	44
Tabelle 8: Vor- und Nachteile der verschiedenen Abstellkonstruktionen .....	50
Tabelle 9: Wichtigste Anforderungen an der Bewehrung nach ÖNORM EN 1538.....	52
Tabelle 10: Wichtigste Anforderungen an dem Betonieren nach ÖNORM EN 1538.....	53
Tabelle 11: Übersicht über die drei Baulose.....	54
Tabelle 12: Übersicht über den verwendeten Beton in den Leitwänden .....	58
Tabelle 13: Übersicht über die verwendete Bewehrung in den Leitwänden.....	58
Tabelle 14: Übersicht über die verwendete Bewehrung in den Verbauwänden .....	61
Tabelle 15: Übersicht über den verwendeten Beton in den Verbauwänden.....	62
Tabelle 16: Übersicht über die verwendete Bewehrung im Deckel .....	63
Tabelle 17: Übersicht über den verwendeten Beton im Deckel.....	63
Tabelle 18: Übersicht über die verwendete Bewehrung in der Innenschale.....	67
Tabelle 19: Übersicht über den verwendeten Beton in der Innenschale .....	67
Tabelle 20: Gerätedisposition .....	68
Tabelle 21: Charakteristische Daten gängiger Container .....	71
Tabelle 22: Abmessungen und Massen gängiger Container.....	72
Tabelle 23: Stellflächen verschiedener Materialien .....	73
Tabelle 24: Ermittlung des Strombedarfes .....	74
Tabelle 25: Ermittlung der Anschlusswert .....	74
Tabelle 26: Kosten Hydraulikbagger.....	79
Tabelle 27: Gerätewahl Verfuhr.....	79

---

Tabelle 28: Kosten LKW .....	80
Tabelle 29: Kosten Hydraulikbagger.....	82
Tabelle 30: Gerätewahl Verfuhr.....	82
Tabelle 31: Kosten LKW .....	83
Tabelle 32: Gerätewahl Verfuhr.....	87
Tabelle 33: Kosten LKW .....	88
Tabelle 34: Kosten Tandemvibrationswalzen .....	89
Tabelle 35: Kosten Tunnelbagger.....	90
Tabelle 36: Gerätewahl Verfuhr.....	91
Tabelle 37: Kosten LKW .....	92
Tabelle 38: Ermittlung des Gesamtpreises für Einrichten der Baustelle.....	98
Tabelle 39: Ermittlung des Gesamtpreises für Räumen der Baustelle .....	99
Tabelle 40: Ermittlung des Gesamtpreises .....	101
Tabelle 41: Ermittlung der Kosten – AV und Rep. für die gewählten Container .....	102
Tabelle 42: Ermittlung der Kosten für die Vorhaltegeräte.....	103
Tabelle 43: Ermittlung der Gerätepreis.....	104
Tabelle 44: Baustellengesamtpreis.....	104
Tabelle 45: Wesentliche Daten für die Herstellung der Schlitzlamelle und der Bohrpfahl...	108

## ANHÄNGE

## ANHANG 1: MENGEN DER BAUMATERIALIEN

	<u>Variante A</u>	<u>Variante B</u>
<b>Gesamt</b>		
Länge	3.230 m	3.450 m
Erdarbeiten:	~ 519.300 m <sup>3</sup>	~ 542.000 m <sup>3</sup>
Beton:	~ 102.900 m <sup>3</sup>	~ 82.800 m <sup>3</sup>
Bewehrung:	~ 13.400 t	~9.300 t
Stahlrohre	283 x 325/14 125 x 325/45	408 x 325/14 100 x 325/60
TITAN IBO Anker	284 40/20	214 x 40/20
Schalwagen <sup>128</sup> :	3 (9) Stk.	3 (9) Stk.
<b>Gew. Baulos</b>	3. Baulos	1. Baulos
Länge	840 m	750 m
Erdarbeiten:	~ 125.250 m <sup>3</sup>	~ 125.000 m <sup>3</sup>
Beton:	~ 27.200 m <sup>3</sup>	~ 16.000 m <sup>3</sup>
Bewehrung:	~ 3.700 t	~2.000 t
Verbauwände		
Betonaufwand:	~1,44 m <sup>3</sup> /lfm	~0,28 m <sup>3</sup> /lfm
Bewehrungsaufwand:	~0,10 t/lfm	~0,10 t/lfm
Innenschale		
Betonaufwand:	~ 15,5 m <sup>3</sup> /lfm	~ 15,5 m <sup>3</sup> /lfm
Bewehrungsaufwand:	~ 1,99 t/lfm	~1,64 t/lfm
Stahlrohre	50 x 325/45	156 x 325/14 100 x 325/60
Schalwagen:	2 Stk.	2 Stk.

