

MASTERARBEIT



TUNNEL SREJACH - BAUBETRIEB BEI DECKELBAUWEISE MIT BEGRENZTER ARBEITSFLÄCHE

BSc. Christian Liebming

Vorgelegt am
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Projektentwicklung und Projektmanagement

Betreuer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck

Mitbetreuender Assistent
Dipl.-Ing. Michael Werkl

Graz, am 01. Oktober 2010

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

STATUARY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,

date

.....

(signature)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Masterarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck und Herrn Dipl.-Ing. Michael Werkl. Ich bedanke mich auch bei Herrn Dipl.-Ing. Tobias Schachinger und Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Pistauer von der ÖBB Infrastruktur AG für die Unterstützung und die Beauftragung dieser Arbeit.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützt hat.

Kurzfassung

Die von der ÖBB Infrastruktur AG in Auftrag gegebene Masterarbeit setzt sich mit baubetrieblichen Untersuchungen für den Tunnel Srejach auseinander, wobei ein möglicher Bauablauf erarbeitet wird. Im Zuge der Neuerrichtung der Koralmbahn Graz - Klagenfurt wird dieses Tunnelprojekt in Stillwassersedimenten gegründet.

Das Bauobjekt besteht aus 2 Wannensbauwerken an den Portalen und einem Tunnel in zweischaliger Bauweise. Die Portale werden von überschnittenen Bohrpfahlwänden und der 620 Meter lange Tunnel von aufgelösten Bohrpfahlwänden mit Zwickelabdichtungen im Düsenstrahlverfahren umschlossen. In den breiig weichen (schluffig-tonigen) Stillwassersedimenten wird eine Sohle im Düsenstrahlverfahren errichtet, welche die Bohrpfahlwand am Fuß aussteift. Die auszuführende Innenschale des Tunnels wird als Weiße Wanne hergestellt.

Im Jahr 2008 wurde wegen den speziellen Bodenverhältnissen ein Versuchsfeld in Untersammelsdorf zur Abklärung geotechnischer und wirtschaftlicher Fragestellungen für die Tunnelprojekte Srejach und Untersammelsdorf errichtet.

Erkenntnisse aus dem Versuchsfeld wurden in die Ablaufplanung eingearbeitet. Basis dieser Untersuchung bildet die ausgearbeitete Massenermittlung. Die Abhängigkeiten der Gewerke und die speziellen Randbedingungen werden in einem Zeit-Wege-Diagramm visualisiert und die benötigten Kapazitäten in einem Balkendiagramm dargestellt.

Abschließend werden mittels einer Sensitivitätsanalyse Auswirkungen auf die Bauzeit durch Variation der Leistungsansätze untersucht.

Abstract

The master thesis commissioned by the Austrian Railway Corporation company ÖBB Infrastruktur AG explores and analyses the construction methods at the Srejach tunnel project. This tunnel is part of the Koralm line, now under construction, connecting the two provincial capitals Graz and Klagenfurt. The building is founded in a special ground conditions regionally specific lacustrine clay (Stillwassersedimente).

The Srejach building project consists of two waterproof troughs at the portals, and a tunnel in clam-shell construction. The portals are encased by overlapped bored pile walls, while the 620m-long tunnel is inclosed by resolved bored pile walls. The remaining clearances will be sealed using jet-grouting columns. Because of the silty and clayey still water sediments, a bed is being constructed by applying also the jet grouting technique, which is subsequently integrated in the bored pile wall. The inner shell of the tunnel will be made from waterproof concrete.

In 2008, a trial field was established in Untersammelsdorf with a view to clarifying geotechnical and economic questions in the context of the Srejach and Untersammelsdorf tunnel projects.

On the basis of a quantity survey especially elaborated for the project, a construction schedule is established with the dependencies among the individual construction methods shown in terms of a time-distance diagram, and the required capacities in terms of a bar chart. Any findings obtained from the trial field have subsequently been integrated in the construction schedule. Additionally, the very specific boundary conditions are considered.

Finally a sensitivity analysis is presented. The analysis deals with time deviations occurring after changes of anticipated time-critical performance parameters. Time critical impact is shown considering the results of coherencies elaborated within the time-distance diagramm.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Ziel der Arbeit.....	1
1.3	Vorgehensweise.....	2
2	Grundlagen der Masterarbeit	3
2.1	Tunnel Srejach	3
2.2	Projektspezifische Randbedingungen	5
2.2.1	Festlegung der Arbeitsebenen	7
3	Gliederung des Bauablaufs in Bauverfahren	9
3.1	Baustelleneinrichtung und Baufeldfreimachung	9
3.2	Erdbauarbeiten über dem Deckel.....	11
3.2.1	Örtliche Gegebenheiten und Grundlagen für die Massenermittlung.....	12
3.2.2	Herstellen des Arbeitsplanums 1.....	13
3.2.3	Baustraße.....	17
3.2.4	Herstellen des Arbeitsplanums 2.....	18
3.2.5	Herstellen des Arbeitsplanums 3.....	19
3.2.6	Einflüsse auf die Leistung der Erdbauarbeiten.....	21
3.3	Bohrpfahlarbeiten	22
3.3.1	Örtliche Gegebenheiten und Grundlagen für die Massenermittlung.....	22
3.3.2	Greiferbohren vs. Kellybohren.....	24
3.3.3	Baustelleneinrichtung.....	26
3.3.4	Geräte- und Personalbedarf.....	26
3.3.5	Leistungsansätze für das Zeit-Wege-Diagramm	28
3.3.6	Einflüsse auf die Leistung der Bohrpfahlarbeiten	29
3.3.7	Einflüsse auf den Bauablauf.....	30
3.4	Düsenstrahlarbeiten	31
3.4.1	Örtliche Gegebenheiten und Grundlagen für die Massenermittlung.....	31
3.4.2	Bauverfahren.....	35
3.4.3	Baustelleneinrichtung.....	35
3.4.4	Geräte- und Personalbedarf.....	37
3.4.5	Leistungsansätze für das Zeit-Wege-Diagramm	39
3.4.6	Einflüsse auf die Leistung der Düsenstrahlarbeiten	42
3.5	Betonbauarbeiten	43
3.5.1	Örtliche Gegebenheiten und Grundlagen für die Massenermittlung.....	43
3.5.2	Freilegen der Bohrpfahlbewehrung	45
3.5.3	Baustelleneinrichtung.....	47
3.5.4	Leistungsansätze für das Zeit-Wege-Diagramm	50
3.5.5	Leistungsansätze für die Betonbauarbeiten der Pfahlaussteifungen.....	50
3.5.6	Leistungsansätze für die Betonbauarbeiten zur Herstellung der Gurtbalken und der Querträger an den Portalen.....	51

3.5.7	Leistungsansätze für die Betonbauarbeiten am Deckel	52
3.5.8	Leistungsansätze zur Herstellung eines Bodenplattenabschnitts	54
3.5.9	Leistungsansätze zur Herstellung der Innenschalenwände ...	54
3.5.10	Einflüsse auf die Leistung der Betonbauarbeiten	55
3.6	Erdbauarbeiten unter dem Deckel.....	56
3.7	Herstellen des Arbeitsplanums 4.....	58
4	Terminplanung	59
4.1	Visualisierung des Bauablaufs	60
4.1.1	Arbeitsplanum 1 (Baustelleneinrichtungsphase)	60
4.1.2	Spezialtiefbauarbeiten.....	61
4.1.3	Arbeitsplanum 2 und Arbeitsplanum 3	63
4.1.4	Betonbauarbeiten Deckel und Portale.....	65
4.1.5	Erdbauarbeiten unter dem Deckel.....	66
4.1.6	Betonbauarbeiten unter dem Deckel.....	67
5	Der kritische Weg und Sensitivitäten	69
5.1.1	Spezialtiefbauarbeiten.....	69
5.1.2	Arbeitsplanum 2 und Arbeitsplanum 3	75
5.1.3	Betonbau.....	76
6	Schlussfolgerung	78
	Glossar	80
	Literaturverzeichnis	83
A.1	Täglicher Materialverbrauch	86
A.1.1	Spezialtiefbau.....	86
A.1.2	Erdbauarbeiten über dem Deckel.....	87
A.1.3	Herstellen der Arbeitsebenen.....	88
A.1.4	Herstellen der Baustraße	88
A.1.5	Erdbauarbeiten unter dem Deckel.....	89
A.1.6	Betonbauarbeiten	90
A.1.7	Geneigte Entwässerungsbohrungen	92
A.2	Leistungsberechnungen für die Herstellung des AP 1	93
A.2.2	Leistungsberechnung Baustraße	102
A.3	Leistungsberechnungen für die Herstellung des AP 2	105
A.4	Leistungsberechnungen für die Herstellung des AP 3	107
A.5	Leistungsberechnungen für die Herstellung der DSV - Zwickelabdichtung und DSV - Sohle	111
A.6	Leistungsberechnungen für die Betonbauarbeiten	113
A.7	Leistungsberechnung für die 1. und 2. Aushubphase unter dem Deckel	119

A.7.1	Leistungsberechnung für die Herstellung des AP 4	125
A.8	Leistungsberechnung für die Herstellung der geneigten Entwässerungsbohrungen	128
A.9	Auswertung der Daten für die DSV - Zwickelabdichtung	129
A.9.1	Leistungswert und Wasserverbrauch fürs Bohren.....	129
A.9.2	Leistungswert und Wasserverbrauch fürs Vorschneiden	131
A.9.3	Leistungswert und Suspensionsverbrauch fürs Düsen	133
A.10	Massenermittlung	135
A.11	Gerätedatenblätter	147
A.12	Diagramme	159
A.12.1	Zeit-Wege-Diagramm	159
A.12.2	Balkendiagramm	159

Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1	Regelquerschnitt Tunnel Srejach (Stationierung km 0+400)	4
Bild 2.2	Definierte Arbeitsebenen für den Bauablauf.....	8
Bild 3.1	Gegenüberstellung einer ein- und zweispurigen Baustraße.....	17
Bild 3.2	Aufbau der Baustraße	18
Bild 3.3	Überlagerung eines Regelquerschnitts mit der Grabkurve eines Gerätes der Klasse R 934 C	19
Bild 3.4	Bodenaufbau AP 3 (Stationierung km 0+250-km 0+735)	20
Bild 3.5	Aufgelöste Bohrpfahlwand.....	23
Bild 3.6	Überschnittene Bohrpfahlwand	23
Bild 3.7	Abstand der Bohrpfahlwände	24
Bild 3.8	Platzbedarf der Pfahlherstellungsverfahren.....	25
Bild 3.9	Geometrische Bedingungen für die DSV - Zwickelabdichtungen.....	32
Bild 3.10	Grundriss Düsenstrahlkörper - Sohle	33
Bild 3.11	Abmessungen einer Hochdruckpumpe in [mm] (Casagrande P 550)	36
Bild 3.12	Darstellung der Bohrpfähle und der aufgehenden Innenschalenwand im Grundriss	44
Bild 3.13	Abmessungen für die Betonbauarbeiten	44
Bild 3.14	Freilegung der Bohrpfahlbewehrung am Beispiel des Tunnels Perschling, Deckelbauweise Ost.....	45
Bild 3.15	Lage der Turmdrehkrane am Baufeld.....	48
Bild 3.16	Positionierung des Kranes außerhalb der Baustraße.....	49
Bild 3.17	Darstellung der Gurtbalken in einem Regelschnitt	51
Bild 3.18	Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung der Gurtbalken und Querträger (Portale).....	52
Bild 3.19	Ausschnitt aus den Aufnahmen der TU Graz am Hengsbergtunnel.....	53
Bild 3.20	Darstellung der Ausgleichsschicht über der DSV - Sohle in einem Regelquerschnitt.....	57
Bild 4.1	Beziehung zwischen A AP 3 und BA Portale.....	65
Bild 5.1	Ausschnitt aus dem Balkendiagramm nach Änderung der Abhängigkeiten zwischen der Spundwandherstellung und den EA AP 1	69
Bild 5.2	Auswirkung auf die Bauzeit bei Minderung der Bohrpfahlleistung.....	71
Bild 5.3	Änderung des Bauablaufes um Auswirkungen auf die Bauzeit reduzieren.....	72
Bild 5.4	Auswirkungen auf den Bauablauf bei einer 20%igen Steigerung der Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtung.....	72
Bild 5.5	Auswirkungen auf den Bauablauf bei einer 20%igen Reduzierung der Leistung der Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtung.....	73
Bild 5.6	Auswirkungen auf den Bauablauf bei einer 20%igen Steigerung der Leistung bei den Düsenstrahlarbeiten - Sohle.....	74

Bild 5.7	Auswirkungen auf den Bauablauf bei einer 20%igen Reduzierung der Leistung bei den Düsenstrahlarbeiten - Sohle.....	75
Bild 5.8	Auswirkungen auf den Bauablauf bei Verlängerung der Aushärtungszeit des Betons für die Pfahlaussteifungen.....	76
Bild 5.9	Bauzeitverzögerungen bei einer Leistungsreduzierung bei einem Deckelabschnitt.....	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1	Werte aus der Massenermittlung der Erdbauarbeiten	12
Tabelle 3.2	Materialklassen	13
Tabelle 3.3	Gerätebedarf beim Mutterbodenabtrag	14
Tabelle 3.4	Gerätebedarf für den Abtrag der quartären Kiese und Sande (AP 1).....	15
Tabelle 3.5	Gerätebedarf zur Herstellung der Spundwände	16
Tabelle 3.6	Gerätebedarf zur Herstellung des Feinplanums (AP 1).....	17
Tabelle 3.7	Gerätebedarf für die Herstellung der Baustraße.....	18
Tabelle 3.8	Gerätebedarf zur Herstellung des Arbeitsplanums 2.....	19
Tabelle 3.9	Gerätebedarf zur Herstellung des Arbeitsplanums 3.....	20
Tabelle 3.10	Werte aus der Massenermittlung der Bohrfahlarbeiten	23
Tabelle 3.11	Gegenüberstellung der möglichen Pfahlherstellungsverfahren	24
Tabelle 3.12	Gerätebedarf Bohrfahlarbeiten	27
Tabelle 3.13	Personalbedarf bei den Bohrfahlarbeiten	28
Tabelle 3.14	Leistungswerte für eine Drehbohrkolonne.....	29
Tabelle 3.15	Materialverbrauch für die DSV - Zwickelabdichtungen.....	32
Tabelle 3.16	Werte aus der Massenermittlung der Düsenstrahlarbeiten.....	35
Tabelle 3.17	Geräte für die Baustelleneinrichtung der Düsenstrahlarbeiten	37
Tabelle 3.18	Gerätebedarf Düsenstrahlarbeiten	38
Tabelle 3.19	Personalbedarf Düsenstrahlarbeiten	38
Tabelle 3.20	Parameter DSV - Zwickelabdichtung.....	40
Tabelle 3.21	Leistungsansätze einer Bohrkolonne bei den DSV - Zwickelabdichtungen	40
Tabelle 3.22	Parameter DSV - Sohle (PS 4N)	41
Tabelle 3.23	Leistungsansätze einer Bohrkolonne bei der DSV - Sohle.....	42
Tabelle 3.24	Werte aus der Massenermittlung der Betonbauarbeiten	45
Tabelle 3.25	Gerätebedarf zur Freilegung der Bohrfahlbewehrung	47
Tabelle 3.26	Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung der Pfahlaussteifungen.....	51
Tabelle 3.27	Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung des Deckels.....	54
Tabelle 3.28	Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung der Bodenplatte	54
Tabelle 3.29	Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung der Innenschalenwände.....	55
Tabelle 3.30	Werte aus der Massenermittlung der Erdbauarbeiten unter dem Deckel	56
Tabelle 3.31	Gerätebedarf für die Erdbauarbeiten unter dem Deckel.....	58
Tabelle 4.1	Zeitbedarf für die Baustelleneinrichtungsphase.....	61
Tabelle 5.1	Auswirkungen auf die Herstellungszeit bei Minderung der Bohrpfahlleistung.....	70

Abkürzungsverzeichnis

1. AP	1. Aushubphase unter dem Deckel (siehe Kapitel 2.2.1)
2. AP	2. Aushubphase unter dem Deckel (siehe Kapitel 2.2.1)
A	Bodenauswechslung
AP 1	Arbeitsplanum 1 (eine für die Düsenstrahl- und Bohrpfahlarbeiten hergestellte ebene Oberfläche, siehe Kapitel 2.2.1)
AP 2	Arbeitsplanum 2 (siehe Kapitel 2.2.1)
AP 3	Arbeitsplanum 3 (siehe Kapitel 2.2.1)
AT	Arbeitstag
AW	Aufwandswert
BA	Betonarbeiten
BK	Bodenklasse
BP	Bohrpfahl
BS	Baustraße
DSV	Düsenstrahlverfahren
EA	Erdarbeiten
EH	Einheit
GEH	Geräteeinheit
L	Leistung
LW	Leistungswert
LB	Leistungsberechnung
LKW	Lastkraftwagen
RF	Rückfluss
ST BP	Freilegen der Bohrpfahlbewehrung
Stat	Stationierung
W/B-Wert	Wasser/Bindemittel-Wert
WV	Wasserverbrauch

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Im Zuge des Ausbaus der Koralmbahn Graz - Klagenfurt wird nördlich des Klopeinensees im Abschnitt Mittlern - Althofen der Tunnel Srejach geplant.

Das Bauwerk wird in Deckelbauweise in Stillwassersedimenten, mit ungünstigen geotechnischen Eigenschaften errichtet. Auf Grund der schwierigen Bodenverhältnisse werden Spezialtiefbauarbeiten notwendig. Für die Erprobung dieser wurde ein Versuchsfeld in Untersammelsdorf angelegt, um geotechnisch relevante Versuche durchführen zu können. Die Erkenntnisse aus dem Versuchsfeld werden für das Projekt Srejach wegen der vergleichbaren Untergrundverhältnisse herangezogen. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei nicht nur auf den Spezialtiefbau, wie zum Beispiel die Bohrpfahl- und Düsenstrahlarbeiten, sondern auch auf die projektspezifischen Randbedingungen zu legen. Bodenauswechslungen zur Durchführung einzelner Leistungen, begrenzte Arbeitszeiten, wie auch Stahlbetonabstützungen zur Aussteifung der Bohrpfähle im Kopfbereich sind zu berücksichtigen.

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit der Erstellung eines möglichst effektiven Bauablaufs, wobei die speziellen Randbedingungen des Projektes Srejach in die Betrachtung einbezogen werden.

1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist eine Planung des Bauablaufs unter Berücksichtigung der genannten Spezifika für das Tunnelobjekt Srejach. Die Erkenntnisse aus dem Versuchsfeld Untersammelsdorf sollten dabei in die Ermittlung der Bauzeit und den Ablauf einfließen. Besonderes Augenmerk ist auf die Spezialtiefbauarbeiten zu legen, welche einen signifikanten Einfluss auf den Ablauf und die Bauzeit haben.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt im Erfassen von baubetrieblichen Abhängigkeiten der maßgeblichen Gewerke bei begrenzter Arbeitsfläche. Für die Erfassung des Bauablaufs soll ein Zeit-Wege-Diagramm entwickelt werden, wobei Verknüpfungen der wesentlichen Gewerke erfasst werden. Mit Hilfe dieses Diagrammes sollten die Angriffspunkte der Gewerke und die benötigten Kapazitäten an Personal und Gerät optimiert werden.

Die Darstellung des Ressourceneinsatzes sollte mittels Balkendiagramm (Belegschaftskurve, Geräteeinsatzplan) erfolgen.

Nach Festlegung der Abhängigkeiten und des Bauablaufs soll der kritische Weg beschrieben werden. Die abschließende Sensitivitätsanalyse soll Auswirkungen auf die Bauzeit bei abweichenden Leistungsansätzen der zeitkritischen Gewerke veranschaulichen.

1.3 Vorgehensweise

In der vorliegenden Masterarbeit wird eine baubetriebliche Analyse der maßgeblichen Gewerke unter Berücksichtigung der begrenzten Arbeitsfläche durchgeführt.

Für die Bestimmung der Bauzeit wird eine **Massenermittlung** für das Projekt Srejach, basierend auf den Plänen des Einreichprojektes 2008, ausgearbeitet und im Anhang A.10 angeführt.

Im Kapitel 3 erfolgt eine Gliederung des Bauablaufs in Bauverfahren (Gewerke). Nach der Ermittlung von Aufwandswerten zu den einzelnen Gewerken werden baubetriebliche Abhängigkeiten in einem **Grobterminplan** in Form eines Balkendiagrammes dargestellt.

Beim Projekt Srejach sind vor allem die Untergrundverhältnisse und die beengten Platzverhältnisse in der Bauablaufplanung zu beachten. Diese speziellen Randbedingungen werden bei detaillierter Betrachtung in die Leistungsansätze eingearbeitet. Der benötigte Platzbedarf der Kolonnen ergibt sich dabei aus Lager-, Manipulationsflächen und den Bewegungsradien der Baumaschinen.

Die Optimierung der Geräteeinsätze und die Ermittlung der Angriffspunkte der Gewerke erfolgt mit Hilfe eines **Zeit-Wege-Diagrammes**, welches ein wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit ist (siehe Kapitel 4). Zusätzlich wird die ungleiche Verteilung der Massen am Baufeld bei der Erstellung berücksichtigt. Die sich aus der Ablaufplanung ergebenden Kapazitäten an Personal und Gerät werden explizit in einem **Balkendiagramm** erfasst. Die Diagramme werden im Anhang A.12 dargestellt.