<sup>128</sup> Beim nacheinander Herstellen der Baulose werden nur 3 Stk. Schalwagen (2 Stk. für die Tunnelstrecke und 1 Stk. für die Station) eingesetzt. Insgesamt kommen so 9 Stk. Schalwagen, wenn die 3 Baulosen gleichzeitig ausgeführt werden, zum Einsatz.

## ANHANG 2: DATEN DER BAUSTELLE

	<u>Variante A</u>	<u>Variante B</u>
<b>Geräte</b>		
Hydraulikbagger auf Raupen:	3 Stk.	4Stk.
Hydro-Seilbagger mit Greifer:	2 Stk.	-
Drehbohranlage mit langer Schnecke:	-	2 Stk.
Suspensionanlage:	1 Stk.	-
Tunnelbagger:	1 Stk.	-
Betonspritzgerät:	1 Stk.	1 Stk.
Kleinbohrgerät:	-	1 Stk.
LKW:	16 Stk.	8 Stk.
Tandemvibrationswalzen:	1 Stk.	1 Stk.
Planierraupe	1 Stk.	1 Stk.
Betonfahrmischer:	8 Stk.	10 Stk.
Autobetonpumpe:	2 Stk.	2 Stk.
<b>Unproduktives Personal</b>		
Bauleiter:	1	1
Polier:	2	2
Magazineur:	1	1
Laborant:	1	1
Kranfahrer:	2	2
<b>Produktives Personal</b>		
Bewehrungsarbeiter:	10	10
Betonierungsarbeiter:	6	12
Abdichtungsarbeiter:	4	4
Helfer:	3	6
Maschinist:	4	4
Fahrer:	16	8
<b>Container</b>		
Büro-/Aufenthaltscontainer 10':	2	4
Büro-/Aufenthaltscontainer 20':	8	6
Sanitärcontainer 8':	3	3
Sanitärcontainer 16':	1	1
Lagercontainer 20':	1	1

ANHANG 3: ARBEITSABLAUF IM WOCHENTAKT UND DIE POSITION DER SCHALWAGEN ENTLANG DER TRASSE

Arbeitsablauf

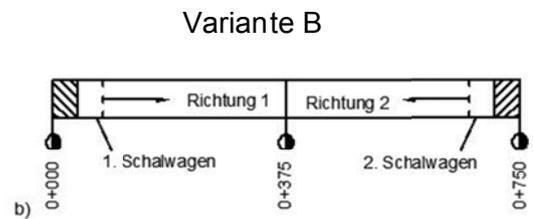
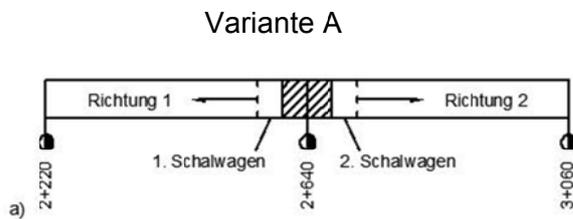
Variante A

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Richtung 1 264 Bl. → 222 Bl.	Bewehren	Aus-/Einschalen	Betonieren	Bewehren	Aus-/Einschalen	Betonieren	Ruhetag
Richtung 2 264 Bl. → 306 Bl.	Betonieren	Betonieren	Bewehren	Aus-/Einschalen	Betonieren	Bewehren	Aus-/Einschalen

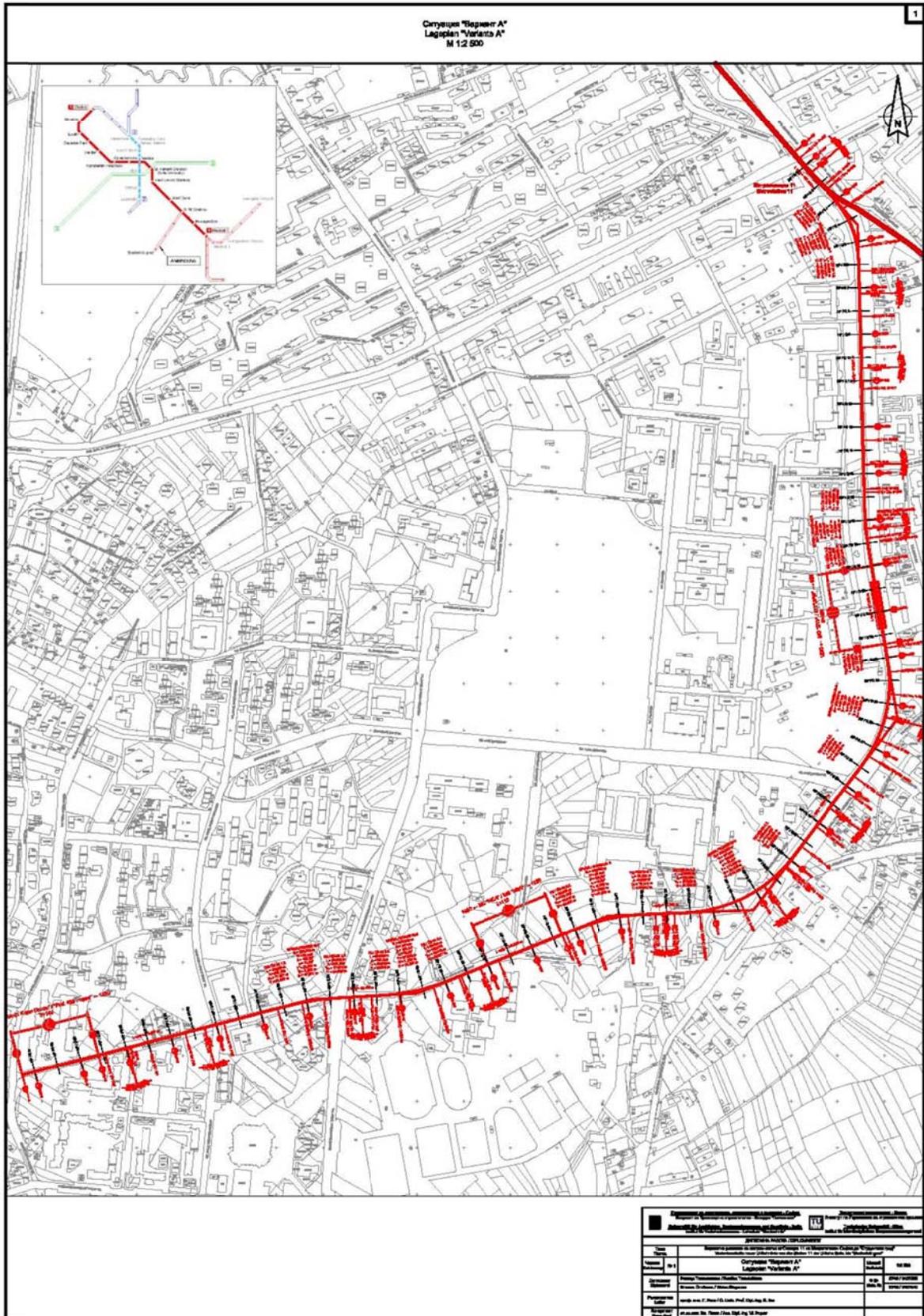
Variante B

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Richtung 1 1 Bl. → 37 Bl.	Bewehren Sohle	Schalen Betonieren	Bewehren Wände	Aus-/Einschalen	Bewehren Decke	Betonieren Wände & Decke	Ruhetag
Richtung 2 75 Bl. → 37 Bl.	Betonieren	Bewehren Sohle	Schalen Betonieren	Bewehren Wände	Aus-/Einschalen	Bewehren Decke	Betonieren Wände & Decke