Im Kapitel 5 werden Schwankungen von Leistungsansätzen der zeitkritischen Gewerke untersucht. Die Auswirkungen auf die Bauzeit werden im Rahmen von **Sensitivitätsanalysen** angezeigt.

2 Grundlagen der Masterarbeit

2.1 Tunnel Srejach¹

Im Zuge der Neuerrichtung der Koralmstrecke entsteht das Tunnelbauwerk Srejach, das einen Teil der Tunnelkette St. Kanzian in Kärnten darstellt. Das Tunnelobjekt setzt sich aus zwei Wannengebäuden an den Portalen und einem Tunnel in Deckelbauweise mit einer Länge von 620 m zusammen.

Im östlichen Teil wird das Bauwerk in Seeton gegründet. Der Seeton ist eine lokale Bezeichnung für glaziale Stillwassersedimente aus dem Quartär.² Beim Tunnel Srejach wird zwischen sand- und schluffdominiertem Seeton unterschieden. Im Firstbereich werden diese von quartären Kiesen und Sanden in unterschiedlicher Stärke überlagert.

Das Ostportal mit einer Länge von 17 m wird als Wanne in einschaliger Bauweise hergestellt. Die Außenwände des Bauwerks werden als überschnittene Bohrpfehlwände ausgeführt. Auf diese Pfehle werden Gurtbalken mit Querträgern aus Beton mit einem Abstand von 3 m zur Aussteifung über eine Länge von circa 15 m ausgebildet. Aus dem Tunnel kommend wird eine V-förmige Bodenplatte mit einer Mindeststärke von 1,45 m, bis Stationierung km 0+083, geführt. Bei den Seitenwänden der Wannenschnitte wird im unteren Bereich der Bohrpfehle eine Spritzbetonausfachung bis zur Bohrpfehlvorderkante hergestellt. Die Höhe reicht bis 3 m über die Sohlenkante, um für den Fall der Zugentgleisung eine ebene Oberfläche zu schaffen, an der der Wagenkasten entlang gleiten kann. Den Abschluss des Portals bilden die seitlich variablen Tunnelübergangswände.

An das Portal grenzt der Tunnel in zweischaliger Bauweise. Die Außenschale besteht aus einer aufgelösten Bohrpfehlwand mit einem Pfehldurchmesser von 1,20 m und einem Systemabstand von 1,50 m. Die Ausfachung der Zwickel erfolgt im Düsenstrahlverfahren. Im breiigen Seeton wird ein Düsenstrahlkörper als Fußspannung zwischen den Bohrpfehlen hergestellt (Stationierung km 0+225 bis km 0+790). Die Mächtigkeit dieser Fußspannung (DSV - Sohle) variiert und liegt im Randbereich bei 2 m und in der Mitte des Tunnels bei 3 m. Die Bohrtiefe für die Herstellung der DSV - Sohle beträgt im Mittel 19 m von Geländeoberkante bis Unterkante des Düsenstrahlkörpers.

¹ Vgl. ILF - Ö&M: Einreichprojekt 2008, Einlage 4001 - Technischer Bericht Tunnel, K_MA_EB_TB_000_010_F_00 ; S. 15ff.

² Vgl. Fachgespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Tobias Schachinger, ÖBB Infrastruktur AG, am 06.09.2010.

Die Innenschale, bestehend aus einem Rechteckquerschnitt mit einer lichten Höhe von circa 7,40 m und einer lichten Breite von 11,70 m, wird als Weiße Wanne ausgeführt. Die Abdichtung erfolgt mittels Dehnfugenbändern in den Blockfugen und mittels Arbeitsfugenbändern in den Arbeitsfugen. Die Fugenbänder sind auf die jeweilige Wasserdruckklasse bemessen.

Der Deckel, die Bodenplatte und die Innenwände werden kraftschlüssig mit den Bohrpfählen verbunden, wobei die daraus resultierenden Zwischenräume berücksichtigt werden müssen. Der Tunnel weist ein Längsgefälle von Osten nach Westen in Höhe von 0,9 % auf.

Das folgende Bild stellt den Regelquerschnitt des Tunnels Srejach bei Stationierung km 0+400 dar.

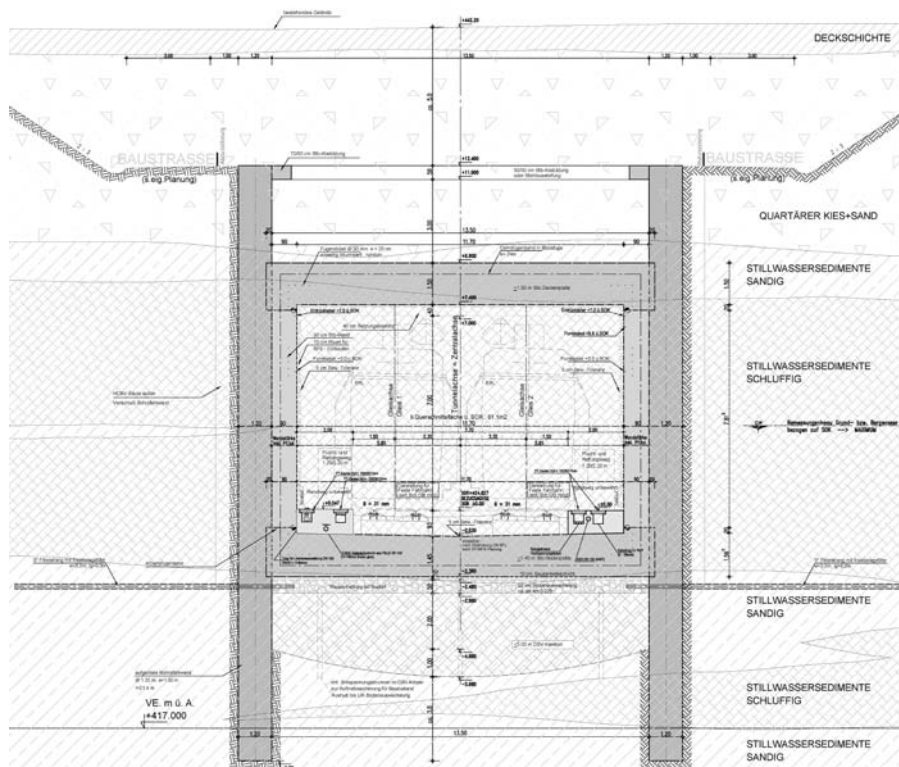


Bild 2.1 Regelquerschnitt Tunnel Srejach (Stationierung km 0+400)³

Für die Grundwasserkommunikation der Bodenschichten im fertigen Zustand wird eine 50 bis 70 cm starke Filterschicht unter der Bodenplatte eingebaut. Im Bereich der aufgelösten Bohrpfahlwand mit Zwickelabdichtung sind Filterstränge mit einer Länge von circa 8 m und einem Durchmesser von 5 Zoll geplant.

³ ILF - Ö&M.: Einreichprojekt 2008, Einlage 4204 - Objektplanung Tunnel, K_MA_EB_TB_17_451_F_00.

Das Westportal wird als Wannengebäude mit überschnittenen Bohrpfehlwänden errichtet und bildet mit einer Länge von 61 m den Abschluss des Bauwerks. Die Oberkanten der Bohrpfehlwände folgen dem abfallenden Geländeverlauf. Aufwändige Böschungssicherungen im breiig weichen Seeton können durch Weiterführung der Pfehlwände vermieden werden. Die Bodenplatte wird bis Stationierung km 0+781 geführt.

2.2 Projektspezifische Randbedingungen

Im Kapitel 2.2 werden die für alle Gewerke gültigen Randbedingungen und für den Bauablauf relevanten Arbeitsebenen festgelegt. Weitere Parameter, die sich auf die einzelnen Leistungen und Gewerke beziehen, werden in den dazugehörigen Abschnitten erläutert.

Die projektspezifischen Randbedingungen ergeben sich aus den Umfeld-, Umwelt- und Baustellenbedingungen sowie aus den Vorgaben des UVE - Berichtes und werden im Folgenden kurz dargestellt:

- Aus Gründen des Anrainerschutzes sind die Arbeiten für das Projekt Srejach von Montag bis Freitag jeweils von 06⁰⁰ bis 20⁰⁰ Uhr begrenzt.
- Im Projekt werden über den gesamten Tunnelabschnitt geneigte Entwässerungsbohrungen zur Grundwasserkommunikation eingebaut.
- Für die Befahr- und Bearbeitbarkeit einzelner Arbeitsebenen werden Bodenauswechslungen in der Bauzeitermittlung beachtet.
- Die Einreichplanung berücksichtigt auf beiden Seiten des Tunnels Srejach objektbezogene Baustraßen.
- Für die Lagerung der Überschussmassen werden die Deponien Peratschitzen und Priebelsdorf herangezogen, wobei die quartären Kiese und Sande auf der Deponie Priebelsdorf zwischengelagert und die Stillwassersedimente auf der Deponie Peratschitzen endgelagert werden.⁴

⁴ Vgl. DSK Koralmbahn: Einreichprojekt 2008, Einlage 10101 - Baukonzept, K_MA_EB_BK_00_xxx_0101_F_00; S. 2ff.

- Im Einreichprojekt 2008 sind Balken zur Aussteifung der Bohrpfähle im Kopfbereich vorgesehen. In den Plänen werden dafür 2 Varianten angeführt:⁵
 - ♦ Stahlaussteifungen laut statischen Erfordernissen
 - ♦ Stahlbetonabstützungen mit einer Dimension von 50/50 cm

Für die weiteren Betrachtungen wird von Stahlbetonabstützungen mit einem Systemabstand von 5 m ausgegangen. Die Dimensionen und Abstände werden in den folgenden Betrachtungen dem Längenschnitt entnommen.

- Der Bauablauf sollte hauptsächlich von Osten beginnend abgewickelt werden.
- Eine mögliche Behinderung durch Hochspannungs-, Frei-, Gas- oder Fernwärmeleitungen kann außer Acht gelassen werden, da in diesem Streckenbereich keine relevanten Leitungen vorhanden sind. Aus diesem Grund wird von freien Arbeitshöhen ausgegangen.
- Die Wasserhaltung ist nicht zeitkritisch, da die voraussichtlich eingesetzten vertikalen Vakuumburgen (auf der Südseite des Bauobjektes) in der ersten Bauphase eingebaut werden.

Für eine klare Darstellung der Leistungsansätze werden vom Autor der Masterarbeit noch folgende Randbedingungen festgelegt:

- Für die Ermittlung des Zeitbedarfs wird von einem Einschichtbetrieb von Montag bis Freitag mit einer täglichen Arbeitszeit von 10 Stunden ausgegangen.
- Die Vorleistungen für die einzelnen Gewerke, wie beispielsweise Montage von Geräten und Einrichten der Baustelle, sind jeweils zu Beginn der Arbeiten abgeschlossen.
- Zeitverzögerungen aufgrund von Dispositionsproblemen (Logistik) bei Materiallieferungen finden keine Berücksichtigung.
- Bei Geräte- und Materialtransporten ist die Zufahrt auch bei schlechten Witterungsverhältnissen möglich.
- Das Gerinne bei Stationierung km 0+560 kann beim Bauablauf als nicht maßgebend betrachtet werden.⁶

⁵ Vgl. ILF - Ö&M.: Einreichprojekt 2008, Einlage 4202 - Objektplanung Tunnel, K_MA_EB_TB_17_430_F_00.

⁶ Vgl. E-Mail von Herrn Dipl.-Ing Tobias Schachinger, ÖBB-Infrastruktur AG; Datum: 11.06.2010 15:51 Uhr.

2.2.1 Festlegung der Arbeitsebenen

Auf die Festlegung und Herstellung der einzelnen Arbeitsebenen (Manipulationsflächen) ist aufgrund der projektspezifischen Randbedingungen und der beengten Platzverhältnisse besonderes Augenmerk zu legen.

Für die weiteren Betrachtungen erfolgt diesbezüglich eine Gliederung in vier Arbeitsebenen (Arbeitsplanum 1 bis Arbeitsplanum 4).

Die Höhe des Arbeitsplanums 1 (AP 1), die 60 cm über der Oberkante der geplanten Pfahlaussteifungen liegt, ergibt sich aus dem Sachverhalt, dass bei der Herstellung der Bohrpfähle eine Kapphöhe beachtet werden muss.⁷ Damit der verbleibende Schotterkörper als Arbeitsplanum für die Herstellung der Bohrpfähle und die Düsenstrahlarbeiten herangezogen werden kann, muss unter Berücksichtigung der Bodenverhältnisse eine Minstdicke von circa 2 m gewährleistet sein. Auf dieser Arbeitsebene werden nördlich und südlich des Bauobjektes Baustraßen vorgesehen. Für die Dammschüttungen in den abfallenden Geländezonen bei Stationierung km 0+560 werden die Massen aus dem Aushub für das Arbeitsplanum 1 verwendet.⁸

Für die Herstellung der Bohrpfahlaussteifungen wird das Arbeitsplanum 2 (AP 2) errichtet. Dabei muss die teilweise einzubringende Sauberkeitsschicht beachtet werden. Die Aussteifungen werden hergestellt, um den Aushub für das Arbeitsplanum 3 durchführen zu können.

Das AP 2 ist auf folgende Teilbereiche begrenzt:

- Stationierung km 0+225 bis km 0+520
- Stationierung km 0+595 bis km 0+700

Das Arbeitsplanum 3 (AP 3) wird zur Erstellung des Deckels und das Arbeitsplanum 4 (AP 4) für die Bodenplatte benötigt. Für die Betonarbeiten am Deckel wird eine Bodenauswechslung in der Stärke von 60 cm ab Stationierung km 0+250 durchgeführt. Bei der Bodenplatte muss zuerst die bereits erwähnte Filterschicht eingebaut werden. Die endgültigen Höhen für Deckel- und Bodenplattenunterkanten (AP 3, AP 4) werden nach Einbau einer Sauberkeitsschicht von 10 cm durch die Unterkanten der Platten definiert.

⁷ Vgl. Deutsches Institut für Normungen: DIN 4014; Pkt. 3.7.1.4.; Vgl. dazu auch Buja, H. O.: Handbuch des Spezialtiefbaus, Geräte und Verfahren; S. 230.

⁸ Vgl. DSK Koralmbahn: Einreichprojekt 2008, Einlage 10101 - Bericht Baukonzept, K_MA_EB_BK_00_xxx_0101_F_00; S. 85.

Aufgrund der Höhe des Aushubquerschnitts und der anstehenden Bodenverhältnisse wird der Erdaushub unter dem Deckel in zwei zeitlich getrennte Phasen gegliedert. In diesen beiden temporären Arbeitsebenen müssen ebenfalls Bodenauswechslungen in der Stärke von 60 cm beachtet werden. In Bild 2.2 werden die 1. und 2. Aushubphase (1.AP, 2.AP) sowie die einzelnen Manipulationsflächen dargestellt.

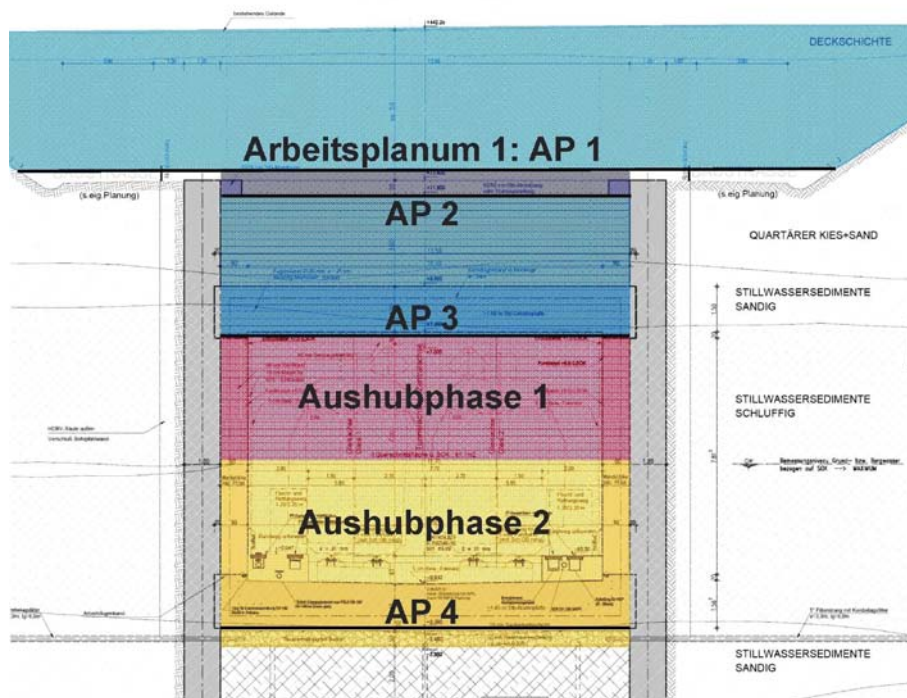


Bild 2.2 Definierte Arbeitsebenen für den Bauablauf

Für die Errichtung des Tunnels Srejach wird eine Bauzeit von circa 35 Monaten vorgegeben.⁹ Der Bauablauf wird im Kapitel 3 für die rechnerische Ermittlung der Bauzeit in Gewerke gegliedert. Auf Herstellung der Arbeitsebenen wird hierbei besonders geachtet, da ansonsten darauffolgende Leistungen nicht ausgeführt werden können. Zusätzlich wird die begrenzte Arbeitsfläche bei der Leistungsberechnung einbezogen.

⁹ Vgl. DSK Koralmbahn: Einreichprojekt 2008, Einlage 10101 - Baukonzept, K_MA_EB_BK_00_xxx_0101_F_00; S. 79.

3 Gliederung des Bauablaufs in Bauverfahren

Für eine baubetriebliche Analyse des Tunnelprojektes ist eine Gliederung in die maßgeblichen Bauverfahren erforderlich. Die daraus resultierenden Kapazitäten, Abhängigkeiten und Leistungsansätze werden unter Berücksichtigung der besonderen Randbedingungen des Projektes in ein Zeit-Wege-Diagramm eingearbeitet.

Eine detaillierte Betrachtung der Bauverfahren erfolgt in den nächsten Abschnitten. Die wichtigsten Gewerke für den Tunnel Srejach können wie folgt unterteilt werden, wobei auch die zugehörigen Massen überblicksmäßig dargestellt werden:

- Baustelleneinrichtung und Baufeldfreimachung
- Erdbauarbeiten: 276.005 [m³]
- Bohrfahlarbeiten: 21.739 [lfm]
- Düsenstrahlarbeiten: 31.733 [m³]
- Betonbauarbeiten: 39.954 [m³]

Bei der Betrachtung der einzelnen Bauverfahren wird versucht, eine logische Gliederung des Arbeitsablaufs vorzunehmen, um technologisch, produktionsbedingte Abhängigkeiten festzulegen. Die Einteilung trennt technische Vorgänge, wie zum Beispiel Schalen, Bewehren und Betonieren, dringt jedoch nicht in die Bereiche der Arbeitsstudie oder der Bewegungsanalyse vor.¹⁰

Ein wesentliches Kriterium bei der baubetrieblichen Analyse ist der begrenzte Platzbedarf. Für eine Untersuchung der benötigten Arbeitsfläche werden exemplarische branchenübliche Gerätetypen gewählt, um Abmessungen und Bewegungsradien in der Bauablaufplanung berücksichtigen zu können.¹¹ Die gewählten Geräteklassen ergeben sich aus den projektspezifischen Randbedingungen.

3.1 Baustelleneinrichtung und Baufeldfreimachung

Die Erdbauarbeiten und die allgemeine Baustelleneinrichtung können erst nach Vorleistungen, welche das Baufeld zugänglich machen, begonnen werden.¹² Im Speziellen sind das Tätigkeiten, wie das Beseitigen des Bewuchses, Rodungsarbeiten, der Abbruch der

¹⁰ Vgl. Stadler, G.: Grundlagen der Bauverfahren, Skriptum TU-Graz SS 2004; S. 16.

¹¹ Siehe Anhang A.11

¹² Vgl. Weber, K.; Garstka, B.: Ratgeber für den Tiefbau; S. 86.

bestehenden Gebäude bei Stationierung km 0+450 und das Herstellen von Zufahrtsstraßen zur Baustelleneinrichtungsfläche. Die Baufeldfreimachung und die Herstellung der primären Infrastruktur werden im Bauablauf mit einem Zeitbedarf von einem Monat pauschal berücksichtigt.

Nach Abtrag der Deckschichte (siehe Kapitel 3.2.1) wird parallel zu den Arbeiten am Baufeld mit der Errichtung der allgemeinen Baustelleneinrichtungsfläche begonnen. Die dafür vorgesehene Fläche (BE 3C) liegt nördlich des Tunnels mit einer Größe von 25.000 m².¹³ Die Arbeiten sind nicht zeitkritisch und werden in der Bauzeitermittlung nicht beachtet.

Für eine exemplarische Ermittlung des nötigen Platzbedarfs werden folgende Annahmen getroffen:¹⁴

- Für die Bauleitung und die ÖBA wird eine Bürobaracke mit einer Größe von 160 m² installiert. Diese Fläche beinhaltet Arbeitsplätze für 10 Angestellte, 1 Besprechungszimmer und die nötigen Sanitäreinrichtungen.
- Folgende Container werden benötigt: 7 Aufenthalts-, 2 Polier-, 3 Magazin- und 2 Sanitätscontainer mit jeweils einer Grundfläche von circa 15 m².
- Eine Werkstätte mit einer Grundfläche von circa 150 m² beinhaltet Arbeitsflächen für Reparaturen, ein Lager für Ersatzteile und Schmierstoffe, jeweils eine Standfläche für LKW und Baugeräte.
- 5 Abstellplätze werden unmittelbar neben der Werkstätte als zusätzliche Fläche für Reparaturarbeiten mit einer Größe von circa 50 m² hergestellt.
- Die Größe des Parkplatzes wird mit 650 m² festgelegt und entspricht einer Stellfläche für 40 PKW.
- Für die Entsorgung und Trennung des Mülls wird ein Platzbedarf von circa 100 m² angenommen.
- Eine Lagerfläche von lediglich 500 m² wird hergestellt, da der Großteil des benötigten Baumaterials am Baufeld gelagert wird.
- Der Waschplatz wird mit einer Fläche von 100 m² festgelegt.

¹³ Vgl. DSK Koralmbahn: Einreichprojekt 2008, Einlage 10204 - Baukonzept Lageplan, K_MA_EB_VB_00_xxx_0204_F_00.

¹⁴ Vgl. Heck, D.: Baubetriebslehre VU, Skriptum TU-Graz WS 09/10; S. 45ff.

Die benötigten Flächen für die Gewerke werden bei den Überlegungen ebenso einbezogen:

- Zwischenlagerfläche für die Deckschichte: 11.260 m² (siehe Kapitel 3.2.2)
- Baustelleneinrichtungsfläche für die Düsenstrahlarbeiten in der Größe von circa 500 m². Die Abmessungen der Fläche ergibt sich aus einer Manipulationsfläche und der Anzahl der folgenden Geräte: 8 Zementsilos, 6 Hochdruckpumpen (circa 14 m²/HP), 3 Mischanlagen (circa 14 m²/MA).
- Ein Platzbedarf von 2.800 m² für die Absetzbecken der Düsenstrahlarbeiten (siehe Kapitel 3.4.3), wenn Absetzbecken benötigt werden.

Der benötigte Platzbedarf ist die Summe aus den zuvor angeführten Flächen und beträgt 16.480 m², wobei 1.920 m² für die allgemeine Baustelleneinrichtung benötigt werden. Zusätzlich ist eine Fläche von circa 1.500 bis 2.000 m² für Ausweichplätze, Entladebuchten und eine Umfahrtstraße zu beachten.

3.2 Erdbauarbeiten über dem Deckel

Bei den Erdbauarbeiten ist die Leistung von der Planung und Organisation einer reibungslosen Prozesskette abhängig. Im ersten Schritt wird ein Leitgerät für die Vorgänge festgelegt. Daraus ergeben sich Anzahl und Größe der weiteren Geräte. Für das Tunnelprojekt Srejach müssen die Bodenauswechslungen im Seeton gesondert berücksichtigt werden, da die weiteren Leistungen ohne diese Vorarbeiten nicht durchgeführt werden können.

Für die Leistungsberechnung der Baugeräte gibt es verschiedene Publikationen, die aufgrund unterschiedlicher Definitionen und Formeln zu Abweichungen in den Ergebnissen führen.¹⁵ Die Ermittlung des Zeitbedarfs erfolgt für das Projekt Srejach auf Basis des Baubetriebslehre VU Skriptums¹⁶ der Technischen Universität Graz.

¹⁵ Vgl. Kalogeropoulos, N.: Leistungsermittlung von Maschinen und Geräten im Baubetrieb, Masterarbeit TU-Graz 2010; S. 2.

¹⁶ Heck, D.: Baubetriebslehre VU, Skriptum TU-Graz WS 09/10.

Der Erdbau wird für die rechnerische Ermittlung des Zeitbedarfs in folgende Tätigkeiten gegliedert (siehe Anhang A.2-A.4):

- Lösen
- Laden
- Transport
- Einbau und Verdichten

3.2.1 Örtliche Gegebenheiten und Grundlagen für die Massenermittlung

Bei der Ermittlung der Massen werden die einzelnen Arbeitsebenen in die Betrachtung mit einbezogen, damit die gewonnenen Ergebnisse direkt für die Leistungsberechnung herangezogen werden können.

Für die Berechnung werden die Schichtstärken in den Regelquerschnitten über die Länge gemittelt und mit den Normalabständen multipliziert.¹⁷ Dabei stellt 1 [m³] Material den Zustand in ungestörter Lagerung dar. Beim Wiedereinbau der Erdmassen wird ein m³ im wieder eingebauten, verdichteten und nicht im aufgelockerten Zustand angegeben.¹⁸

Die voraussichtlich anfallenden Massen werden in Tabelle 3.1 nach Bodenarten getrennt dargestellt.

Erdbauarbeiten über dem Deckel	
Bodenart	Volumen
	[m ³]
Deckschichte	13.850
quartäre Kiese und Sande	98.823
Stillwassersedimente	12.488
"Sprengschutt" (Einbau)	8.463

Tabelle 3.1 Werte aus der Massenermittlung der Erdbauarbeiten

In der Leistungsberechnung ist die Größe des Auflockerungs- und Füllungsfaktors für Grabgefäße von der zu bearbeitenden Bodenart abhängig. Beim Tunnelprojekt Srejach werden die verschiedenen Bodenschichten in Materialklassen (MK) von 1 bis 5 gegliedert. Die anstehenden Böden (ohne Aufbereitungsmaßnahmen) werden dabei den Klassen 2 bis 4 zugeordnet. Unter der MK 5 werden alle Materialien,

¹⁷ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 2205, Erdarbeiten, Ausgabe 2000; S. 19.

¹⁸ Vgl. Heck, D.: Baubetriebslehre VU, Skriptum TU-Graz WS 09/10; S. 61.

die als Baurestmassen (z.B.: DSV - Rückfluss, Abbruchmaterial von Gebäuden u.a.m.) deponiert werden, verstanden. Die Stillwasser-sedimente werden in die Klassen 3 und 4 eingereiht.¹⁹

Der folgenden Tabelle können die Auflockerungsfaktoren bzw. die Wiederverdichtungsfaktoren entnommen werden:

Materialklassen Erdbau		
Materialklassen Erdbau	Auflockerungsfaktor (AF)	Wiederverdichtungsfaktor (WF)
Humus	1,150	-
1	1,200	1,075
2	1,200	1,075
3	1,235	1,150
4	1,235	1,150
5	1,230	1,050

Tabelle 3.2 Materialklassen²⁰

3.2.2 Herstellen des Arbeitsplanums 1

3.2.2.1 Mutterbodenabtrag

Die Deckschicht wird zuerst auf den Lager- und Baustelleneinrichtungsflächen abgetragen, um mit den Maßnahmen zur Errichtung der allgemeinen Baustelleneinrichtung beginnen zu können. Für den Abtrag wird eine Planierraupe der Geräteklasse PR 744 mit einem Einsatzgewicht von 27,30 to gewählt.²¹ Die Schildkapazität beträgt 6 m³ und wird mit der Form des Schildes (Brustschild) in den Berechnungen berücksichtigt. Die Wahl der Größe des Gerätes basiert auf der Überlegung, den Vorgang des Mutterbodenabtrages möglichst schnell zu beenden, um das Baufeld für die weiteren Gewerke freizugeben.

Zum Laden des Bodens kommt ein Radlader der Geräteklasse Volvo L 120 E mit einer Leistung von 165 kW zum Einsatz, damit die Förderweite der Planierraupe auf 50 m begrenzt wird. Die Leistung kann somit erhöht werden. Ein Gerät dieser Größenordnung wird auch zum Lagern in Mieten vorgehalten. Für den Transport der Deckschicht werden zwei knickgelenkte Dumper mit einem Fassungsvermögen von 17,50 m³ eingesetzt.

¹⁹ Vgl. DSK Koralmbahn: Einreichprojekt 2008, Einlage 10101 - Baukonzept, K_MA_EB_BK_00_xxx_0101_F_00; S. 13.

²⁰ Vgl. DSK Koralmbahn: Einreichprojekt 2008, Einlage 10101 - Baukonzept, K_MA_EB_BK_00_xxx_0101_F_00; S. 12.

²¹ Die Datenblätter der gewählten Geräte sind im Anhang A.11 dargestellt.

Die Anzahl der Transportgeräte ergibt sich vor allem aufgrund der geringen Transportgeschwindigkeiten auf den unbefestigten temporären Strecken.

Mutterbodenabtrag			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
1	Planierraupe	Liebherr PR 744	185
2	Radlader	Volvo L 120 E	165
2	Dumper	Volvo A 30 E	252

Tabelle 3.3 Gerätebedarf beim Mutterbodenabtrag

Die anfallenden Erdmassen werden voraussichtlich auf der Lagerfläche BE 3C in Mieten mit einer maximalen Höhe von 2 m und einer Sohlbreite von 3 m zwischengelagert.²² Bei einem Schüttwinkels von maximal 60 Grad kann pro m² Fläche 1,23 m³ des Mutterbodens gelagert werden. Resultierend aus den voraussichtlich anfallenden Erdmassen von 13.850 m³ wird somit eine Fläche von 11.260 m² benötigt.

Der Zeitbedarf von circa 7 Arbeitstagen wird bei einer Produktionsmenge von 2.000 m³/AT erreicht.

3.2.2.2 Abtrag der quartären Kiese und Sande

Der Abtrag der quartären Kiese und Sande für die Erstellung des Arbeitsplanums 1 wird erst nach Beendigung der Arbeiten an der Deckschichte begonnen, somit kann die Planierraupe für den Bodenauftrag im Bereich der Stationierung von km 0+520 bis km 0+620 herangezogen werden. In diesem Teilabschnitt werden Dämme errichtet, um ein konstantes Längsgefälle des Arbeitsplanums 1 für die Bohrpfahl- und Düsenstrahlarbeiten zu erreichen.

Die quartären Kiese und Sande werden vom Ostportal beginnend mit zwei Hydraulikbaggern der Geräteklasse R 934 C mit einer Leistung von 150 kW und einem Tieflöffelinhalt von 1,50 m³ abgetragen.²³ Dabei wird für die Arbeit angenommen, dass die quartären Kiese und Sande auf der circa 8 km entfernten Deponie Priebelsdorf zwischengelagert werden.

Für die Berechnung der Dumper werden die Bagger als Leitgeräte bei einer täglichen Leistung von 1.450 m³ pro Gerät eingesetzt. Die Anzahl der Dumper kann somit mit Hilfe der Transportentfernung und der vorgegebenen Leistung ermittelt werden.

²² In Anlehnung an: Schach, R.; Otto, J.: Baustelleneinrichtung, Grundlagen - Planung - Praxishinweise - Vorschriften und Regeln; S. 118.

²³ Vgl. dazu Kapitel 3.2.5.

Es werden für jeden Bagger 5 knickgelenkte Dumper eingesetzt, um eventuelle Wartezeiten des Leitgerätes zu vermeiden. In der folgenden Tabelle wird der Gerätebedarf für den Abtrag der quartären Kiese und Sande dargestellt.

Abtrag der quartären Kiese und Sande (AP 1)			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
1	Planierdraupe	Liebherr PR 744	185
2	Hydraulikbagger	Liebherr R 934 C	150
10	Dumper	Volvo A 30 E	252

Tabelle 3.4 Gerätebedarf für den Abtrag der quartären Kiese und Sande (AP 1)

3.2.2.3 Herstellen der Spundwände zur Sicherung der Baustraße

Unter Berücksichtigung eines möglichst optimalen Geräteeinsatzes wird von der Überlegung ausgegangen, dass nach Abtrag einer Schichtstärke von circa 2,0 bis 2,5 m die Hydraulikbagger als Geräteträger für eine Vibrationsramme umgerüstet werden, um Spundwände zur Sicherung der Böschung für die spätere Baustraße (siehe Kapitel 3.2.3) in den Boden einzubringen. Die Bagger müssen aufgrund der hohen Gewichte am Ausleger, die durch den Anbau von Mäklern, Winden u.a.m. erzeugt werden, ein Gewicht von mindestens 20 to aufweisen. Die gewählten Hydraulikbagger können somit mit einem Dienstgewicht von circa 33 to eingesetzt werden.²⁴ Zusätzlich wird für jedes Gerät ein Mobilbagger mit einem Dienstgewicht von circa 12 to vorgehalten, um einen optimalen Arbeitsablauf gewährleisten zu können.

Verzögern sich die Erdbauarbeiten aufgrund verschiedenster Einflüsse (siehe Kapitel 3.2.6), könnten für diese Arbeiten auch zusätzliche Geräte wie zum Beispiel Seilbagger, die für die Bohrpfahlarbeiten benötigt werden, vorzeitig angefordert werden.

In der Literatur wird ein Leistungswert von 70 m²/AT (10 h) für den Einbau von Stahlspundwänden angegeben.²⁵ Dieser Wert wurde 1979 ermittelt. Aufgrund der Weiterentwicklung der Geräte bzw. des Zubehörs und der geringen Ansprüche an die Sohl-Lage der Spundwände wird dieser Leistungsansatz vom Autor um 100 % erhöht. Daraus errechnet sich ein Zeitbedarf von circa 23 Arbeitstagen, wenn 2 Geräte eingesetzt werden (Rammtiefe circa 5 m). Zur Herstellung der Spundwände werden zuvor auf der Nord- und Südseite des zukünftigen Bauwerks temporäre

²⁴ In Anlehnung an: Berner, F.; Paul, W.: Rammen, Ziehen, Pressen, Rütteln, Grundbau - Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren; S.455ff.

²⁵ Vgl. Drees, G.; Kurz, T.: Aufwandstabellen von Lohn- und Gerätestunden im Ingenieurbau zur Kalkulation angemessener Baupreise; S. 75.

unbefestigte Wege mit Hilfe einer Planierraupe angelegt, um eine ebene Oberfläche für das Einbringen der Spundwände zu schaffen. Im Zuge dieser Arbeiten könnten die für die Wasserhaltung benötigten vertikalen Vakuumburgen auf der Südseite des Tunnels abgeteuft werden, da bereits eine befahrbare Ebene für die Bohrgeräte vorhanden ist. Die Tragfähigkeit des Arbeitsplanums muss aufgrund der schweren Geräte berücksichtigt werden.

Spundwandherstellung			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
2	Hydraulikbagger	R 934 C	150
2	Mobilbagger	A 309	65
1	Planierraupe	PR 744	185

Tabelle 3.5 Gerätebedarf zur Herstellung der Spundwände

Nach Beendigung der Spundwandarbeiten wird der Abtrag der quartären Kiese und Sande mit Hilfe der Hydraulikbagger bis zur Oberkante des AP 1 fertiggestellt.

3.2.2.4 Herstellen des Feinplanums (AP 1)

Die Arbeiten für die Errichtung des Feinplanums beginnen nach Abschluss des Bodenabtrages, um Voraussetzungen für eine optimale Geräteausnutzung zu schaffen. Geräteleistungen²⁶ in der Höhe von 8.000 m²/h können somit erreicht werden. Die Leistung der Walze ist vor allem von der Arbeitsgeschwindigkeit und von der Walzkörperbreite abhängig (siehe Anhang A.2). Mit der in der Tabelle 3.6 angegebenen Walze werden 750 m²/h verdichtet. Es wird davon ausgegangen, dass kein zusätzliches Material für die Erstellung des AP 1 eingebracht werden muss, da die quartären Kiese und Sande den nötigen Anforderungen entsprechen. Muss jedoch zur Herstellung des Feinplanums AP 1 Material aufgebracht werden, kann dieser Vorgang bereits vor Abschluss des Bodenaushubes begonnen werden.

²⁶ Vgl. Girmscheid, G.: Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse; S. 80.

Herstellen der Oberfläche des Arbeitsplanum 1			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
1	Grader	Caterpillar 140 H	138
1	Walzenzug	Bomag BW 211 D	99

Tabelle 3.6 Gerätebedarf zur Herstellung des Feinplanums (AP 1)

3.2.3 Baustraße

Im Einreichprojekt 2008 werden für die Bauarbeiten an beiden Seiten des Objektes einspurige Baustraßen beachtet. Aufgrund der geräteintensiven Tätigkeiten werden diese für die weiteren Betrachtungen auf zweispurige Straßen erweitert, um Voraussetzungen für einen ungestörten Ablauf zu schaffen. Als kritisches Beispiel können Materialtransporte, im speziellen Betontransporte für das Betonieren der Bohrpfähle, angeführt werden. Unter Beachtung der in Kapitel 3.3.5 angegebenen Leistungsansätze für Bohrpfahlarbeiten werden an einem Tag bei einem Fassungsvermögen des Fahrmischers von 9 m³ bis zu 24 Transporte benötigt. Der allgemeine Bauablauf wird somit von den auf der Baustraße stehenden Fahrmischern behindert werden. Der Erdaushub mit dem Hydraulikbagger für das Arbeitsplanum 3 muss auch bei diesen Überlegungen einbezogen werden. Des Weiteren ist in diesem Zusammenhang auf die Leistung der Betonbauarbeiten für den Deckel zu verweisen (siehe Kapitel 3.5.7).

Das Bild 3.1 soll die Problematik durch Gegenüberstellung einer ein- und zweispurigen Baustraße veranschaulichen.

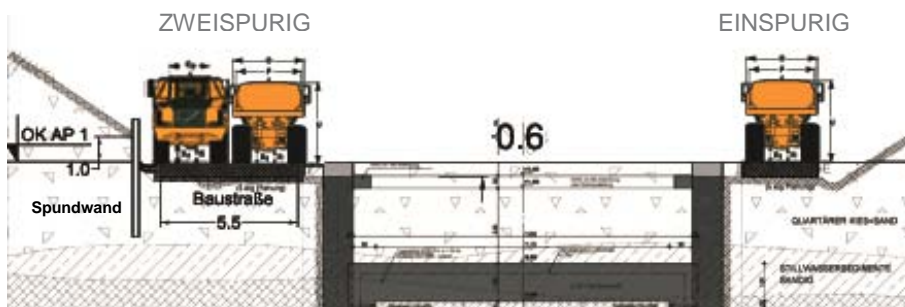


Bild 3.1 Gegenüberstellung einer ein- und zweispurigen Baustraße

Aufgrund der begrenzten Arbeitsfläche sind die mindestens 5,50 m breiten Straßen²⁷ Teil der Arbeitsebene bzw. der Manipulationsfläche, da für die Erstellung des Tunnels schweres Gerät mit Raupenfahrwerk darauf manövriert werden muss (siehe Bild 3.3). Ausgegangen wird daher von einer Straße, die maximal 30 cm über der Arbeitsebene liegt,

²⁷ Vgl. Heck, D.: Baubetriebslehre VU, Skriptum TU-Graz WS 09/10; S. 23.

um den Höhenunterschied zwischen Baustraße und Arbeitsplanum so gering als möglich zu halten, aber dennoch das Wasser von der Straße ableiten zu können.²⁸ Für die Erhaltung der Baustraße wird ein Grader vor gehalten.

In der Massenermittlung und den Leistungsberechnungen wird für den Aufbau der Baustraße und der Bodenauswechslungen eine „Sprengschuttschichte“ in der Stärke von 60 cm mit darunter liegendem Vlies berücksichtigt. Im folgenden Bild wird der Aufbau veranschaulicht.

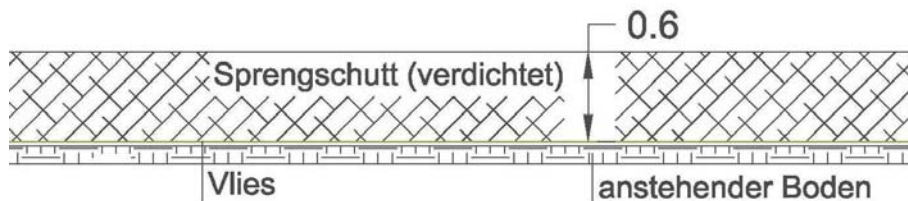


Bild 3.2 Aufbau der Baustraße

Für die Ermittlung des Zeitbedarfs werden Vorgänge, die zeitgleich bzw. zeitlich leicht verschoben beginnen, in den Berechnungen mit Abminderungsfaktoren eingerechnet.

In Tabelle 3.7 wird der Gerätebedarf für die Herstellung der Baustraße angegeben. Für den Einbau des Vlieses werden Mobilbagger mit Traversen benötigt.

Baustraße			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
1	Planierraupe	Liebherr PR 744	185
1	Grader	Caterpillar 140 H	138
1	Walzenzug	Bomag BW 211 D	99
3	Dumper	Volvo A 30 E	252
1	Mobilbagger mit Traverse	Liebherr A 309	65

Tabelle 3.7 Gerätebedarf für die Herstellung der Baustraße

3.2.4 Herstellen des Arbeitsplanums 2

Das Arbeitsplanum 2 wird ausschließlich zur Herstellung der Stahlbetonabstützungen im Kopfbereich der Bohrpfähle errichtet. Bei dem Bodenaushub kann eine Tagesleistung von 1.350 m³ mit einem Hydraulikbagger der Geräteklasse R 934 C erzielt werden.