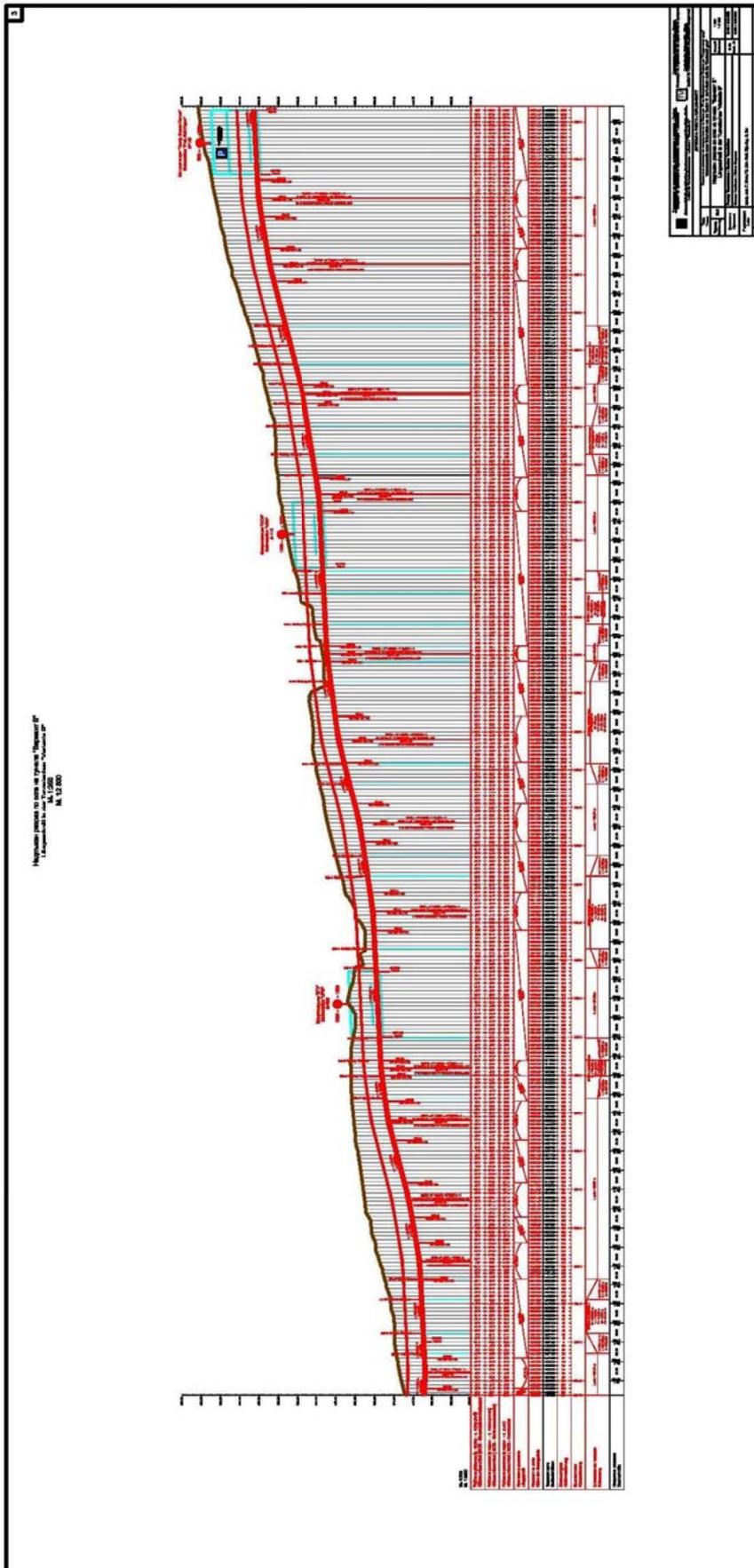
Position der Schalwagen



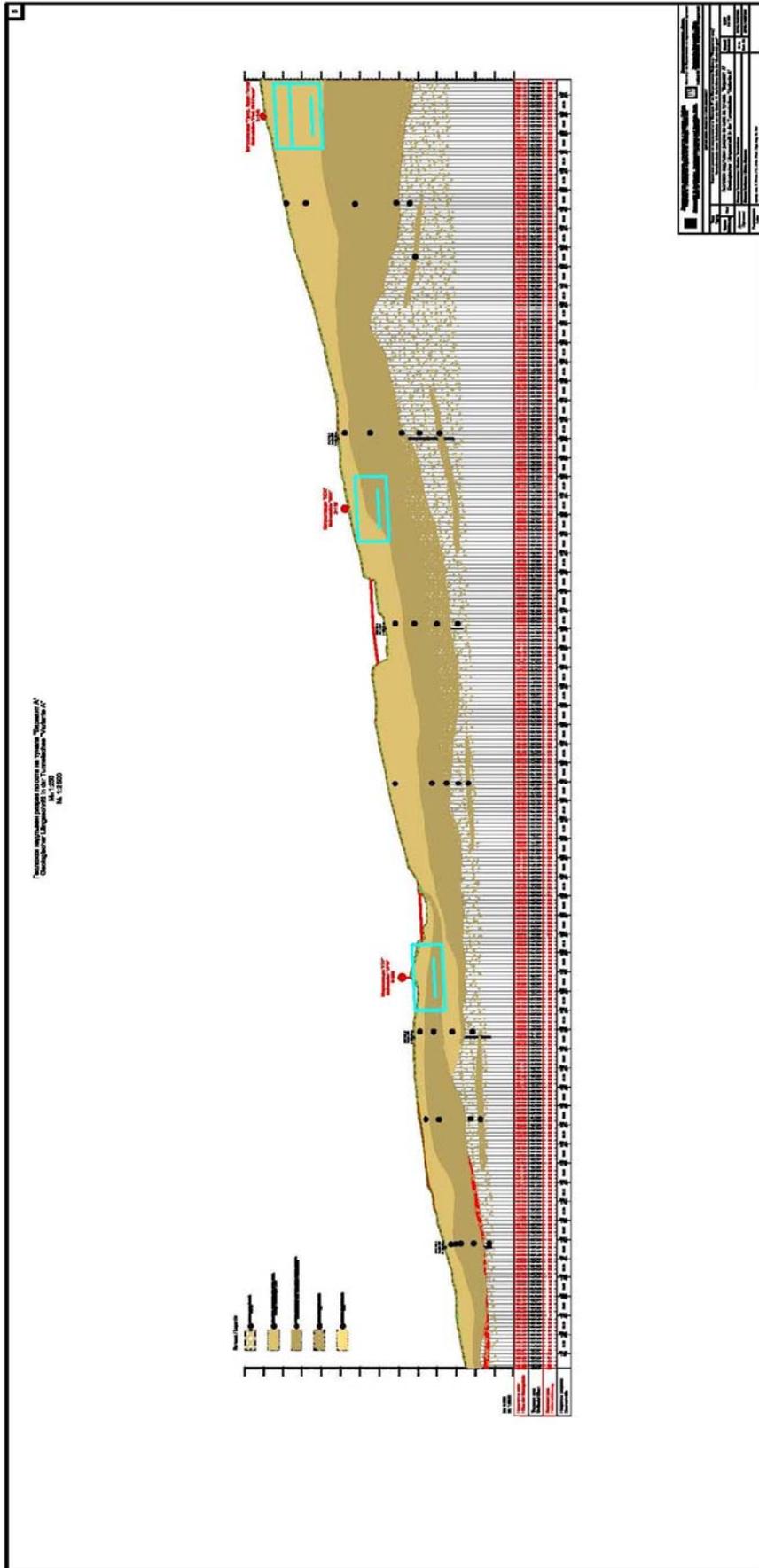