²⁸ In Anlehnung an: Weber, K.; Garstka, B.: Ratgeber für den Tiefbau; S. 113.

Die Aussteifungen werden auf der Baustelle in Ortbeton hergestellt und zuvor wird eine Sauberkeitsschicht betoniert. Der Zeitbedarf von 11 Arbeitstagen wird im Anhang A.3 berechnet. In der folgenden Tabelle werden die dafür benötigten Geräte angegeben.

Arbeitsplanum 2			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
1	Hydraulikbagger	Liebherr R 934 C	150
5	Dumper	Volvo A 30 E	252
1	Grader	Caterpillar 140 H	138
1	Walzenzug	Bomag BW 211 D-4	99
1	Autobetonpumpe	Putzmeister M20-4 ZR	-

Tabelle 3.8 Gerätebedarf zur Herstellung des Arbeitsplanums 2

3.2.5 Herstellen des Arbeitsplanums 3

Bei den Erdbauarbeiten für das Arbeitsplanum 3 gehen die speziellen geometrischen Randbedingungen mittels Abminderungsfaktoren in die Leistungsberechnung ein. Aufgrund der Bodenverhältnisse, der Aushubhöhen und der Lage der Pfahlaussteifungen wird die Variante eines Aushubes der Erdmassen „von oben“ gewählt. Hierfür werden Hydraulikbagger eingesetzt, wobei diese unter Berücksichtigung der geometrischen Gegebenheiten durch Überlagerung der Regelquerschnitte mit Grabkurven der Geräte ermittelt werden. Daraus ergeben sich Hydraulikbagger der Klasse R 934 C mit Einsatzgewichten von circa 33 to und einem Löffelinhalt von 1,50 m³. Im folgenden Bild wird die Überlagerung der Grabkurve des Hydraulikbaggers R 934 C im Regelquerschnitt dargestellt.

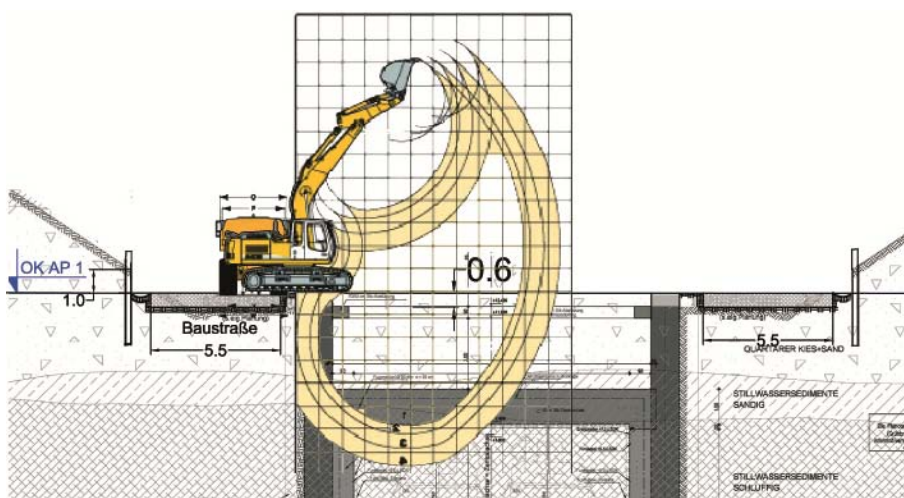


Bild 3.3 Überlagerung eines Regelquerschnitts mit der Grabkurve eines Gerätes der Klasse R 934 C

Das Arbeitsplanum 3 hat direkten Einfluss auf den allgemeinen Bauablauf, da sich zum einen die Betonarbeiten am Deckel bei geringerer Leistung verzögern würden und zum anderen die Hydraulikbagger einen Teil der Baustraße als Manipulationsfläche benötigen und somit den allgemeinen Baustellenverkehr stören.

Aus diesen Bedingungen errechnet sich für jedes Gerät eine Aushubleistung von circa 70 m³/h. Die Leistung wird wegen der beengten Platzverhältnisse zwischen den Pfahlaussteifungen um weitere 5 m³/h reduziert. In den Berechnungen wird auch der Mehraushub für die 60 cm starke Bodenauswechslung beachtet.

Für die Herstellung der Oberfläche AP 3 muss ab Stationierung km 0+250 die erwähnte Bodenauswechslung durchgeführt werden, damit der Deckel im anstehenden Boden hergestellt werden kann. Im ersten Streckenabschnitt (Stationierung km 0+079 - km 0+250) wird von einer Auswechslung des Bodens abgesehen, da der Seeton von einer ausreichend mächtigen Schicht aus quartären Kiesen und Sanden überlagert wird. Im folgenden Bild wird der Aufbau AP 3 ab Stationierung km 0+250 abgebildet.

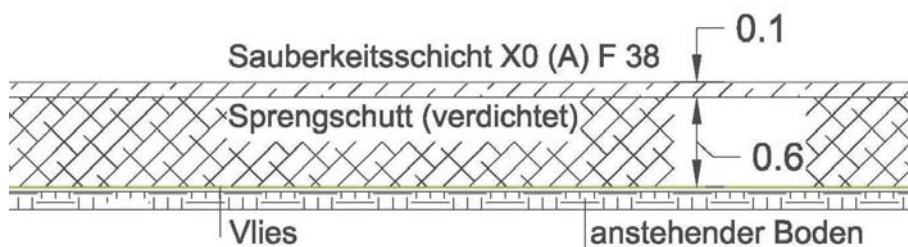


Bild 3.4 Bodenaufbau AP 3 (Stationierung km 0+250-km 0+735)

Aus genannten Gründen wird bis Stationierung km 0+250 eine um circa 25 % höhere Leistung für die Erstellung des Feinplanums als im zweiten Abschnitt (Stationierung km 0+250 - km 0+735) erzielt. Die zur Herstellung benötigten Geräte werden in Tabelle 3.9 abgebildet:

Arbeitsplanum 3			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
2	Hydraulikbagger	Liebherr R 934 C	150
1	Mobilbagger mit Traverse	Liebherr A 309	65
6	Dumper	Volvo A 30 E	252
1	Grader	Caterpillar 140 H	138
1	Walzenzug	Bomag BW 211 D-4	99
1	Autobetonpumpe	Putzmeister M20-4 ZR	-

Tabelle 3.9 Gerätebedarf zur Herstellung des Arbeitsplanums 3

3.2.6 Einflüsse auf die Leistung der Erdbauarbeiten

Die Leistung der Erdbauarbeiten hängt von verschiedenen Parametern ab, die zum größten Teil in der rechnerischen Ermittlung des Zeitbedarfs berücksichtigt werden. Dennoch können nicht sämtliche negativen Einflüsse, wie zum Beispiel Stillstandszeiten durch Reparaturarbeiten am Leitgerät, beachtet werden.

Die Erdbauarbeiten sind weiters sehr stark von den Witterungsverhältnissen abhängig, da sich Einflussfaktoren, wie zum Beispiel die zu befahrende Fläche, der Auflockerungs-, der Füllungsfaktor u.a.m. verändern können. Im schlimmsten Fall müssen die Arbeiten bei anhaltendem Regen eingestellt werden. Durch Instandhaltung der Arbeits- und Transportflächen kann die Leistung bei solchen Verhältnissen teilweise gesteuert werden.²⁹

Die Optimierung der Einsatzbedingungen kann die Leistungsfähigkeit erhöhen.³⁰ Je kürzer die Spielzeit, desto höher die Leistung. In manchen Fällen können der Schürfweg und der Schwenkwinkel nicht beeinflusst werden, wie beispielsweise beim Erdaushub für die Erstellung des Arbeitsplanums 3. Daher ist ein entsprechender Abminderungsfaktor in der rechnerischen Ermittlung des Zeitbedarfs enthalten. Die Organisation bzw. die Abstimmung der Prozesskette und die Festlegung des Leitgerätes haben gleichermaßen Einfluss auf die Herstellzeit.

Im Folgenden werden die wesentlichen Faktoren, welche Auswirkungen auf die Leistung haben, zusammenfassend dargestellt:³¹

- Maschinenkennzahlen, wie zum Beispiel: Größe, Antriebsleistung, Einsatzgewicht, Störanfälligkeit, Maschinenzustand u.a.m.
- Bodenverhältnisse: Gewicht, Dichte u.a.m.
- Geräteführer: Erfahrung, Motivation, Qualifikation
- Örtliche Gegebenheiten, wie zum Beispiel beengte Platzverhältnisse
- Einsatzplanung der Geräte: Prozesskette
- Witterungsverhältnisse

²⁹ Vgl. Weber, K.; Garstka, B.: Ratgeber für den Tiefbau; S. 87. und S. 101.

³⁰ Vgl. Weber, K.; Garstka, B.: Ratgeber für den Tiefbau; S. 100.

³¹ Vgl. Scheucher, C.: Zur Leistungsermittlung von Maschinen und Geräten im Baubetrieb, Diplomarbeit TU-Graz 1997; S. 3.

Aus der ÖNORM B 2205³² ergeben sich folgende Hinweise zur etwaigen Minderung der Leistung, welche für das Tunnelprojekt Srejach relevant sein können:

- Nichteinhaltung von vertraglich festgelegten Ausführungstoleranzen
- Erschwernisse durch unvorhergesehene Hindernisse (z.B. Findlinge über 0,1 m³; Funde u.a.m.)
- Nichteinhaltung der Nebenleistungen, wie zum Beispiel das Prüfen, Herstellen und Erhalten von erforderlichen Höhenmarken und Anschlusshöhen

3.3 Bohrpfahlarbeiten

Bohrpfahlarbeiten sind sehr geräteintensiv. Die Wahl des Bauverfahrens und der dazugehörigen Geräte ist daher ein wesentliches Kriterium. In diesem Kapitel werden die zur Verfügung stehenden Bauverfahren, unter Berücksichtigung des benötigten Platzbedarfs und der baustellen-spezifischen Situation, gegenübergestellt.

3.3.1 Örtliche Gegebenheiten und Grundlagen für die Massenermittlung

Der Materialverbrauch bei den Bohrpfahlarbeiten ergibt sich aus der Geologie und den geometrischen Bedingungen. Dabei sind die Anzahl und die Länge der Bohrpfähle bei der Bestimmung des Zeitbedarfs von besonderer Bedeutung.

Länge und Betonsorte (C25/30/B11) werden dem Längenschnitt³³ und die Anzahl der überschrittenen Bohrpfähle dem Lageplan³⁴ entnommen. Aus dem Systemabstand von 1,50 m (siehe Bild 3.5) errechnet sich die Anzahl der Pfähle in der aufgelösten Bohrpfahlwand.

³² Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 2205, Erdarbeiten, Ausgabe 2000.

³³ Vgl. ILF - Ö&M.: Einreichprojekt 2008, Einlage 4202 - Objektplanung Tunnel, K_MA_EB_TB_17_430_F_00.

³⁴ Vgl. ILF - Ö&M.: Einreichprojekt 2008, Einlage 4201 - Objektplanung Tunnel, K_MA_EB_TB_17_420_F_00.

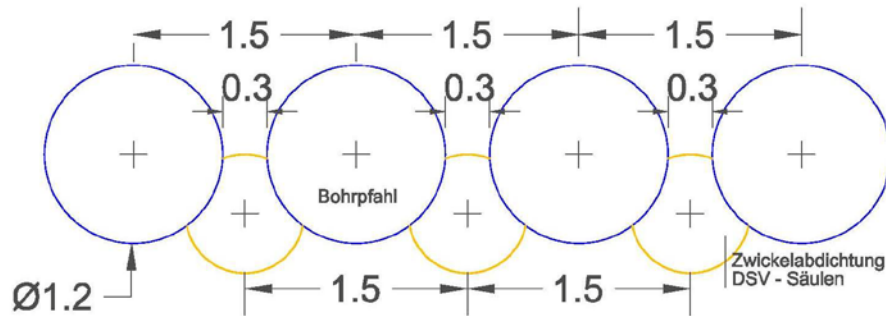


Bild 3.5 Aufgelöste Bohrpfahlwand

Der Bewehrungsgehalt wird mit 80 kg pro Laufmeter Bohrpfahl angenommen.

Für Teilstrecken³⁵ des Ost- und Westportals werden überschnittene Bohrpfahlwände (siehe Bild 3.6) mit einem Systemabstand von 1 m und einem Durchmesser von 1,20 m hergestellt:

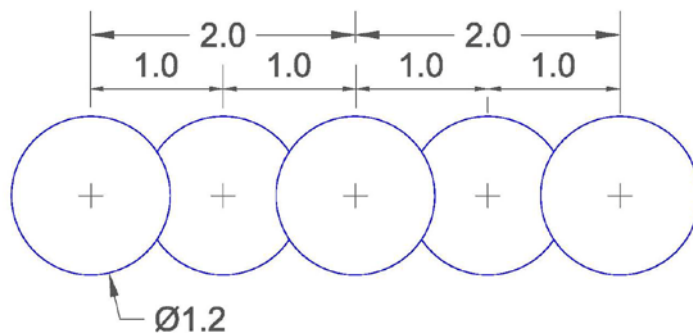


Bild 3.6 Überschnittene Bohrpfahlwand

In der folgenden Tabelle werden die Massen für die Bohrpfahlarbeiten angeführt:

Bohrpfahlarbeiten					
Beschreibung	Stück	Ø-Länge	Gesamtl.	Bewehrung	Volumen
	[-]	[lfm]	[lfm]	[to]	[m³]
Portal OST (überschnittenen BP)	86	19	1.634	65,36	1.848,0
Tunnelstrecke (aufgelöste BP)	804	22	17.710	1.416,80	20.029,5
Portal WEST (überschnittene BP)	153	16	2.395	95,80	2.708,7
Gesamtsumme	1.043	21	21.739	1.577,96	24.586,2

Tabelle 3.10 Werte aus der Massenermittlung der Bohrpfahlarbeiten

³⁵ Portal Ost: Stationierung km 0+067 bis km 0+109 und
Portal West: Stationierung km 0+712 bis km 0+789

Für die Ermittlung des Platzbedarfs und des Abstands der Bohrkolonnen untereinander wird der Achsabstand der Bohrpfahlwände im Bild 3.7 angegeben.

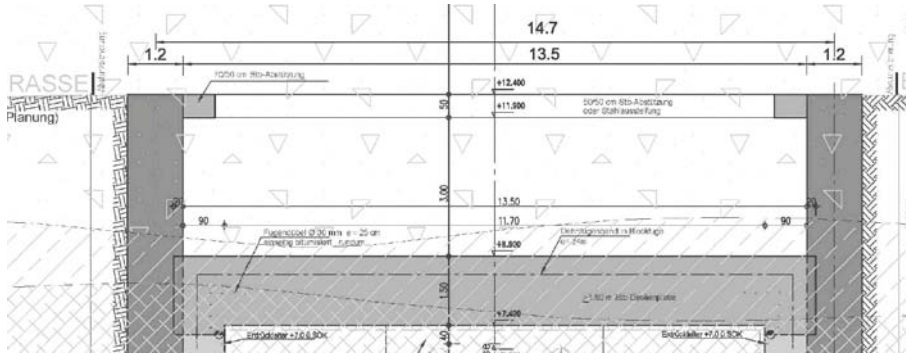


Bild 3.7 Abstand der Bohrpfahlwände³⁶

3.3.2 Greiferbohren vs. Kellybohren

Bei der Wahl der Bauverfahren stehen aufgrund der speziellen Bodenverhältnisse zwei Möglichkeiten zur Auswahl:

- Pfahlherstellung im Greiferbohrverfahren
- Pfahlherstellung im Kellybohrverfahren mit Verrohrung

In Tabelle 3.11 werden die benötigten Randbedingungen angegeben und die Spezifika der Bauverfahren genannt.

Bohrpfahlarbeiten			
Beschreibung	Vorgaben Tunnel Srejach	Greiferbohrverfahren	Kellybohrverfahren
Baugrund	quartäre Kiese+Sande sandiger bzw. breiig weicher Seeton	überall anwendbar, außer Fels, Grundwasser	wechselnde Bodenschichten, nicht standfest, auch mit Bohrhindernissen, Grundwasser
Bohrlochwandung	durch Bohrrrohr gestützt	durch Bohrrrohr gestützt	verrohrt
Pfahleigenschaften: max. Außendurchmesser [cm]	120	300	150
Pfahltyp	bewehrte Pfähle	unbewehrte, bewehrte Pfähle, Bohrloch für Träger, Pfahlwände u.a.m.	unbewehrte oder bewehrte Pfähle, Bohrloch für Träger, Fertigteile u.a.m.
max. Länge ³⁷ [m]	24	Über 100	52 ³⁸

Tabelle 3.11 Gegenüberstellung der möglichen Pfahlherstellungsverfahren³⁹

³⁶ Vgl. ILF - Ö&M.: Einreichprojekt 2008, Einlage 4202 - Objektplanung Tunnel, K_MA_EB_TB_17_430_F_00.

³⁷ Vgl. Hudelmaier, K. F.: Spezialtiefbau Kompendium Band II, Verfahrenstechnik und Geräteauswahl; S. 15 und S. 38.

³⁸ Geräteklasse LB 28

Die Tiefe und der Durchmesser der Bohrung können als Auswahlkriterium vernachlässigt werden, da ein Durchmesser von 1,20 m und eine maximale Pfahllänge von 24 m von beiden Verfahren bewältigt wird.

Die benötigte Arbeitsfläche und die Einflussnahme auf den allgemeinen Bauablauf werden im Folgenden gegenübergestellt. Die Zusammenstellung der Kolonnen unterscheidet sich lediglich bei den Trägergeräten. Die Fläche von circa 30 m² für Bohrwerkzeug und Zubehör, wie Kontraktorrohre, Bohreimer u.a.m. ist ebenso gleich groß. Im Nachlauf wird bei den Verfahren ein Seilbagger (HS 835 HD) für den Einbau des Betons eingesetzt (Servicebagger).

Der wesentliche Unterschied im Platzbedarf wird durch die Arbeitsradien und die Größe der Trägergeräte bestimmt. Der Platzbedarf des Bohrgerätes der Geräteklasse LB 28 für das Kellybohren ist um circa 35 % geringer als der für einen Hydroseilbagger der Klasse LB 855 HD für das Greiferbohren. Zusätzlich wird bei der Herstellung der Pfähle im Greiferbohrverfahren eine Verrohrungsmaschine für das Eindrehen der Bohrröhre benötigt, welche am Trägergerät angehängt ist. Damit ein schnelleres Umsetzen des Seilbaggers unter Berücksichtigung der Verrohrungsmaschine möglich ist, wird das Trägergerät in Achsrichtung der Bohrpfahlwand aufgestellt (siehe Bild 3.8 links). Ein Teil des Raupenfahrwerkes steht somit auf der Baustraße. Werden die Arbeitsradien des Gerätes beachtet, ergibt sich ein erheblicher Einfluss auf den allgemeinen Baustellenverkehr. Beim Kellybohrverfahren hingegen kann der Standort des Bohrgerätes an die örtliche Situation angepasst werden. Der benötigte Platzbedarf im Bild 3.8 wird in Metern angegeben, da in diesen Streckenabschnitten von 42 m beim Greiferbohrverfahren bzw. 32 m beim Kellybohrverfahren keine weiteren Arbeiten innerhalb des Baufeldes durchgeführt werden können.

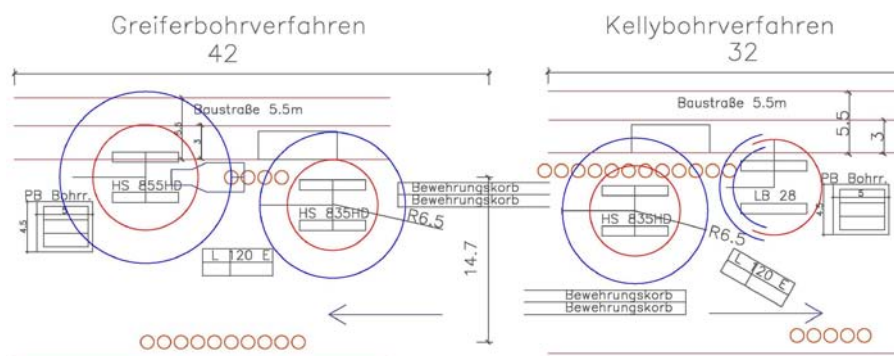


Bild 3.8 Platzbedarf der Pfahlerstellungsverfahren

³⁹ Vgl. Schmidt, H.G.; Seitz, M. J.: Bohrpfähle; S. 142ff.

Der in der Literatur angegebene Vergleich weist auf höhere Leistungen des Drehbohrverfahrens ohne freies Grundwasser hin.⁴⁰ Im Zuge der Vorarbeiten für die Pfahlarbeiten werden Vakuumbrunnen abgeteuft und der Grundwasserspiegel gesenkt.

Unter Berücksichtigung aller zuvor genannten Einflussfaktoren wird das verrohrte Kellybohrverfahren vor allem aufgrund des geringeren Platzbedarfs und der höheren Leistung gewählt.⁴¹

3.3.3 Baustelleneinrichtung

Jeder Bohrkolonne wird ein Container mit Kleingeräten und Werkzeugen zur Verfügung gestellt, um Wartungs- und Reparaturarbeiten vor Ort durchführen zu können. Darin sollten Werkzeuge wie beispielsweise Notstromaggregat, Kleinschweißgerät, Wasserschläuche und Stromkabel enthalten sein. Fahrten wegen fehlender Werkzeuge und Geräte können zu unnötigen Wartezeiten und daraus resultierenden Kosten führen.⁴²

Auf dem Baufeld sind auch Lagerstätten für die anzuliefernden Bewehrungskörbe zu beachten. Die Lage ist so festzulegen, dass der Bauablauf nicht gestört wird, die Transportwege jedoch kurz gehalten werden. Bei einer durchschnittlichen Tagesleistung von 8 Bohrpfählen (4 Bohrkolonnen), einer mittleren Länge der Pfähle von 21 m und der Tatsache, dass die Bewehrungskörbe aufgrund der Länge⁴³ nicht in einem Stück geliefert werden, ist die Wahl der Lagerplätze für den Ablauf und den Platzbedarf durchaus relevant.

Aus den angeführten Gründen wird eine Fläche von circa 110 m² für eine Tagesleistung, wenn 2 Bewehrungskörbe übereinander gestapelt werden (circa 13,65 m²/Stk), benötigt.⁴⁴

3.3.4 Geräte- und Personalbedarf

Beim Tunnelprojekt Srejach muss bei der Wahl der Bohrgeräte für die Pfahlherstellung speziell auf die Antriebsleistung, Kräfte und Momente des Drehbohrgerätes geachtet werden.

⁴⁰ Vgl. Schmidt, H.G.; Seitz, M. J.: Bohrpfähle; S. 145.

⁴¹ Unter der Prämisse, dass der Wasserzutritt zu vernachlässigen ist.

⁴² Vgl. Buja, H. O.: Handbuch des Spezialtiefbaus, Geräte und Verfahren; S. 215.

⁴³ Vgl. Schmidt, H.G.; Seitz, M. J.: Bohrpfähle; S. 310.

⁴⁴ Vgl. dazu auch den Lagerungskoeffizient; Heck, D.: Baubetriebslehre VU, Skriptum TU-Graz WS 09/10; S. 51.

Zusätzlich ist die Mast- bzw. Verfahrhöhe bei verrohrten Bohrungen für die Leistung entscheidend, da die maximale Länge der einbaubaren Bohrröhr-Schüsse vorgegeben wird. Das Schrauben an den Verbindungen stellt einen wesentlichen Zeitfaktor dar und kann beim Einsatz von längeren Bohrröhren verkürzt werden.⁴⁵

Aus den angeführten Gründen wird ein Gerät der Klasse LB 28 mit einer Leistung von 350 kW, einem Gesamtgewicht von 95 to, einem maximalen Drehmoment von 286 kNm und einer Höhe von 26 m gewählt.⁴⁶

Aus Tabelle 3.12 können die für die Bohrfahlarbeiten benötigten Geräte sowie deren Anzahl und Leistung entnommen werden.

Bohrfahlarbeiten			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
4	Drehbohrgerät	Liebherr LB 28	350
4	Servicebagger (Seilbagger)	Liebherr HS 835 HD	180-270
2	Radlader	Volvo L 120 E	165
1	Dumper	Volvo A 30 E	252

Tabelle 3.12 Gerätebedarf Bohrfahlarbeiten

Durch den Einsatz von Servicebaggern kann ein rascherer Bohrfortschritt gewährleistet werden, da Tätigkeiten wie zum Beispiel das Einheben des Bewehrungskorbes oder das Einbringen des Betons (Manipulation der Kontraktorrohre) mit Hilfe des Seilbaggers durchgeführt werden können. Zeitgleich kann das folgende Bohrfahlloch mit dem Drehbohrgerät abgeteuft werden.

Die Servicebagger sind mit Raupenfahrwerken ausgestattet und haben Dienstgewichte von 60 to. Auswirkungen auf die Oberfläche des Arbeitsplanums sind auch hier zu beachten.

Für das Abteufen der Bohrfähle ist bei Masthöhen von 26 m die Standsicherheit ein entscheidendes Kriterium. Diese wird zum einen durch das Gewicht des Gerätes und zum anderen durch die Oberfläche der Arbeitsebene bestimmt. Aus diesem Grund werden die Radlader nicht ausschließlich zum Laden des Bohrgutes, sondern auch für die Instandhaltung der Arbeitsebene eingesetzt.⁴⁷

⁴⁵ Vgl. Bauer, S.: Entwicklungen in der Bohrtechnik; http://www.baumaschine.de/Portal/Tbg/2001/heft6/a411_417.pdf; Datum des Zugriffs: 01.08.2010 07:12; S. 415.

⁴⁶ Siehe Datenblatt Anhang A.11

⁴⁷ Vgl. Bauer, S.: Entwicklungen in der Bohrtechnik; http://www.baumaschine.de/Portal/Tbg/2001/heft6/a411_417.pdf; Datum des Zugriffs: 01.08.2010 07:12; S. 415.

Für den fortwährenden Abtransport des Bohrgutes wird ein Dumper mit einem Fassungsvermögen von 17,50 m³ eingesetzt. Das anfallende Material wird auf die etwa 3 km entfernte Deponie Peratschitzen verführt.

Der Flächenbedarf von circa 30 m² der wichtigsten Bohrwerkzeuge für die Herstellung der Bohrpfähle darf in der Betrachtung der beengten Platzverhältnisse nicht vernachlässigt werden.⁴⁸

- Kellystange (MD 28/3/27)
- Kurze Bohrschnecke
- Bohreimer (zum Säubern der Bohrlochsohle)

Für den Einbau des Betons wird ebenso Zubehör, wie beispielsweise Kontraktorrohre oder Betoniertrichter, benötigt.⁴⁹

Die Anzahl der Arbeitskräfte ergibt sich zum größten Teil aus der Menge der Geräte. Zusätzlich wird jeder Bohrkolonne ein Helfer zur Seite gestellt. In Tabelle 3.13 wird das benötigte Personal angeführt:

Bohrpfahlarbeiten	
Anzahl	Personal
1	Bauleiter
1	Techniker
1	Polier
11	Geräteführer
4	Bohr-, Betonierhelfer

Tabelle 3.13 Personalbedarf bei den Bohrpfahlarbeiten

3.3.5 Leistungsansätze für das Zeit-Wege-Diagramm

Für die Erstellung des Zeit-Wege-Diagramms werden folgende Leistungswerte für das verrohrte Kellybohrverfahren angesetzt.⁵⁰

- Überschnittene Bohrpfahlwände: 40 Laufmeter⁵¹ pro Tag (LB 28)
- Aufgelöste Bohrpfahlwände: 45 Laufmeter pro Tag (LB 28)

⁴⁸ Vgl. Schmidt, H.G.; Seitz, M. J.: Bohrpfähle; S. 216.

⁴⁹ Vgl. Buja, H. O.: Handbuch des Spezialtiefbaus, Geräte und Verfahren; S.186.

⁵⁰ Vgl. Fachgespräch mit Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck, Universitätsprofessor am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft TU-Graz und Herrn Dipl.-Ing. Michael Werkl, Universitätsassistent am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft TU-Graz, am 20.05.2010.

⁵¹ Ein Laufmeter entspricht einem Bohrmeter (keine Leerbohrung).

Die Leistungswerte werden zusätzlich im Zeit-Wege-Diagramm an die unterschiedlichen Pfahllängen angepasst. An einem Arbeitstag können somit nur ganze Bohrpfähle erzeugt werden. Die adaptierten Werte (siehe Tabelle 3.14) unterschreiten die angesetzten Leistungswerte, außer in den unten angeführten Teilstrecken:

- Stationierung km 0+117 bis km 0+225: Die Erhöhung der Leistungswerte in diesem Bereich kann zum einen durch die besseren Bodenverhältnisse (sandiger Seeton) und zum anderen durch die bereits erfolgte Einarbeitungszeit begründet werden.
- Stationierung km 0+734 bis km 0+779 und Stationierung km 0+779 bis km 0+789: Die Leistung von 40 Pfahlmetern pro Tag wird auf 44 bzw. 45 m erhöht, da die Bohrkolonnen des Ostportals auch im Westportal die überschnittenen Bohrpfahlwände herstellen werden.

Bohrpfahlarbeiten				
Stationierung [km]	Länge [m]	Pfähllänge [lfm]	Leistungswert	
			[Stk/AT]	[lfm/AT]
0+067	50	19	2	38
0+117				
0+225	108	24	2	48
0+520	295	22	2	44
0+590	110	20	2	40
0+700	70	22	2	44
0+734	34	19	2	38
0+779	45	15	3	45
0+789	10	11	4	44

Tabelle 3.14 Leistungswerte für eine Drehbohrkolonne

3.3.6 Einflüsse auf die Leistung der Bohrpfahlarbeiten

Im folgenden Kapitel wird auf Ursachen und Auswirkungen von Störungen auf die Bohrpfahlleistung beim Tunnelprojekt Srejach eingegangen.

Die Wahl des Bohrgerätes ist, wie bereits erwähnt, eine wichtige Entscheidung, welche erheblichen Einfluss auf die Bohrpfahlleistung hat. Einerseits wegen der beschriebenen Auswahlkriterien, wie beispielsweise die Verfahrenhöhe oder die Antriebsleistung, und andererseits wegen der Zuverlässigkeit des Gerätes. Unterbrechungen aufgrund von

Logistikproblemen, Reparatur- und Wartungsarbeiten stellen bei der Herstellung der Bohrpfähle einen wesentlichen Zeitfaktor dar.⁵²

Die Standzeiten aufgrund logistischer Probleme können durch den Einsatz von Servicebaggern verringert werden, da der Bohrvorgang vom Betoniervorgang entkoppelt ist.

Weitere Ursachen, die Auswirkungen auf die Leistung bei der Herstellung von Bohrpfählen haben, sind Fehler beim Einmessen oder beim Abstecken der Pfähle. Während des Betoniervorgangs kann auch das Mitziehen des Bewehrungskorbes zu zeitlichen Abweichungen führen.⁵³

3.3.7 Einflüsse auf den Bauablauf

In der ÖNORM EN 1536 werden Hinweise zur Ausführung von Bohrpfählen gegeben, wobei einige zu Problemen im weiteren Bauablauf führen können:

- Nichteinhaltung der geometrischen Herstelltoleranzen laut ÖNORM EN 1536: Die Lageabweichung des Ansatzpunktes von den Pfählen in der Höhe des Arbeitsplanums darf maximal 0,12 m für Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 1,20 m (10 %), und die Neigungsabweichung maximal 2 % ($\pm 0,02$ m/m) betragen. Für die Ermittlung der Ausführungsabweichungen wird der Schwerpunkt der Längsbewehrung als Pfahlmitte angenommen. Unter Lageabweichung wird der waagrechte Abstand der Achse des fertigen Pfahles von der planmäßigen Bohrpfahlachse bezeichnet. Bei Vereinbarung anderer Herstellungstoleranzen aufgrund der Baugrundverhältnisse u.a.m. sind diese vor Beginn der Bauarbeiten festzulegen.
- Zu kleines Voreilmaß der Bohrröhre gegenüber dem Aushub: Bei zu geringem Voreilmaß kann es zum Nachbrechen der Bohrlochwand kommen, wodurch Hohlräume außerhalb der Verrohrung entstehen können. Somit kann es beim Ziehen der Bohrröhre zur Einschnürung des Bohrpfahls kommen.
- Zu schnelles Ziehen der Bohrröhre kann beim Betoniervorgang, unter Zugrundelegung der vorliegenden Bodenverhältnisse, ebenso zur Einschnürung des Bohrpfahls führen.⁵⁴

⁵² Vgl. Bauer, S.: Entwicklungen in der Bohrtechnik; http://www.baumaschine.de/Portal/Tbg/2001/heft6/a411_417.pdf; Datum des Zugriffs: 01.08.2010 07:12; S. 411ff.

⁵³ Vgl. Buja, H. O.: Handbuch des Spezialtiefbaus, Geräte und Verfahren; S. 218ff.

⁵⁴ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1536, Ausgabe 1999; S. 25ff.

3.4 Düsenstrahlarbeiten

Das Versuchsfeld Untersammelsdorf ist für die rechnerische Ermittlung des Zeitbedarfs der Düsenstrahlarbeiten aufgrund der vergleichbaren Bodenverhältnisse sehr aufschlussreich.⁵⁵ Die Leistungsansätze und der Materialverbrauch errechnen sich deshalb aus den gewonnenen Werten des Versuchsfeldes. Die Düsenstrahlarbeiten werden aufgrund der unterschiedlichen Düsparameter wie folgt unterteilt:

- DSV - Zwickelabdichtung
- DSV - Sohle

3.4.1 Örtliche Gegebenheiten und Grundlagen für die Massenermittlung

Der Materialverbrauch setzt sich aus dem Suspensionsverbrauch und dem benötigten Wasser für den Vorgang des Bohrens und Vorschneidens zusammen.

Für die Herstellung der Suspension steuert u.a. der Wasser/Bindemittel-Wert (W/B-Wert) den Wasser- und Bindemittelintrag. Aus dem Versuchsfeld ergibt sich für das Projekt Srejach ein W/B-Wert von 1. Daraus resultieren folgende Abhängigkeiten:⁵⁶

- Suspensionswichte: 1,52 [to/m³]
- Wasserverbrauch: 0,76 [m³ je m³ Suspension]
- Bindemittelverbrauch: 0,76 [to je m³ Suspension]

⁵⁵ Vgl. Höhn, S.: Versuchsfeld Untersammelsdorf - Analyse von baubetrieblich-wirtschaftlich relevanten Prozessparametern beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit TU-Graz; S. 5.

⁵⁶ Vgl. Höhn, S.: Versuchsfeld Untersammelsdorf - Analyse von baubetrieblich-wirtschaftlich relevanten Prozessparametern beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit TU-Graz; S. 49.

3.4.1.1 DSV - Zwickelabdichtung

Der Systemabstand von den Zwickelabdichtungen wird im folgenden Bild dargestellt.

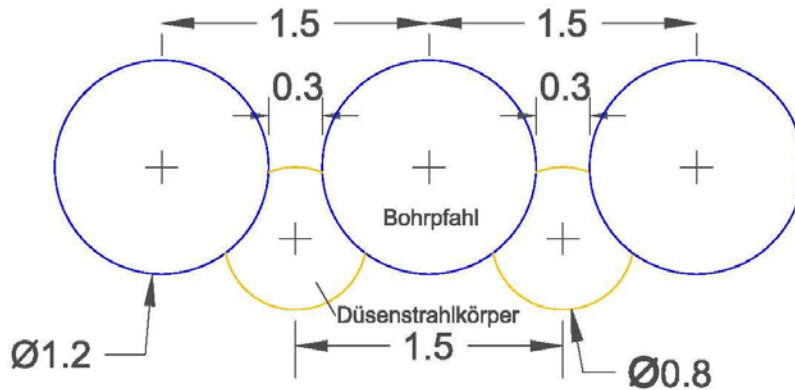


Bild 3.9 Geometrische Bedingungen für die DSV - Zwickelabdichtungen

Für die Volumsberechnung der Düsenstrahlelemente wird vereinfacht eine Zylinderform mit einem Durchmesser von 80 cm angenommen. Der tatsächlich erzeugte Querschnitt ist schwierig zu ermitteln, da bei der Ausführung der Düsenstrahlarbeiten der erodierende Flüssigkeitsstrahl durch die bestehenden Bohrpfähle begrenzt wird. Aufgrund dessen beziehen sich sämtliche Werte, im Gegensatz zu den Düsenstrahlarbeiten - Sohle, auf den Laufmeter Säule und nicht auf den m³. Die Lage zwischen den Pfählen kann daher nicht genau bestimmt werden.

Die angesetzten Werte für die Leistung und den Materialverbrauch basieren auf den protokollierten Werten aus dem Versuchsfeld, welche im „Schlussbericht Düsenstrahlverfahren“ von der hbpm Ingenieure GmbH angegeben werden. Die Auswertung der Daten wird im Anhang A.9 dargestellt. Daraus können folgende Werte ermittelt werden:

Materialverbrauch DSV - Zwickelabdichtung		
	[m ³ /lfm Säule]	[m ³ /m ³ Säule]
Suspensionsverbrauch (Düsen)	0,500	0,995
Wasserverbrauch Bohren	0,113	0,224
Wasserverbrauch Vorschneiden	0,330	0,657

Tabelle 3.15 Materialverbrauch für die DSV - Zwickelabdichtungen

Die DSV - Zwickelabdichtungen werden ausschließlich im Bereich der aufgelösten Bohrpfahlwände hergestellt, somit beginnen die Arbeiten bei Stationierung km 0+109 und enden bei Stationierung km 0+712.

Aus dem Verhältnis Rückfluss zu hergestellter DSV - Kubatur wird beim Versuchsfeld ein Faktor von 5,20 ermittelt⁵⁷. Mit diesem Wert kann die voraussichtlich entstehende Rückflussmenge berechnet werden.

3.4.1.2 DSV - Sohle

Für die Betrachtungen der Düsenstrahlarbeiten an der Sohle werden die Parameter der Säule PS 4N mit einem Durchmesser von 1,50 m aus dem Versuchsfeld angesetzt.⁵⁸

Bei einer planmäßig lückenlosen Ausführung ohne Berücksichtigung von Bohrloch- und Bohransatzpunktabweichungen beträgt der Rasterabstand 1,30 m und die daraus resultierende Anzahl von Bohransatzpunkten ergibt 0,6833 Stk/m².⁵⁹ Zur Nachvollziehbarkeit werden die Abstände der Düsenstrahlsäulen im folgenden Grundriss abgebildet:

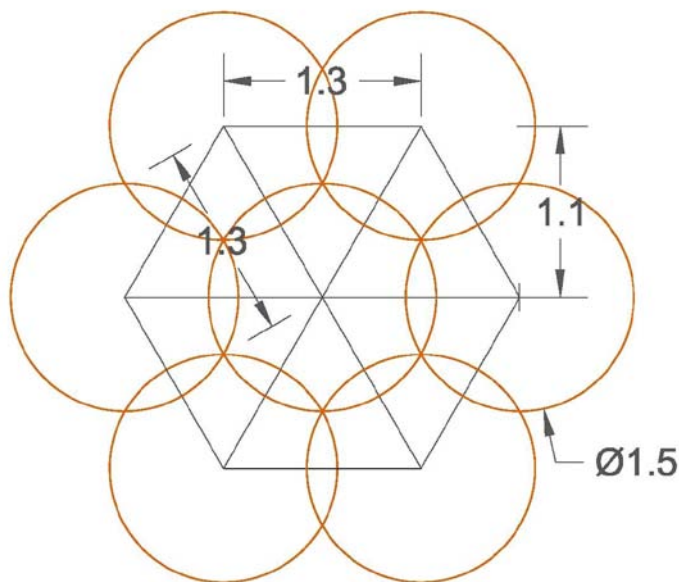


Bild 3.10 Grundriss Düsenstrahlkörper - Sohle

Aus der zu bearbeitenden Sohlfläche und der Anzahl der Bohransatzpunkte lässt sich die benötigte Stückzahl an Säulen ermitteln. Die Grundfläche wird um einen Geometrie-Faktor in der Höhe von 5 % der Grundrissfläche erweitert, da die Düsenstrahlkörper von den Bohrpfehlen

⁵⁷ Vgl. hbpm Ingenieure GmbH: Schlussbericht Düsenstrahlverfahren; S. 138.

⁵⁸ Vgl. E-Mail von Herrn Dipl.-Ing Tobias Schachinger, ÖBB-Infrastruktur AG; Datum: 11.06.2010 15:51 Uhr.

⁵⁹ Vgl. Höhn, S.: Versuchsfeld Untersammelsdorf - Analyse von baubetrieblich-wirtschaftlich relevanten Prozessparametern beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit TU-Graz; S. 108.

begrenzt werden und es folglich zu Abweichungen des Rasters im Bohrpfahlbereich kommt.⁶⁰

Die Mächtigkeit der Sohle variiert und liegt im Bohrpfahlbereich bei 2,0 m in der Tunnelmitte bei 3 m. Die mittlere Stärke beträgt 2,67 m.⁶¹

Aus den im Kapitel 3.4.5.2 angegebenen Parametern für die Versuchssäule PS 4N lässt sich der Materialverbrauch wie folgt errechnen:

Suspensionsverbrauch DSV - Sohle (Düsen)				
Ziehzeit Düsen	4,44 [min/lfm]	x	Suspensionsdurchfluss	0,42 [m ³ /min]
	1,86 [m ³ /lfm]	x	Raster	0,68 [Stk/m ²]
		=	Suspensionsverbrauch	1,26 [m ³ /m ³ Sohle]

Für die Ermittlung des Wasserverbrauchs beim Bohrvorgang wird davon ausgegangen, dass 100 Liter Wasser pro Laufmeter Bohrung benötigt werden.