ANHANG 4: LAGEPLAN



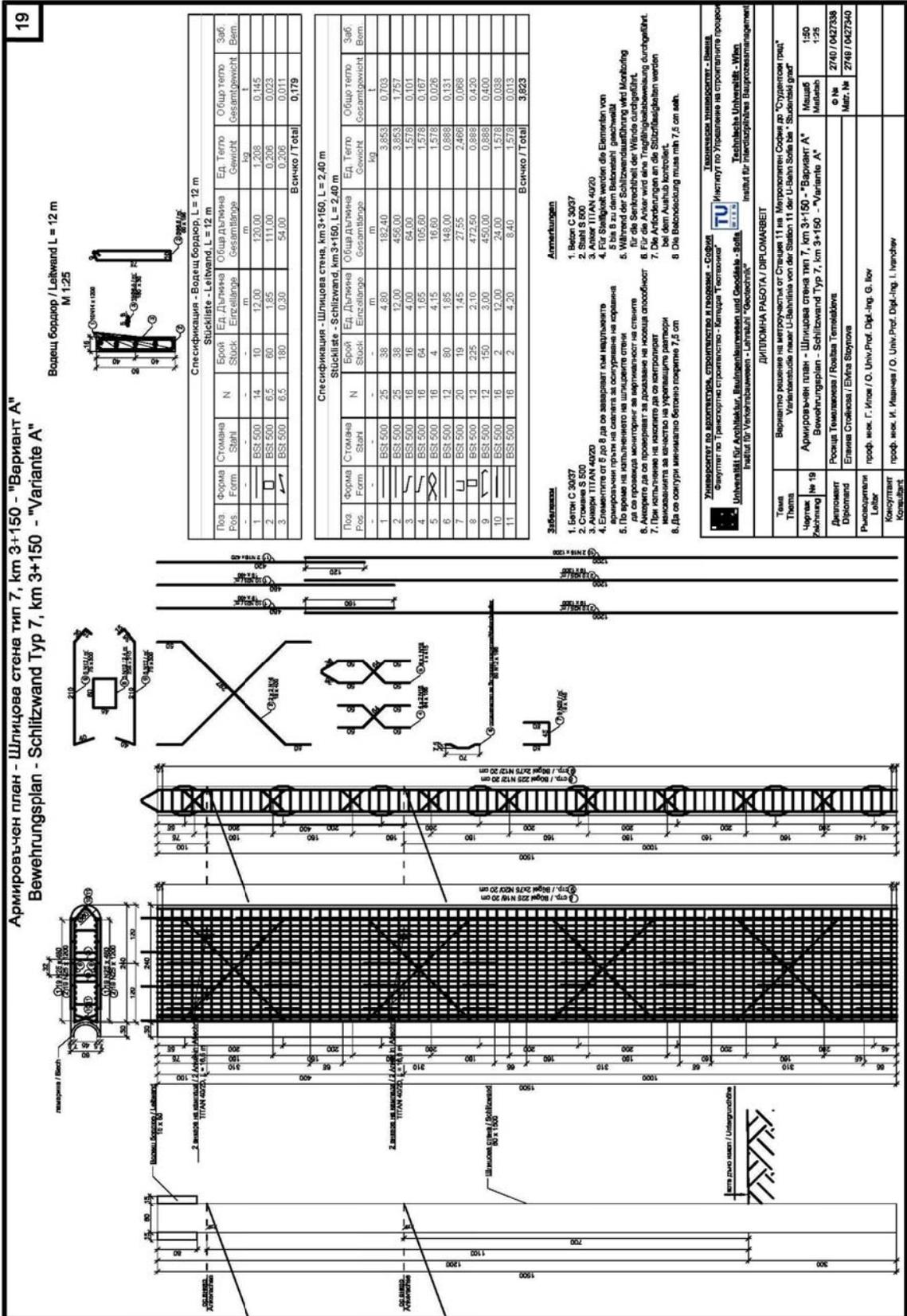
ANHANG 5: LÄNGSSCHNITT IN DER TUNNELACHSE