Wasserverbrauch Vorschneiden DSV - Sohle				
Ziehzeit Vorschneiden	3,35 [min/lfm]	x	Durchfluss	0,49 [m ³ /min]
	1,64 [m ³ /lfm]	x	Raster	0,68 [Stk/m ²]
		=	WV. Vorschneiden	1,12 [m ³ /m ³ Sohle]
Wasserverbrauch Bohren DSV - Sohle				
Annahme 100 [lit/lfm]	0,10 [m ³ /lfm]	x	Bohrtiefe	19,00 [lfm]
	1,90 [m ³ /Säule]	x	Raster	0,68 [Säule/m ²]
	1,30 [m ³ /m ²]	/	Sohlstärke	2,67 [lfm]
		=	WV. Bohren	0,49 [m ³ /m ³ Sohle]

Aus den Berechnungen kann ein Wasserverbrauch für das Vorschneiden und Bohren von 1,61 m³ pro m³ Sohle ermittelt werden.

Das bereits erwähnte Verhältnis von Rückfluss zu hergestellter DSV - Kubatur ist bei den Düsenstrahlarbeiten - Sohle geringer und beträgt 3,50 (3,50 m³ RF/m³ Sohle).

⁶⁰ Vgl. Fachgespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Michael Werkl, Universitätsassistent am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft TU-Graz, am 13.06.2010.

⁶¹ Vgl. Höhn, S.: Versuchsfeld Untersammelsdorf - Analyse von baubetrieblich-wirtschaftlich relevanten Prozessparametern beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit TU-Graz; S. 85.

In Tabelle 3.16 werden die daraus resultierenden Massen für die Düsenstrahlarbeiten zusammengefasst dargestellt.

Düsenstrahlarbeiten					
Beschreibung	Stück	Bohrlänge	DSV-Kubatur	Suspension	Rücklauf
	[-]	[lfm]	[m³]	[m³]	[m³]
DSV - Zwickel (0+109 - 0+117)	10	10	50	50	260
DSV - Zwickel (0+117 - 0+712)	794	15	5.987	5.955	31.132
DSV - Sohle	5.446	19	25.696	32.377	89.936
Gesamtsumme	6.250		31.733	38.382	121.328

Tabelle 3.16 Werte aus der Massenermittlung der Düsenstrahlarbeiten

3.4.2 Bauverfahren

Die Verfahrensarten zur Herstellung von Düsenstrahlelementen wurden im Versuchsfeld Untersammelsdorf getestet. Zur Ausführung kommt das 1-Phasensystem, wobei der Boden mit Wasser vorgeschritten wird. Die Versuche ohne Vorschneiden brachten in den angetroffenen Bodenverhältnissen keine zufriedenstellenden Ergebnisse.⁶²

Das Gestänge wird mittels unverrohrtem Rotationsspülverfahren abgeteuft.⁶³

3.4.3 Baustelleneinrichtung

Die in den folgenden Kapiteln angegebene Leistung der Düsenstrahlarbeiten kann nur erreicht werden, wenn die Größe der Baustelleneinrichtungsfläche darauf abgestimmt wird. Aus dem täglichen Materialverbrauch wird die benötigte Größe der Mischanlage ermittelt. Diese kann mit der Leistung von bis zu 20 m³/h zwei Bohrkolonnen versorgen. Die Geräteklasse der Hochdruckpumpe ergibt sich auf der einen Seite aufgrund des benötigten Drucks für Vorschneiden und Düsen und auf der anderen Seite aus der Förderleistung, welche durch die Parameter im Kapitel 3.4.5 festgelegt ist. Für die Berechnung der Anzahl der Silos wird davon ausgegangen, dass ein Vorrat von 3 Arbeitstagen auf der Baustelle deponiert werden kann.

⁶² Vgl. Höhn, S.: Versuchsfeld Untersammelsdorf - Analyse von baubetrieblich-wirtschaftlich relevanten Prozessparametern beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit TU-Graz; S. 79.

⁶³ Vgl. hbpm Ingenieure GmbH: Schlussbericht Düsenstrahlverfahren; S. 126.

Der maximale Wasserverbrauch der Düsenstrahlarbeiten kann unter Berücksichtigung folgender Annahmen ermittelt werden:

- Es werden 6 Bohrgeräte eingesetzt, welche den Vorgang des Vorschneidens bei der Errichtung der DSV - Sohle gleichzeitig ausführen. Das entspricht einem Wasserverbrauch von 8,167 Liter pro Sekunde für jedes Gerät.⁶⁴ Daraus errechnet sich ein Wasserbedarf von 49 [l/s].
- Der tägliche Wasserverbrauch für die Herstellung der Suspension wird auf die Sekunde umgerechnet: 4,1 [l/s]

Der maximale Wasserbedarf beträgt somit 53 [l/s]. Aus diesem Grund wäre der Einsatz eines Wasservorratsbehälters logisch.

Für die Installation der Baustelleneinrichtung wird ein mobiler Kran eingesetzt, da das Gewicht und die Abmessungen der Einzelgeräte nicht zu vernachlässigen sind. Als Beispiel kann das Gewicht einer Hochdruckpumpe mit 10,6 to angeführt werden. Die dazugehörigen Abmessungen werden im folgenden Bild dargestellt.

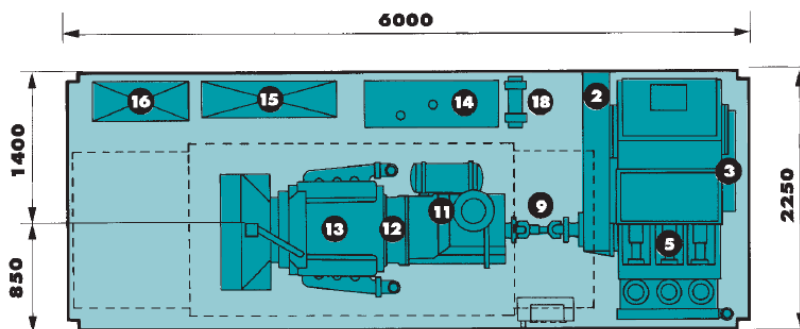


Bild 3.11 Abmessungen einer Hochdruckpumpe in [mm] (Casagrande P 550)⁶⁵

Für die Ermittlung der Größe der Absetzbecken wird unter Berücksichtigung der im Kapitel 3.4.5 angegebenen Leistungswerte eine maximale Rückflussmenge von circa 575 m³ pro Arbeitstag ermittelt. Bei einer Beckentiefe von 1,50 m wird eine Grundfläche von circa 385 m² für eine Tagesmenge benötigt. Die Breite des Beckens sollte 13 m nicht überschreiten, um das Absetzbecken vom Rand aus mit einem Bagger mittlerer Geräteklasse (z.B. Liebherr A 312) ausheben zu können.⁶⁶

Wird für das Aushärten des Rückflusses ein Zeitbedarf von 5 Arbeitstagen angenommen, müssen 6 Absetzbecken hergestellt werden, damit am ersten Arbeitstag in der folgenden Woche ein leeres Becken für den

⁶⁴ siehe Tabelle 3.2.: Wasserdurchfluss Vorschneiden

⁶⁵ Siehe Datenblatt Anhang A.11

⁶⁶ Ohne es befahren zu müssen

Rückfluss zur Verfügung steht. Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Beckengröße und bei einem Beckenabstand von 3 m wird ein Platzbedarf von circa 2.800 m² benötigt. Sollten jedoch für den Aushärteprozess 3 Arbeitstage ausreichen, wird ein Platzbedarf von 1.800 m² (3+1 Absetzbecken) beansprucht.

Die Anzahl der Becken ist von der Dauer des Aushärtungsprozesses des Rückflusses abhängig. Diese Zeitspanne wird auch von den Witterungsverhältnissen beeinflusst, in Folge dessen würde eine Überdachung der Becken eine logische Maßnahme darstellen.

Für das Verladen und den Transport des ausgehärteten Rückflussmaterials müssen während der Düsenstrahlarbeiten ein Mobilbagger und ein LKW auf der Baustelle vorgehalten werden.

In Tabelle 3.17 werden die Geräte für die Baustelleneinrichtung angegeben, wobei etwaige Kleingeräte nicht beachtet werden.

Düsenstrahlarbeiten - Baustelleneinrichtung			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
3	Mischanlage	Casagrande Mix 20	
6	Zementsilo	-	-
6	Hochdruckpumpe	Casagrande P 550	316
1	Mobilbagger	Liebherr A 312	81
1	LKW	MB Actros 3-Achser	315

Tabelle 3.17 Geräte für die Baustelleneinrichtung der Düsenstrahlarbeiten

3.4.4 Geräte- und Personalbedarf

Bei der Wahl des Bohrgerätes ist vorrangig die Masthöhe zu betrachten. Das Nachsetzen der Gestänge ist sehr zeitintensiv und sollte vermieden werden.⁶⁷ Aus diesem Grund wird ein Gerät der Klasse Casagrande C 14 gewählt, um eine Monoblockbohrung durchführen zu können. Die Geräte erreichen Masthöhen bis zu 31 m.

Damit das Arbeitsplanum bei den Düsenstrahlarbeiten für die 31 to schweren Geräte befahrbar bleibt, werden Hydraulikbagger mit einem Gewicht von 7 to für die Erhaltung der Arbeitsebene eingesetzt (siehe Tabelle 3.18). Zusätzlich werden die Bagger für das Erstellen von Rücklaufgräben für die Suspension und für die Überstellung der 1500 kg schweren Schlauchpumpen benötigt. Die maximale Förderleistung einer Schlauchpumpe dieser Größenordnung liegt bei 50 m³/h.

⁶⁷ Vgl. Buja, H. O.: Handbuch des Spezialtiefbaus, Geräte und Verfahren; S. 889.

Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtung			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
2	Bohrgerät	Casagrande C 14	165
1	Hydraulikbagger	Komatsu-PC80MR-3	47
2	Schlauchpumpe	Bauer HP 50	30
2	Kompressor	Mobilair M 57	36
Düsenstrahlarbeiten - Sohle			
4	Bohrgerät	Casagrande C 14	165
2	Hydraulikbagger	Komatsu-PC80MR-3	47
4	Schlauchpumpe	Bauer HP 50	30
4	Kompressor	Mobilair M 57	36

Tabelle 3.18 Gerätebedarf Düsenstrahlarbeiten

In Tabelle 3.19 wird das Personal für die Düsenstrahlarbeiten aufgelistet. Der größte Teil der Arbeiter wird, wie bei den Bohrpfahlarbeiten, für die Steuerung der Geräte eingesetzt. Weiters muss dabei auch Personal für die Bedienung der Mischanlagen und für die Manipulation des Rücklaufes berücksichtigt werden.

Düsenstrahlarbeiten	
Anzahl	Personal
1	Bauleiter
2	Techniker
2	Polier
11	Geräteführer
3	Mischerfahrer
6	Helfer

Tabelle 3.19 Personalbedarf Düsenstrahlarbeiten

3.4.5 Leistungsansätze für das Zeit-Wege-Diagramm

Die technischen Vorgänge zur Ermittlung des Zeitbedarfs für die Düsenstrahlarbeiten sind von den Geräten abhängig. Folgende Unterteilung der Vorgänge wird dabei getroffen:⁶⁸

- Auf-/Umstellen der Geräte
- Bohren
- Messen der Bohrlochabweichung
- Vorschneiden
- Düsen
- Messen der Reichweite
- Reinigung und Wartung

Die Zeit für das Auf- und Umstellen der Geräte wird bei den Düsenstrahlarbeiten mit 12 Minuten pro Düsenstrahlsäule angenommen.⁶⁹

Für die Messung der Bohrlochabweichung und der Reichweite des Durchmessers wird davon ausgegangen, dass an jeder 5. Säule eine Messung durchzuführen ist, wobei für eine Säule 20 Minuten pro Messung benötigt werden.⁷⁰

Der Zeitbedarf für Reinigung und Wartung wird vom Autor mit circa 30 min pro Tag angesetzt, um die Leistungsfähigkeit der Geräte, wie zum Beispiel der Mischanlage u.a.m. erhalten zu können.

Alle weiteren technischen Vorgänge werden aufgrund der unterschiedlichen Düsensparameter in den nachfolgenden Kapiteln getrennt behandelt.

3.4.5.1 Leistungsansätze für die Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtung

Die Parameter und die Leistung der Düsenstrahlarbeiten für die Zwickelabdichtungen ergeben sich, wie bereits erwähnt, aus den protokollierten Werten des Versuchsfeldes.

⁶⁸ In Anlehnung an: Höhn, S.: Versuchsfeld Untersammelsdorf - Analyse von baubetrieblich-wirtschaftlich relevanten Prozessparametern beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit TU-Graz; S. 89ff.

⁶⁹ Vgl. Fachgespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Michael Werkl, Universitätsassistent am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft TU-Graz, am 13.06.2010.

⁷⁰ Vgl. Höhn, S.: Versuchsfeld Untersammelsdorf - Analyse von baubetrieblich-wirtschaftlich relevanten Prozessparametern beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit TU-Graz; S. 90f.

Daraus wird eine Bohrleistung von 1,33 lfm/min entnommen. Alle weiteren Parameter werden in Tabelle 3.20 angeführt.

DSV - Zwickelabdichtung	
Parameter Vorschneiden	Werte
Ziehgeschwindigkeit	58 cm/min
Hubhöhen	4,0 cm
Umdrehungen	-
Wasserdruck	-
Wasserdurchfluss	193 lit/min
Düsendurchmesser	-
Parameter Düsen	Werte
W/B-Wert	1,00
Ziehgeschwindigkeit	30,0 cm/min
Hubhöhen	3,0 cm
Umdrehungen	-
Suspensionsdruck	-
Suspensionsdurchfluss	149 lit/min
Düsendurchmesser	-

Tabelle 3.20 Parameter DSV - Zwickelabdichtung⁷¹

Aus den angegebenen Werten werden die Leistungswerte errechnet und in Tabelle 3.21 abgebildet. Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten sind Folge der unterschiedlichen Längen der Zwickelabdichtungen (siehe Anhang A.5).

Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtung					
Stationierung [km]	Länge [m]	Säulenlänge [lfm]	Leistungswert		Bohrgerät
			[m/AT]	[lfm/AT]	
0+109	8	10	6,3	78,4	C 14
0+117					
0+712	595	15	3,9	78,4	

Tabelle 3.21 Leistungsansätze einer Bohrkolonne bei den DSV - Zwickelabdichtungen

⁷¹ Vgl. hbpm Ingenieure GmbH: Schlussbericht Düsenstrahlverfahren; S. 129ff.

3.4.5.2 Leistungsansätze für die Düsenstrahlarbeiten - Sohle

Die Leistungsansätze für das Düsen der Sohle beziehen sich auf die Versuchssäule PS 4N. Der Zeitbedarf für das Bohren wird ausschließlich den Säulentypen PS 18N entnommen. Dieser Wert kann aufgrund des annähernd homogenen Bodens zur Berechnung herangezogen werden. Die Zeit für das Bohren wird mit 2,5 Minuten pro Laufmeter angegeben.⁷²

In der folgenden Tabelle werden alle vorliegenden Parameter für die Säule PS 4N dargestellt.

DSV - Sohle (PS 4N)	
Parameter Vorschneiden	Werte
Ziehgeschwindigkeit	30 cm/min
Hubhöhen	3,0 cm
Umdrehungen	15 U/min
Wasserdruck	400 bar
Wasserdurchfluss	490 ⁷³ lit/min
Düsendurchmesser	2x4,5 mm
Parameter Düsen	Werte
W/B-Wert	1,00
Ziehgeschwindigkeit	22,5 cm/min
Hubhöhen	3,0 cm
Umdrehungen	15 U/min
Suspensionsdruck	400 bar
Suspensionsdurchfluss	420 lit/min
Düsendurchmesser	2x4,5 mm

Tabelle 3.22 Parameter DSV - Sohle (PS 4N)⁷⁴

Aus der Summe der angegebenen Werte ergibt sich ein Leistungswert pro Bohrkolonne. In Tabelle 3.23 werden die errechneten Leistungsansätze bezogen auf einen Arbeitstag dargestellt (siehe Anhang A.5).

⁷² Vgl. Höhn, S.: Versuchsfeld Untersammelsdorf - Analyse von baubetrieblich-wirtschaftlich relevanten Prozessparametern beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit TU-Graz; S. 89.

⁷³ 8,167 [l/s]

⁷⁴ Vgl. BGG Consult, ZT-GMBH, HBPM Ingenieure GMBH: Versuchsfeld Untersammelsdorf Zwischenbericht 22.07.2009.

Düsenstrahlarbeiten - Sohle					
Stationierung [km]	Länge [m]	Säulenlänge [lfm]	Leistungswert		Bohrgerät
			[m/AT]	[m ³ /AT]	
0+225	565	2,67	0,6	25,6	C 14
0+780					

Tabelle 3.23 Leistungsansätze einer Bohrkolonne bei der DSV - Sohle

3.4.6 Einflüsse auf die Leistung der Düsenstrahlarbeiten

Die Basis für einen ungestörten Bauablauf sind eine detaillierte Planung und eine vorzeitige Einrichtung der Baustellenfläche. Sollten überdachte Absetzbecken errichtet werden, so ist der Zeitbedarf für die Herstellung nicht zu vernachlässigen, da ansonsten bereits zu Beginn der Düsenstrahlarbeiten mit erheblichen zeitlichen Verzögerungen zu rechnen ist.

Besondere Rücksicht muss auf die Suspensionsleitungen, die unter hohem Druck stehen, genommen werden, da bei einer möglichen Beschädigung nicht nur die Leistung, sondern auch die Sicherheit der Arbeiter gefährdet ist. Folglich müssen die Versorgungsleitungen vor den anderen Gewerken und dem allgemeinen Baustellenverkehr geschützt werden.

Zeitverzögerungen können aufgrund von unerwarteten Hindernissen im Untergrund auftreten. Eine Verringerung der Rückflussmenge muss untersucht werden, da dies auf Verstopfungen des Ringraumes hinweisen kann.⁷⁵

Weitere Ursachen, die sich auf die Leistung auswirken könnten, ergeben sich vorwiegend aus der Nichteinhaltung der Herstelltoleranzen:⁷⁶

- Abweichung des Bohransatzpunktes gegenüber seiner theoretischen Lage von mehr als 50 mm.
- Abweichung der Bohrung gegenüber ihrer theoretischen Achse von mehr als 2 % ($\leq 0,38$ [m] (19 lfm)).

⁷⁵ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 12716, Ausgabe 2002; S. 21f.

⁷⁶ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 12716, Ausgabe 2002; S. 21.

3.5 Betonbauarbeiten

Der Betonbau wird bei Betrachtungen zum Bauablauf besonders berücksichtigt, da diese Arbeiten einen wesentlichen Anteil an der Bauzeit haben.

Die Betonbauarbeiten (BA) werden in den allgemeinen Bauablauf durch folgende Aufteilung eingegliedert:

- BA Pfahlaussteifungen
- BA Portale (ausgesteifte Gurtbalken und Querträger)
- BA Deckel
- BA Bodenplatte
- BA Wände Innenschale

3.5.1 Örtliche Gegebenheiten und Grundlagen für die Massenermittlung

Der Materialverbrauch bei den Betonbauarbeiten resultiert aus den Querschnitten der Betonbauteile und den dazugehörigen Bewehrungsgraden, wobei folgende Werte angenommen werden:

- Pfahlaussteifungen, Bodenplatte und die Innenschalenwände: 130 kg/m^3
- Deckel: 120 kg/m^3

Die Anzahl der Pfahlaussteifungen von 80 Stück errechnet sich aus einem Systemabstand von 5 m und einer Einbaustrecke von 400 m. Des Weiteren wird bei der Ermittlung der Betonmassen der aufgehenden Innenschalenwände der Verbund mit den Bohrpfählen einbezogen. Da die Lagen und Formen der Zwickelabdichtungen nicht genau festzustellen sind, wird für die Massenermittlung vereinfachend eine Wandstärke von 95 cm angenommen. Im Bild 3.12 wird die Problematik im Grundriss dargestellt:

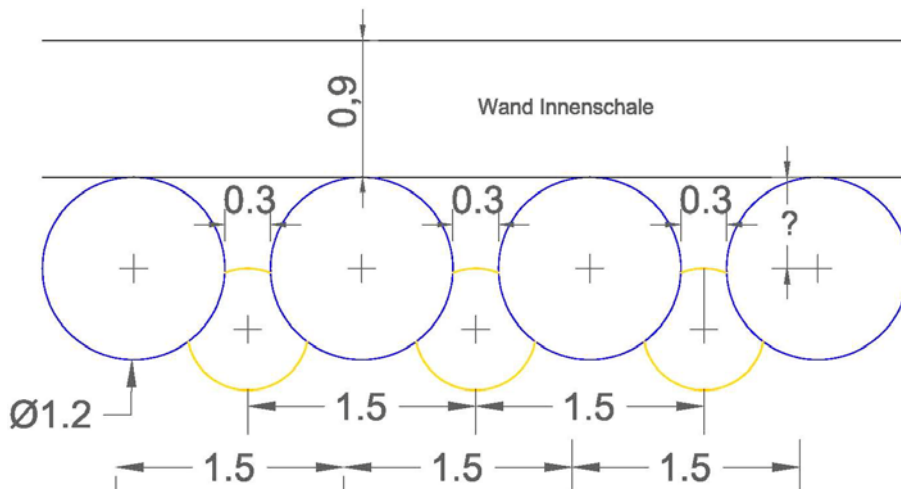


Bild 3.12 Darstellung der Bohrpfähle und der aufgehenden Innenschalenwand im Grundriss

Für die Berechnung der Massen werden im Bild 3.13 die wesentlichen Abmessungen angegeben.

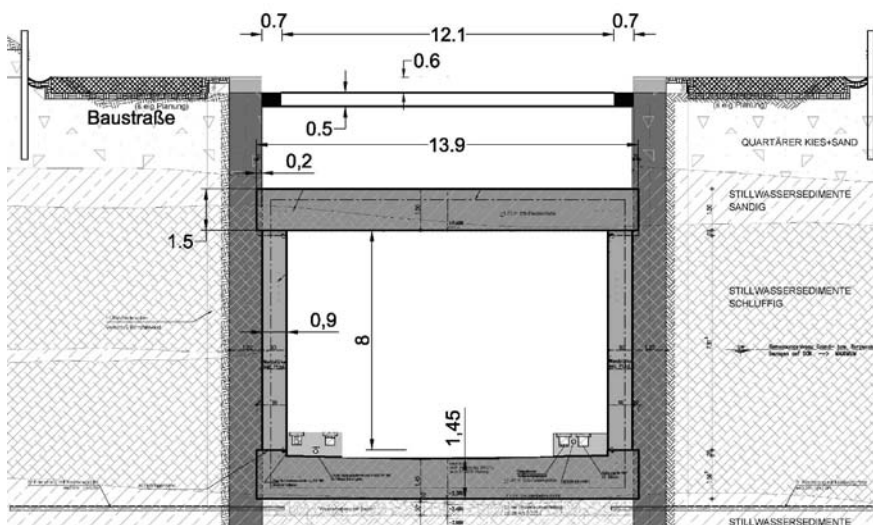


Bild 3.13 Abmessungen für die Betonbauarbeiten⁷⁷

Aus den zuvor genannten Angaben und Abmessungen lassen sich die folgenden Massen ermitteln.

⁷⁷ In Anlehnung an: ILF - Ö&M.: Einreichprojekt 2008, Einlage 4204 - Objektplanung Tunnel, K_MA_EB_TB_17_451_F_00.

Betonbauarbeiten		
Beschreibung	Beton	Bewehrung
	[m³]	[to]
Sauberkeitsschichten	1.964	-
Pfahlaussteifungen	522	68
Querträger und Gurtbalken (Portale)	375	45
Deckel	12.760	1.531
Bodenplatte	14.909	1.938
Innenschale Wände	9.424	1.225
Gesamtsumme	39.954	4.807

Tabelle 3.24 Werte aus der Massenermittlung der Betonbauarbeiten

3.5.2 Freilegen der Bohrpfahlbewehrung

Bevor mit den Betonbauarbeiten an den Pfahlaussteifungen, dem Deckel und der Bodenplatte begonnen werden kann, wird im Vorlauf die Bewehrung der Bohrpfähle in den Bereichen der anzuschließenden Betonbauteile freigelegt, um diese mit den Bohrpfählen kraftschlüssig verbinden zu können. Das folgende Bild zeigt die Freilegung der Pfahlbewehrung am Beispiel des Tunnels Perschling.

Bild 3.14 Freilegung der Bohrpfahlbewehrung am Beispiel des Tunnels Perschling, Deckelbauweise Ost⁷⁸

⁷⁸ Vgl. E-Mail von Herrn Dipl.-Ing Tobias Schachinger, ÖBB-Infrastruktur AG; Datum: 06.07.2010 21:23 Uhr.

Für die Herstellung der Gurtbalken an den Portalen werden die Bohrpfahlköpfe abgestemmt. In der ÖNORM EN 1536 werden dazu folgende Hinweise gegeben:⁷⁹

- Das Abspitzen darf erst erfolgen, wenn der Beton ausreichend erhärtet ist.
- Der verunreinigte oder mangelhafte Beton muss vollständig vom Pfahlkopf entfernt werden.
- Die Größe und der Typ der verwendeten mechanischen Geräte können infolge der Gefahr von Rissbildungen beschränkt werden.

Aufgrund dessen werden zur Freilegung der Bewehrung zwei Minibagger der Geräteklasse PC30MR-3 (Komatsu) mit einem Einsatzgewicht von 3 to vorgehalten, wobei diese mit einem Hydraulikhammer ausgerüstet werden.

Für das Abspitzen der Bohrpfahlköpfe werden in der Literatur folgende Leistungsansätze getroffen:⁸⁰

- Abstemmen eines Pfahlkopfes aus Ortbeton mit einem Durchmesser von 70 cm: 3,60 h/Stk
- Abstemmen eines Großbohrpfahles mit einem Durchmesser von 180 cm: 4,20 h/Stk

Für das Projekt Srejach wird bei einem Durchmesser der Bohrpfähle von 1,20 m eine Leistung von 3,85 h/Stk angesetzt.

Dieser Leistungsansatz wird für die Stemmarbeiten im Bereich des Deckels und der Bodenplatte mit einer jeweiligen Höhe von 1,50 m und einer Einbindetiefe von circa 20 cm auf 1,90 h/Stk (0,53 Stk/h) und im Bereich der Aussteifungen mit einer Höhe von 50 cm auf 0,63 h/Stk reduziert.

⁷⁹ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1536, Ausgabe 1999; S. 43.

⁸⁰ Drees, G.; Kurz, T.: Aufwandstabeln von Lohn- und Gerätestunden im Ingenieurbau zur Kalkulation angemessener Baupreise; S. 83.

Im Folgenden wird der ermittelte Zeitbedarf für die zeitintensiven Arbeiten unter Berücksichtigung des Einsatzes zweier Geräteeinheiten angegeben:

- Freilegen der Bohrpfahlbewehrung
 - ♦ für die Pfahlaussteifungen: 17 AT
 - ♦ für den Deckel: 76 AT
 - ♦ für die Bodenplatte: 89 AT
- Abspitzen der Bohrpfahlköpfe für die Einbindung der Bewehrung der Gurtbalken: 23 AT

Für das Laden und den Transport des Abbruchmaterials werden ein Kompaktlader und ein Minidumper eingesetzt, um mit den Betonbauarbeiten unmittelbar im Anschluss beginnen zu können (siehe Tabelle 3.25).

Freilegen der Bohrpfahlbewehrung			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
2	Hydraulikbagger mit Hydraulikhammer	Komatsu PC30MR-3	22
1	Minidumper	Thwaites 570	25
1	Kompaktlader	Komatsu SK 815-5	35

Tabelle 3.25 Gerätebedarf zur Freilegung der Bohrpfahlbewehrung

3.5.3 Baustelleneinrichtung

Damit die Leistungsansätze (Kapitel 3.5.4) erzielt werden, müssen im Vorfeld einige Vorbereitungsarbeiten erledigt werden. Als Erstes sind die benötigten Arbeitsebenen, wie bereits beschrieben, zu errichten. Das Material kann am Bauort gelagert werden, somit müssen keine zusätzlichen Lagerflächen bei der allgemeinen Baustelleneinrichtung berücksichtigt werden. Für die Schal- und Bewehrungsarbeiten sind vor allem Hebehilfen zur Erreichung der Leistung zur Verfügung zu stellen.

3.5.3.1 Turmdrehkran vs. Portalkran

Fahrzeugkrane können aufgrund des mangelnden Platzbedarfs außerhalb des Bauobjektes und der Behinderung durch die Pfahlaussteifungen zwischen den Bohrpfählen für die Herstellung des Deckels ausgeschlossen werden. Die Auswahl reduziert sich somit auf obendrehende Turmdrehkrane und Portalkrane.

Der zu wählende Kran wird beim Projekt Srejach ausschließlich zur Herstellung des Deckels benötigt. Daraus ergeben sich nur geringe bewegende Lasten für das Heben von Schalungs- und Bewehrungsmaterial, da der Beton auch mit einer Autobetonpumpe eingebracht wird (siehe Kapitel 3.5.7).

Der Portalkran ist wegen seiner Bauweise für große Lasten ausgelegt und von der Arbeitsgeschwindigkeit langsamer als der Turmdrehkran. Zusätzlich ist dieser lediglich für 80 % der Deckellänge einsetzbar. Bevor der Portalkran errichtet werden kann sind die Bohrpfähle zu bearbeiten und anschließend sind Betonbalken herzustellen, damit eine befahrbare Oberfläche für den Kran auf den Pfählen gegeben ist. Durch den modularen Aufbau des obendrehenden Turmdrehkranes ist dieser flexibler und kann schneller auf- und wieder abgebaut werden.

Für die Herstellung des Deckels wird ein obendrehender Turmdrehkran mit einer Tragfähigkeit von 3.400 kg bei maximaler Ausladung gewählt, da dieser flexibler, in der Arbeitsgeschwindigkeit schneller und mit geringerem Aufwand aufzustellen ist.⁸¹

Die Lage der Krane bei einer Auslegerlänge von 50 m wird im folgenden Lageplan dargestellt, wobei maximal 2 Krane gleichzeitig vorgehalten werden müssen.

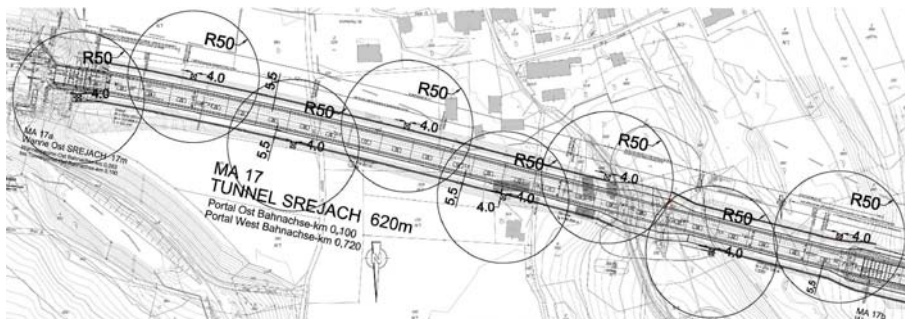


Bild 3.15 Lage der Turmdrehkrane am Baufeld

⁸¹ Vgl. Liebherr 200 EC-H10

Der Turmdrehkran wird außerhalb der Baustraße aufgestellt und der nötige Platzbedarf von 16 m² an jedem Standort muss beim Einbringen der Spundwände beachtet werden. Im Bild 3.17 wird die Lage des Kranes außerhalb der Baustraße dargestellt.

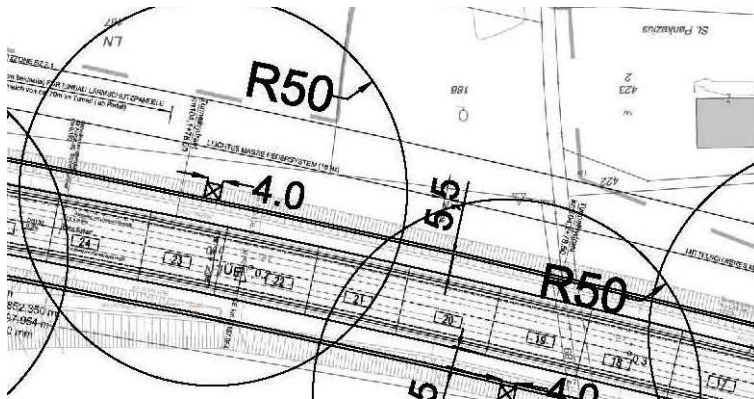


Bild 3.16 Positionierung des Kranes außerhalb der Baustraße

Für die Herstellung der Pfahlaussteifungen wird ein Mobilkran eingesetzt, da die erforderlichen Leistungsansätze geringer als beim Deckel sind und dieser innerhalb des Baufeldes bewegt werden kann. Im Vergleich zeigt sich, dass in einer Woche beim Deckel 60 to und bei den Pfahlaussteifungen circa 8,4 to Bewehrung eingebaut werden. Beim Einsatz der Turmdrehkrane müssen diese unverhältnismäßig oft umgebaut werden, da der Einbau der Pfahlaussteifungen in zeitlich getrennten Abschnitten erfolgt.⁸²

Die Betonbauarbeiten unter dem Deckel werden auch von solchen Mobilkranen unterstützt. Dabei ist besonders auf kurze Transportwege und genügend Lagerfläche in der Nähe der Betonierabschnitte zu achten, um die angesetzten Leistungswerte zu erreichen. Aus den angeführten Bedingungen ergibt sich der Abstand zwischen der Betonage der Bodenplatte und der Betonage der Innenschalenwände.⁸³

⁸² Siehe Zeit-Wege-Diagramm: Abschnitt 1 bis Abschnitt 3

⁸³ Siehe Zeit-Wege-Diagramm

3.5.4 Leistungsansätze für das Zeit-Wege-Diagramm

Für die Ermittlung des Zeitbedarfs werden die Betonarbeiten in die folgenden technischen Vorgänge unterteilt:

- Schalen
- Bewehren
- Betonieren

Aus der im Kapitel 3.5.1 angeführten Geometrie der Betonbauteile wird der Schalungsgrad errechnet, welcher für die Ermittlung des Zeitbedarfs vonnöten ist. Die Aufwandswerte für die Vorgänge Schalen, Bewehren und Betonieren werden von Aufnahmen der TU Graz am Hengsbergtunnel und aus der Literatur abgeleitet. In den kommenden Kapiteln wird der Personalbedarf in Verbindung mit den Leistungsansätzen angegeben, da die einzelnen Vorgänge sehr stark von manueller Arbeit abhängig sind.

3.5.5 Leistungsansätze für die Betonbauarbeiten der Pfahlaussteifungen

Der Aufwandswert für die Schalarbeiten wird den „Arbeitszeit Richtwerten Hochbau“ mit $0,90 \text{ Std/m}^2$ entnommen. Dieser Wert bezieht sich auf einschalig geschalte Fundamente mit einer Höhe bis zu 140 cm unter Berücksichtigung eines mehrmaligen Einsatzes.⁸⁴

Bei den Bewehrungsarbeiten stammt der Leistungsansatz für die Ermittlung des Zeitbedarfs aus der Diplomarbeit „Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten. Ein kritischer Vergleich von Literaturangaben“ von S. Aigner.⁸⁵ Darin wird aus den unterschiedlichen Literaturquellen eine Spannweite an Aufwandswerten für Bewehrungsarbeiten angegeben („Von - Bis“ Werte). Aufgrund des Sachverhalts, dass sich die Ansätze vorwiegend auf den Hochbau (unterschiedliche und kleine Bewehrungsdurchmesser) beziehen, können die minimalen Aufwandswerte für das Projekt herangezogen werden (große Bewehrungsdurchmesser). Die minimalen Aufwandswerte der einzelnen Literaturangaben werden aus diesem Grund gemittelt und der daraus resultierende Wert von 9 Std/to wird für die weiteren Berechnungen eingesetzt.

⁸⁴ Vgl. Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V.: Arbeitszeit Richtwerte Hochbau; B1.2.211.

⁸⁵ Vgl. Aigner, S.: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten, Ein kritischer Vergleich von Literaturangaben, Diplomarbeit TU-Graz 2003; S. 174.

Der Aufwandswert für das Betonieren aus der Literatur bezieht sich auf eine Mannschaft bestehend aus 3 Mann und einer Autobetonpumpe. Der Wert von 0,25 Std/m³ wird um 25 % abgemindert, da der Zeitbedarf für das Transportieren (kurze Einbauwege) und Rüsten bei den Pfahlaussteifungen reduziert werden kann. Zusätzlich werden durch die auftretenden Mengen höhere Leistungen erzielt. Der Leistungswert beträgt somit 5,36 m³/h (siehe Anhang A.6).

Unter Einbeziehung des in Tabelle 3.26 angegebenen Personals wird eine Dauer von circa 41 Arbeitstagen für die Herstellung der Pfahlaussteifungen ermittelt, wobei die Hälfte der Zeit für den Vorgang des Schalens benötigt wird.

Betonbauarbeiten Pfahlaussteifungen	
Anzahl der Arbeiter	Leistungsbeschreibung
6	Schalen
6	Bewehren
3	Betonieren
2	Abziehen

Tabelle 3.26 Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung der Pfahlaussteifungen

3.5.6 Leistungsansätze für die Betonbauarbeiten zur Herstellung der Gurtbalken und der Querträger an den Portalen

Im Kapitel 3.5.6 werden die Leistungsansätze der im Bild 3.17 veranschaulichten Gurtbalken mit den Querträgern mit einem Systemabstand von 3 m und einer Höhe von 1,50 m beschrieben.

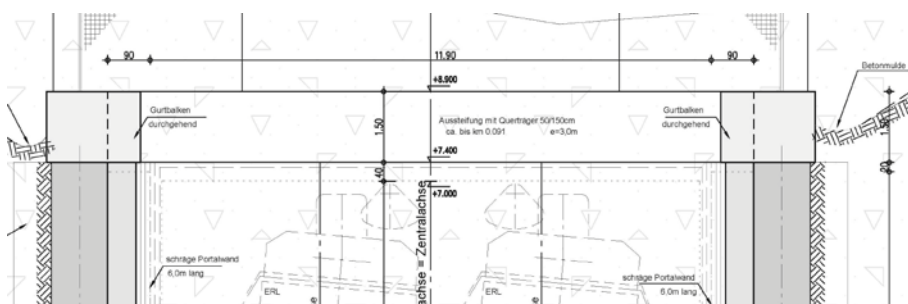


Bild 3.17 Darstellung der Gurtbalken in einem Regelschnitt⁸⁶

⁸⁶ Vgl. ILF - Ö&M.: Einreichprojekt 2008, Einlage 4211 - Objektplanung Tunnel, K_MA_EB_TB_17_461_F_00.

Der bereits beschriebene Aufwandswert für das Schalen der Pfahlaussteifungen ($0,90 \text{ Std/m}^3$) wird um 50 % erhöht, da die Höhe der Bauteile von 1,50 m und der daraus resultierende Betondruck bei der Herstellung der Abstützungen beachtet werden müssen. Der Aufwandswert aus der Literatur bezieht sich auf Fundamente mit einer maximalen Höhe von 1,40 m, somit muss ein Zuschlag für einen Mehraufwand berücksichtigt werden. Für die Berechnung des Zeitbedarfs wird aufgrund dessen ein Aufwandswert von $1,35 \text{ Std/m}^2$ angesetzt. Die Tatsache, dass die Bauteile im Vergleich zu den Pfahlaussteifungen höher und schlanker sind, schlägt sich in der Berechnung mit einer Erhöhung des Aufwandswertes der Bewehrungsarbeiten von 10 % nieder und wird auf 10 Std/to angehoben.

Beim Betonieren wird der Leistungswert der Pfahlaussteifungen beibehalten und beträgt $5,36 \text{ m}^3/\text{h}$. Aus den genannten Werten und der Anzahl an Arbeitern lässt sich ein Zeitbedarf von circa 27 Arbeitstagen ermitteln.

Betonbauarbeiten Portale	
Anzahl der Arbeiter	Leistungsbeschreibung
8	Schalen
6	Bewehren
3	Betonieren
2	Abziehen

Bild 3.18 Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung der Gurtbalken und Querträger (Portale)

3.5.7 Leistungsansätze für die Betonbauarbeiten am Deckel

Die Herstellung des Deckels muss innerhalb einer Arbeitswoche (Montag - Freitag) erfolgen, damit die Ausschulfrist von 36 Stunden aus den Vorgaben der Richtlinie „Wasserundurchlässige Betonbauwerke - Weiße Wannen“⁸⁷ ohne erheblichen Zeitverlust, durch Aushärten des Betons über das Wochenende, eingehalten werden kann.

⁸⁷ Vgl. Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik: Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke - Weiße Wannen; Ausgabe März 2009; S. 55.

Für die Leistungsberechnung werden für den Deckel folgende Aufwandswerte angeführt:

- Scharbeiten: 1,35 [Std/m²] (vgl. Kapitel 3.5.6)
- Bewehrungsarbeiten: 6,00 [Std/to]⁸⁸
- Betonierarbeiten: 0,06 [Std/m³]⁸⁹

Der Aufwandswert für die Bewehrungsarbeiten kann aufgrund des großen Durchmessers der Bewehrung und derselben Geometrie der Deckelabschnitte mit 6 Std/to angesetzt werden.

Für die Ermittlung des Zeitbedarfs der Betonierarbeiten kann auf Aufnahmen der TU Graz am Hengsbergtunnel zurückgegriffen werden. Diese Leistungswerte können aufgrund der ähnlichen Geometrie und der identen Bauteildicke herangezogen werden. Um den Deckel in 7,50 Stunden betonieren zu können, müssen optimale Bedingungen geschaffen werden. Eine benötigte Einbauleistung von circa 1,11 m³ Frischbeton in der Minute wird erreicht, wenn zwei Fahrmischer gleichzeitig die Autobetonpumpe mit Frischbeton versorgen. Das Bild 3.19 soll dies verdeutlichen.



Bild 3.19 Ausschnitt aus den Aufnahmen der TU Graz am Hengsbergtunnel

⁸⁸ Vgl. Aigner, S.: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten, Ein kritischer Vergleich von Literaturangaben, Diplomarbeit TU-Graz 2003; S. 174.