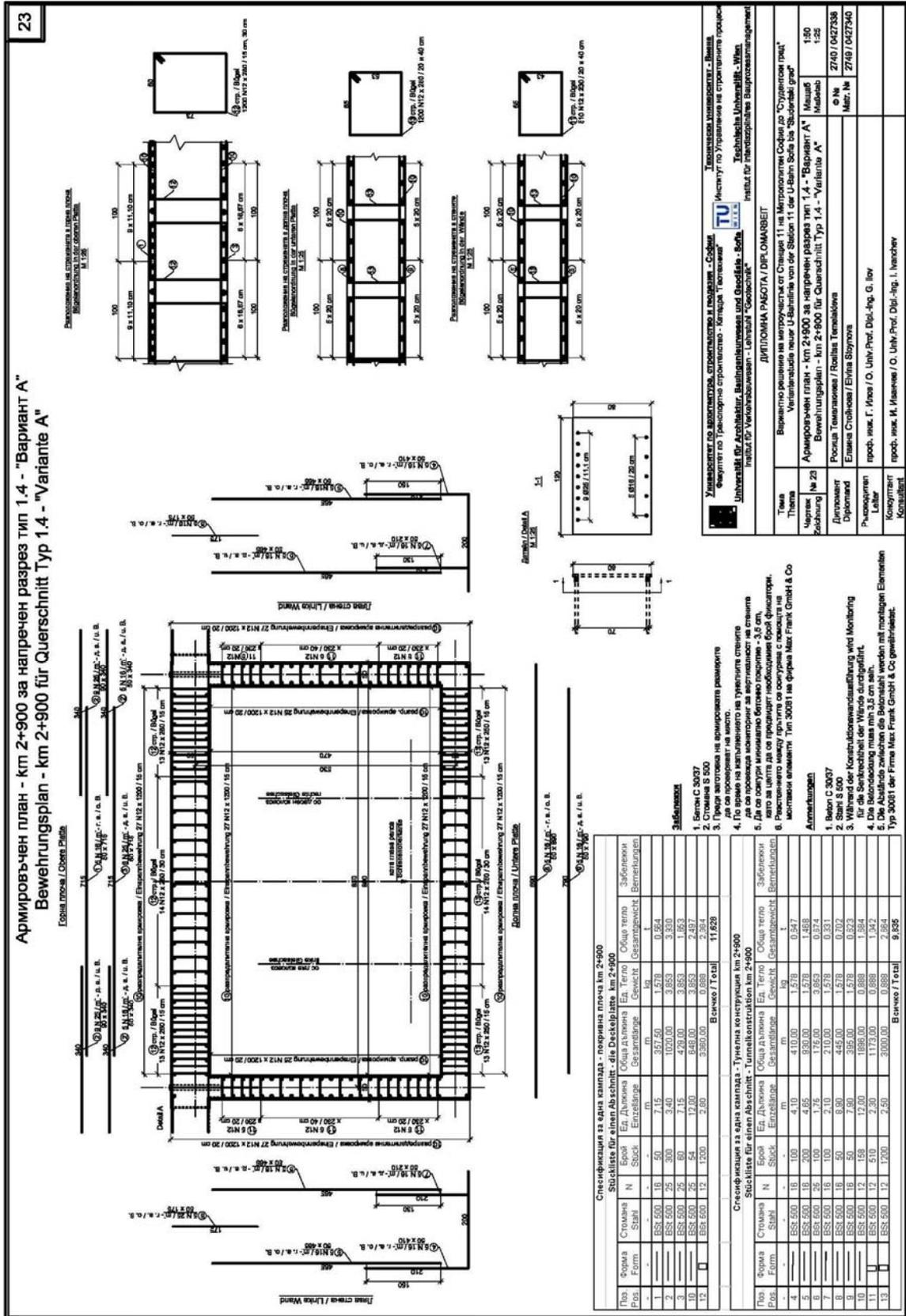
ANHANG 6: GEOLOGISCHER LÄNGSSCHNITT IN DER TUNNELACHSE



ANHANG 7: BEWEHRUNGSPLAN – SCHLITZWAND TYP 7, KM 3+150



ANHANG 8: BEWEHRUNGSPLAN – INNENSCHALE RQ 1.4, KM 2+900



23

**Университет по архитектура, строителство и геодезия - София**  
**Инженерски факултет по гражданско строителство - Катедра "Тунелиране"**  
**Институт по Управление на Строителния процес**  
**Техническа Лицензирана Фирма**  
**Институт за Инженеринг и Проектиране**

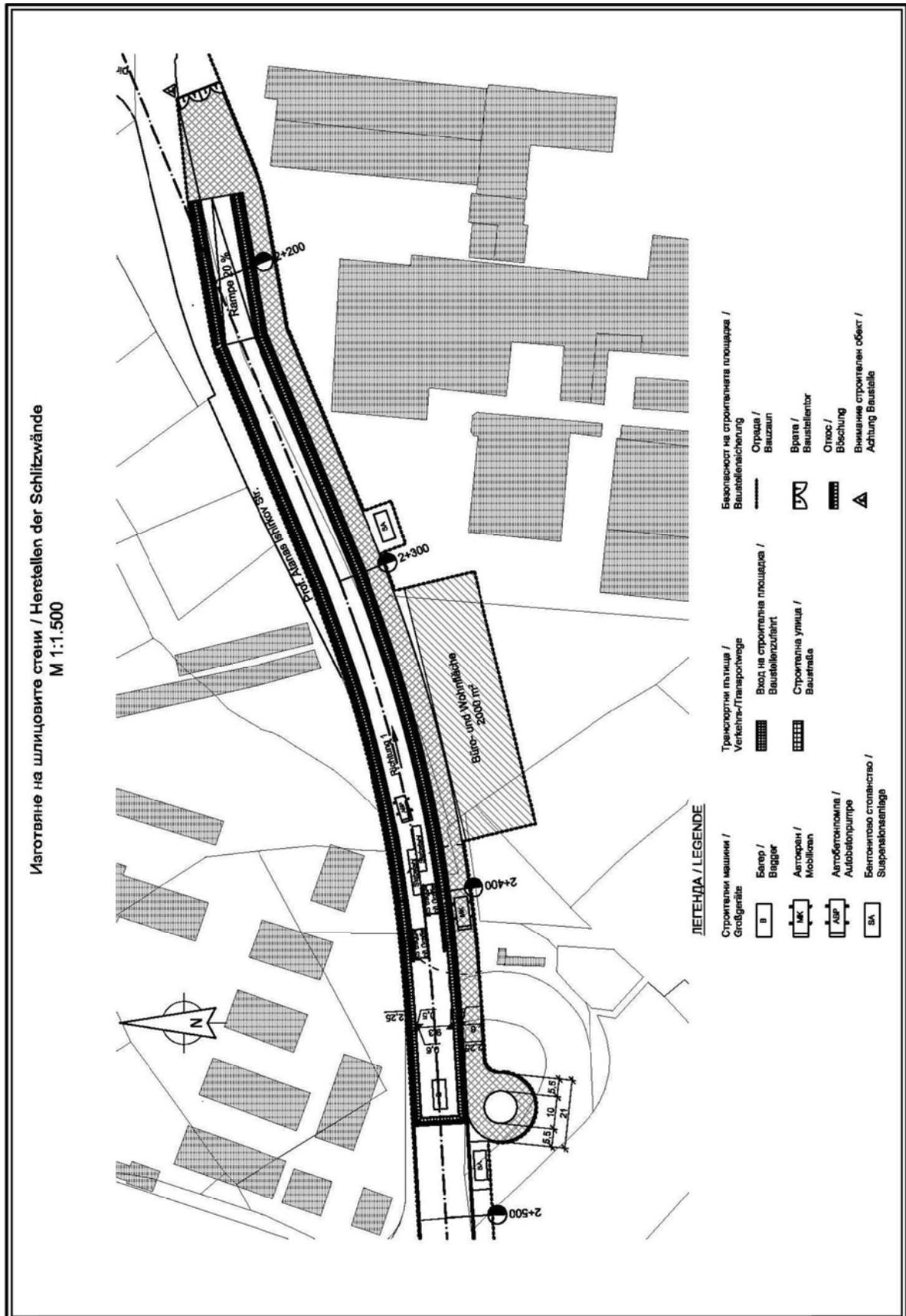
**ДИПЛОМНА РАБОТА / DIPLOMARBHEIT**  
**Виртуелно решение на метростроя от Станция 11 на Метрополитанна Софийска "Судетският път"**  
**Verfahrenslösung neuer U-Bahnlinie von der Station 11 der U-Bahn Sofia bis "Sudetstei Weg"**

Тема: Виртуелно решение на метростроя от Станция 11 на Метрополитанна Софийска "Судетският път"  
 Автор: № 25 Армировъчен план - km 2+900 за напречен разрез тип 1.4 - "Вариант А"  
 Дисциплина: Проектиране / Realisation Tunnelbau  
 Проф. инж. Г. Илиев / O. Ullrich/Prof. Dipl.-Ing. G. Iliy  
 Консултант: проф. инж. М. Илиев / O. Ullrich/Prof. Dipl.-Ing. I. Iliev

- Забелужки**
1. Бетон С 30/37
  2. Стъклена S 500
  3. Преди монтажа на армировката reinforcement да се променят на място.
  4. Да се проведат монтаж на вертикална стена.
  5. Да се осигури минимумно бетоново покритие - 3,0 cm, като за целта да се предвидят необходимите брой фиксатори.
  6. Разстояние между пръчките се осигурява с помощта на армиращи елементи. Тип 300/1 на фирмата Frank GmbH & Co
- Армировки**
1. Бетон С 30/37
  2. Стъклена S 500
  3. Върхове на конструктивната арматура wird montiert für die Senkrechte der Wände durchgeführt.
  4. Die Balkenlänge muss min 3,5 m sein.
  5. Die Abstände zwischen den Balken müssen mit montierten Elementen Typ 300/1 der Firma Frank GmbH & Co gewährleistet.

Спецификация за една единица - површена плоча km 2+900				Спецификация за една единица - Тунелна конструкция km 2+900			
Поз. / Pos.	Формула / Form	Н / Stück	Объем / Gesamtvolumen	Единица / Ein. / Stück	Объем / Gesamtvolumen	Терми / Gewicht	Забелужки / Bemerkungen
1	B52-500	18	50	7.15	327.50	1.578	0.954
2	B52-500	25	300	3.40	1020.00	3.853	3.030
3	B52-500	25	60	7.15	429.00	3.853	1.853
10	B52-500	25	54	17.00	648.00	3.853	2.497
12	B52-500	12	1200	2.80	3360.00	0.888	2.881
			<b>Всичко / Total</b>		<b>11268</b>		
Спецификация за една единица - Тунелна конструкция km 2+900				Спецификация за една единица - Тунелна конструкция km 2+900			
Поз. / Pos.	Формула / Form	Н / Stück	Объем / Gesamtvolumen	Единица / Ein. / Stück	Объем / Gesamtvolumen	Терми / Gewicht	Забелужки / Bemerkungen
4	B52-500	18	100	4.10	410.00	1.578	0.947
5	B52-500	18	200	4.65	930.00	1.578	1.488
6	B52-500	26	100	1.76	176.00	3.853	0.674
7	B52-500	18	80	8.80	445.00	1.578	0.930
8	B52-500	18	50	7.80	395.00	1.578	0.923
10	B52-500	12	158	12.00	1896.00	0.888	1.894
11	B52-500	12	610	2.30	1173.00	0.888	1.242
13	B52-500	12	1200	2.50	3000.00	0.888	2.884
			<b>Всичко / Total</b>		<b>9.835</b>		

АНХАНГ 9: БАУСТЕЛЛЕНЕИНРИХТУНГСПЛАН – HERSTELLEN DER SCHLITZWÄNDE



ANHANG 10: BAUSTELLENEINRICHTUNGSPLAN – HERSTELLEN DER INNENSHALE