⁸⁹ Vgl. Aufnahmen der TU Graz am Hengsbergtunnel

Aus den angeführten Gründen wird wie bereits beschrieben von einer Verbreiterung der Baustraße ausgegangen, da ansonsten der Platzbedarf für zwei Fahrmaschinen auf der Straße nicht gegeben ist.

Für die Herstellung des Deckels in 52 Arbeitsstunden mit den angegebenen Aufwandswerten wird die folgende Anzahl an Arbeitskräften benötigt:

Betonbauarbeiten Pfahlaussteifungen	
Anzahl der Arbeiter	Leistungsbeschreibung
6	Schalen
9	Bewehren
4	Betonieren
2	Abziehen

Tabelle 3.27 Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung des Deckels

3.5.8 Leistungsansätze zur Herstellung eines Bodenplattenabschnitts

Aufgrund der zum Deckel vergleichbaren Geometrie und Abmessungen werden für den Bodenplattenabschnitt dieselben Aufwandswerte eingesetzt, außer für die Bewehrungsarbeiten. Dieser Wert wird verringert, da unter dem Deckel die Arbeiter nicht mit einem Kran, sondern mit einem Mobilkran (Universalgerät) versorgt werden. Die geringere Leistung wird durch den Einsatz zusätzlicher Arbeiter (siehe Tabelle 3.28) kompensiert, somit kann die Bodenplatte mit einem Rauminhalt von 514 m³ in einer Arbeitswoche hergestellt werden (siehe Anhang A.6).

Betonbauarbeiten Pfahlaussteifungen	
Anzahl der Arbeiter	Leistungsbeschreibung
6	Schalen
12	Bewehren
4	Betonieren
2	Abziehen

Tabelle 3.28 Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung der Bodenplatte

3.5.9 Leistungsansätze zur Herstellung der Innenschalenwände

Bei der Herstellung der 24 m langen Abschnitte der Innenschalenwände wird davon ausgegangen, dass ein Schalwagen eingesetzt wird. Für den Aufbau des Wagens muss eine Fläche vor dem Tunnelportal am Rettungsvorplatz vorgesehen werden.

Der Aufwandswert für die Schalarbeiten hängt von der Zeit ab, die benötigt wird, um den Schalwagen abzulassen, zu verschieben und anschließend wieder einzurichten. Dieser zeitliche Aufwand sollte auch den zusätzlichen Einbau von Schalmaterial an der Schalhaut zur Erstellung von Nischen in den aufgehenden Wänden, wie beispielsweise für den Einbau von Signalschaltkästen⁹⁰, beinhalten. Somit wird ein Aufwandswert von 0,12 Std/m² gewählt. Unter Berücksichtigung des Einsatzes von 6 Arbeitskräften lässt sich ein zeitlicher Aufwand von 8 Stunden für die Schalarbeiten von einem Blockabschnitt ermitteln.

Der minimale Aufwandswert von 10 Std/to für die Bewehrungsarbeiten wird der Diplomarbeit von S. Aigner entnommen und aufgrund der großen Durchmesser um 10 % reduziert.

Für die Betonage wird mit Einsatz von 5 Arbeitern eine Leistung von circa 42 m³ pro Stunde mit den im Anhang A.6 angeführten Aufwandswerten erreicht.

In Tabelle 3.29 werden die benötigten Arbeiter zur Herstellung der Innenschalwände angegeben.

Betonbauarbeiten Innenschalenwände	
Anzahl der Arbeiter	Leistungsbeschreibung
6	Schalen
12	Bewehren
4	Betonieren

Tabelle 3.29 Anzahl der benötigten Arbeiter für die Herstellung der Innenschalenwände

3.5.10 Einflüsse auf die Leistung der Betonbauarbeiten

Zahlreiche Einflüsse auf die Leistung der Betonbauarbeiten resultieren aus den Anforderungen der „Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke - Weiße Wannen“⁹¹ und der ÖNORM B 4710-1:

- Beton darf nur auf gereinigtem Untergrund eingebaut werden. Die Witterungsverhältnisse können sich somit negativ auf die Leistung bei der Herstellung der Betonbauteile über dem Deckel auswirken, da Eis und Schnee vom Betoniergrund zu entfernen sind (vgl. dazu auch ÖNORM B 4710-1⁹²).

⁹⁰ ILF - Ö&M.: Einreichprojekt 2008, Mappe 4 - Objektplanung Tunnel, Einlage 4209; K_MA_EB_TB_17_458_F_00.

⁹¹ Vgl. Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik: Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke - Weiße Wannen; Ausgabe März 2009.

⁹² Vgl. Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 4710-1, Ausgabe 2004; S. 89.

- Bei der Herstellung der Innenschale ist eine Ausschallfrist von 36 Stunden und bei Temperaturen unter 0 Grad Celsius von 72 Stunden zu berücksichtigen. Kann ein Abschnitt der Innenschale nicht vor dem Wochenende betoniert werden, führt dies zu einem Zeitverlust.
- Der Frischbeton muss mit einer Temperatur von ≤ 22 Grad Celsius (BS 1A) eingebaut werden. Sollten die Temperaturen überschritten werden, führt dies bei den Betonbauarbeiten am Deckel und der Bodenplatte zu Verzögerungen.

3.6 Erdbauarbeiten unter dem Deckel

Die Massenermittlung erfolgt analog zu den Erdbauarbeiten über dem Deckel und wird in Tabelle 3.30 dargestellt:

Erdbauarbeiten unter dem Deckel	
Bodenart	Volumen
	[m ³]
quartäre Kiese und Sande (1. AP)	41.992
Stillwassersedimente (1. AP)	9.018
Stillwassersedimente (2. AP)	45.614
"Sprengschutt" (Einbau)	8.216
"Filterschicht" (Einbau)	5.095

Tabelle 3.30 Werte aus der Massenermittlung der Erdbauarbeiten unter dem Deckel

Die Erdbauarbeiten unter dem Deckel werden in zwei zeitlich getrennte Aushubphasen gegliedert. Damit die temporären Arbeitsebenen mit Baugeräten befahren werden können, wird eine 60 cm starke Bodenschicht eingebaut. Die einzelnen Vorgänge wie Lösen, Laden, der Einbau des Vlieses und des „Sprengschutts“ müssen so koordiniert werden, dass zu keinem Zeitpunkt Arbeiten auf dem Seeton durchgeführt werden.

Für die Abstimmung der Prozesskette werden zwei Varianten der Zusammenstellung untersucht, wobei sich diese bei den Vorgängen Lösen und Laden unterscheiden. Zum einen wird ein Hydraulikbagger der Geräteklasse R 906 mit einem Dienstgewicht von circa 23 to für beide Vorgänge (Variante 1) und zum anderen wird zusätzlich zum Laden des Abbaumaterials ein Radlader (Volvo L 120 E) eingesetzt (Variante 2).

Bei der rechnerischen Ermittlung des Zeitbedarfs unter Berücksichtigung des Einbaus der Bodenauswechslung hat sich bei Variante 1 für den Abbau des Materials in der Aushubphase 1 eine Leistung von circa 540 m³ pro Arbeitstag, hingegen bei Variante 2 eine tägliche Leistung von circa 690 m³ ergeben.

Die verminderte Leistung des Baggers (Lösen und Laden) mit einem Löffelinhalt von $1,15 \text{ m}^3$ ist auf die beengten Platzverhältnisse und auf die Abbaufäche zurückzuführen, da keine idealen Einsatzbedingungen (Schwenkwinkel, häufiges Umstellen) geschaffen werden können. Aufgrund der höheren Leistung wird zum Lösen ein Hydraulikbagger (R 906 C) und zum Laden des Materials ein Radlader der Klasse L 120 E mit einer Universalschaufel (Schaufelinhalt $3,60 \text{ m}^3$) vorgehalten (Anhang A.7). Die Geräteklasse des Baggers wird im Vergleich zu den Erdbauarbeiten über dem Deckel verringert, da aufgrund des geringen Abbaquerschnitts kleinere Geräte Vorteile haben.

Die Bodenauswechslung wird über die volle Breite des Tunnels durchgeführt, damit die nachlaufenden Gewerke eine ausreichende und tragfähige Fläche vorfinden. Vorgänge wie das Waschen und Reinigen der Zwickel, um Bohrpfähle kraftschlüssig mit der Innenschale zu verbinden, sowie die Herstellung der geneigten Entwässerungsbohrungen in der Aushubphase 2 müssen dabei berücksichtigt werden.

Der Materialabtrag erfolgt in der zweiten Aushubphase bis zu Stationierung km 0+225 analog zur ersten, da sich ausschließlich der Aushubquerschnitt ändert. Ab Stationierung km 0+225 werden die nachstehenden Varianten miteinander verglichen:

- Einbau einer circa 20 cm starken temporären Ausgleichsschicht über der DSV - Sohle. Die Arbeitsebene wird für den Abtransport des Materials und für die nachlaufenden Gewerke hergestellt.
- Nachbearbeitung der Oberfläche der DSV - Sohle, damit der Düsenstrahlkörper mit den Baugeräten direkt befahren werden kann.

Bei der ersten Variante wird über der DSV - Sohle eine circa 20 cm starke Ausgleichsschicht aufgebracht, um Unebenheiten zu korrigieren. Die maximale Höhe von circa 20 cm ergibt sich aus der Tatsache, dass im Nachlauf die geneigten Entwässerungsbohrungen hergestellt werden müssen.

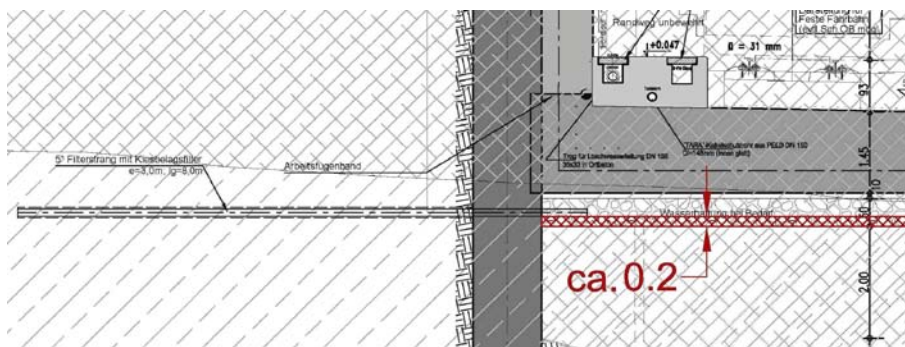


Bild 3.20 Darstellung der Ausgleichsschicht über der DSV - Sohle in einem Regelquerschnitt

Durch Einbau einer solchen Schicht kann das anfallende Wasser, welches durch die nachlaufenden Gewerke verbraucht wird, in Gräben, ohne den DSV-Körper zu schwächen, abgeführt werden.

Bei einem Vergleich der Leistungen zeigt sich, dass für beide Varianten der gleiche Zeitbedarf benötigt wird, wenn die einzubauende Filterschicht für die Grundwasserkommunikation unter der Bodenplatte bei den Berechnungen berücksichtigt wird. Weiters wird bei der rechnerischen Ermittlung der Leistung für Variante 2 angenommen, dass die Unebenheiten des DSV-Körpers mit dem vorgehaltenen Hydraulikbagger beseitigt werden und die Nachbearbeitung der Oberfläche im Nachlauf erfolgt.

Für die weiteren Betrachtungen wird die Variante 1 mit einer täglichen Leistung von 11,10 m pro Arbeitstag (Aushubleistung circa 720 m³/AT) gewählt, da das anfallende Wasser ohne Schwächung des DSV-Körpers abgeleitet werden kann.

3.7 Herstellen des Arbeitsplanums 4

Das Arbeitsplanum 4 wird für die Betonbauarbeiten der Bodenplatte hergestellt, wobei im Zuge der Herstellung des AP 4 die Filterschicht unter der Bodenplatte eingebaut wird. Es wird davon ausgegangen, dass die für die Aushubphase 2 mit „Sprengschutt“ erstellte Arbeitsebene wieder abgetragen und durch geeignetes Material ersetzt wird. Das Material wird vom vorhandenen Hydraulikbagger mit einer errechneten Leistung von 95 m³/h abgetragen. Die eingebrachte Filterschicht wird mit einem Grader verteilt und anschließend mit einer Walze (650 m²/h) verdichtet (Anhang A.7). Zum Abschluss wird eine 10 cm starke Sauberkeitsschicht aufgebracht. Für die Erstellung des Arbeitsplanums 4 ergibt sich ein Zeitbedarf von circa 26 Arbeitstagen.

In Tabelle 3.31 werden die Geräte für die Erdbauarbeiten unter dem Deckel angegeben.

Erdbauarbeiten unter dem Deckel			
Anzahl	Gerät	Typ	Leistung [kW]
1	Hydraulikbagger	Liebherr R 906 C	105
1	Radlader	Volvo L 120 E	165
1	Mobilbagger mit Traverse	Liebherr A 309	65
3	Dumper	Volvo A 30 E	252
1	Grader	Caterpillar 140 H	138
1	Walzenzug	Bomag BW 211 D-4	99
1	Autobetonpumpe	Putzmeister M20-4 ZR	-

Tabelle 3.31 Gerätebedarf für die Erdbauarbeiten unter dem Deckel

4 Terminplanung

Die ermittelte Gesamtdauer der untersuchten Gewerke wird in diesem Kapitel, mit Hilfe eines Liniendiagrammes für die Abbildung der Zeit-Wege-Abhängigkeiten und eines vernetzten Balkendiagrammes für die Veranschaulichung der benötigten Kapazitäten (Belegschaftskurve, Geräteinsatzplan), erläutert.

Im Liniendiagramm (Zeit-Wege-Diagramm) wird auf der Abszisse die Fertigungsrichtung und auf der Ordinate die Zeit aufgetragen. Unter Berücksichtigung der Leistungsansätze und Kapazitäten der wesentlichen Gewerke ergeben sich Geraden bzw. Kurven, wobei die Neigung der Linien die Arbeitsgeschwindigkeit anzeigt. Aus den einzelnen Vorgängen können die kritischen Abstände abgelesen werden.⁹³ Damit eine übersichtliche Darstellung des Liniendiagrammes möglich ist, werden Geräteeinheiten bzw. Kolonnen in Geraden zusammengefasst. In Kombination mit den im Anhang A.1 dargestellten Tabellen, welche diesen Umstand beinhalten, kann der tägliche Materialverbrauch der Gewerke an jeder Stelle des Diagrammes abgelesen werden. Die ungleiche Verteilung der Massen am Baufeld sowie die unterschiedlichen Bohrtiefen werden durch Umrechnen der Leistungen ($[m^3/AT]$, $[lfm/AT]$) in Geschwindigkeiten⁹⁴ ($[m/AT]$) in der Terminplanung beachtet.

Als Beispiel können die Erdbauarbeiten angeführt werden, da bei gleichbleibenden Leistungen unterschiedliche Geschwindigkeiten aufgrund abweichender Überlagerungshöhen der Erdmassen erreicht werden. Die Gewerke können demzufolge, auch wenn sie sich auf verschiedene Einheiten in der Leistungsermittlung beziehen miteinander verglichen werden.

Am unteren Teil des Zeit-Wege-Diagrammes sind die dazugehörigen Teilstrecken nach Gewerken getrennt abgebildet, somit können die Einsatzbereiche (-strecken) der Tätigkeiten auf dem Baufeld abgelesen werden. Aus den Einsatzbereichen und der projektspezifischen Randbedingung, dass der Bauablauf hauptsächlich von Osten beginnend abgewickelt werden soll, haben sich die ersten Angriffspunkte der Gewerke herauskristallisiert.

Bei der Ermittlung der Bauzeit werden der Innenausbau (Randwege, Gleisbau), die Aufschüttungsarbeiten und die Restarbeiten nicht untersucht. Der Vollständigkeit halber werden pauschale Zeitangaben für diese Vorgänge aus dem Baukonzept übernommen.

⁹³ Vgl. Heck, D.: Baubetriebslehre VU, Skriptum TU-Graz WS 09/10; S. 227.

⁹⁴ Ausdruck des Baufortschrittes bezogen auf den Tunnelmeter

Für die Visualisierung der Zeit in den Diagrammen werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Tagesarbeitszeit beträgt durchschnittlich 10 Stunden pro Tag an 5 Tagen der Woche (Mo - Fr).
- Ein Monat wird mit 21,75 Arbeitstagen festgelegt.
- Arbeitsfreie Tage werden nicht eingetragen (Wochenenden).

Die Darstellung des Bauablaufs im Zeit-Wege-Diagramm bzw. Balkendiagramm verdeutlicht folgende Fragen:⁹⁵

- Wie viel Zeit benötigen die Gewerke?
- Welche Kapazitäten sind hierfür notwendig?
- Welche Arbeiten liegen am kritischen Weg?
- Wo sind die Angriffspunkte der Gewerke?

4.1 Visualisierung des Bauablaufs

Im folgenden Abschnitt werden die Abhängigkeiten der wesentlichen Gewerke im Bauablauf angegeben und mit Hilfe der Diagramme visualisiert. Die Gliederung orientiert sich dabei an den bereits beschriebenen Arbeitsebenen. Aus den Beziehungen und dem zeitlichen Aufwand der Leistungen wird die Gesamtbauzeit ermittelt.

4.1.1 Arbeitsplanum 1 (Baustelleneinrichtungsphase)

Die erste Bauphase mit einer Dauer von 4 Monaten beinhaltet Vorgänge wie Baufeldfreimachung, Abbrucharbeiten, Abtrag der Deckschichte, Errichtung der allgemeinen Baustelleneinrichtung und des Arbeitsplanums 1 mit Baustraße.⁹⁶ In der Baustelleneinrichtungsphase werden Leistungen erst nach Abschluss der vorgehenden Arbeiten begonnen (Ende-Anfang-Beziehung). Außer bei der Herstellung der Spundwände werden 4 Arbeitstage für Umbau- und Wartungsarbeiten der Hydraulikbagger beachtet (siehe Kapitel 3.2.2.3). Tätigkeiten wie die Errichtung der Vakuumbrunnen und die Herstellung der Baustelleneinrichtung werden als nicht zeitkritisch eingestuft, da sie parallel zu den übrigen Tätigkeiten ausgeführt werden können. Angegebene Leistungsansätze, wie das Verdichten des Untergrundes zur Herstellung des Arbeitsplanums 1 mit

⁹⁵ In Anlehnung an: Hofstadler, C.: Bauablaufplanung und Logistik; S. 3.

⁹⁶ Siehe Balkendiagramm

einer stündlichen Leistung von 750 m² (siehe Anhang A.2) können erreicht werden, wenn die zu bearbeitenden Flächen vollständig zur Verfügung stehen. In Tabelle 4.1 wird die Dauer der Vorgänge in der Baustelleneinrichtungsphase abgebildet:

Baustelleneinrichtungsphase			
Leistungsbeschreibung	GEH	Leitgerät	Dauer [Mo]
Vorarbeiten (Rodung, u.a.m.)	-	-	1,0
Abtrag der Deckschichte	1	Planierdrape (Liebherr PR 744)	0,3
Abtrag der quartären Kiese und Sande	2	Hydraulikbagger (R 934 C)	0,9
Herstellen der Spundwand (inkl. Umbauarbeiten)	2	Hydraulikbagger (R 934 C)	1,3
Herstellen der Baustraße und des Feinplanum AP 1	1	Gerätezug (Grader, Walze)	0,5

Tabelle 4.1 Zeitbedarf für die Baustelleneinrichtungsphase

4.1.2 Spezialtiefbauarbeiten

Der Spezialtiefbau wird nach Fertigstellung des Arbeitsplanums 1 am Anfang des vierten Monats mit den Bohrfahlarbeiten aufgenommen. Für das Abteufen der Bohrpfähle werden 4 Bohrkolonnen (4 GEH) in Anspruch genommen, damit das Baufeld im Osten für die Folgegewerke, wie beispielsweise die Düsenstrahlarbeiten an der Sohle, welche bei Stationierung 0+225 beginnen, schneller fertiggestellt ist. Im Zeit-Wege-Diagramm beschreibt eine Gerade mit einem Platzbedarf von 60 Metern die Leistung von 2 Bohrkolonnen, somit werden folgende Baugeräte mit einer Kurve dargestellt:

Bohrfahlarbeiten

- 2 Drehbohrgeräte (Liebherr LB 28)
- 2 Servicebagger (Hydroseillbagger Liebherr HS 835 HD)
- 1 Radlader (Volvo L 120 E)

Die benötigte Zeit von 126 Arbeitstagen ergibt sich aus den angegebenen Kolonnen und einer durchschnittlichen Tagesleistung von circa 2 Bohrpfählen pro Arbeitstag.

Aus der Randbedingung, den Bauablauf hauptsächlich von Osten abzuwickeln, und der Tatsache, dass die ersten beiden Bohrkolonnen einmal umgesetzt werden, resultieren die Angriffspunkte der Geräteeinheiten:

- 2 GEH: Stationierung km 0+067
- 2 GEH: Stationierung km 0+286

Wenn nicht 2 Bohrkolonnen sondern alle 4 im Osten beginnen würden, könnten die Folgegewerke früher in Angriff genommen werden, da das Baufeld von Osten her schneller fertiggestellt werden kann. Auf den

Bauablauf, im Speziellen auf die Reihenfolge bei der Herstellung der Bohrpfähle ist dabei besonders zu achten. Zusätzlich müssen die begrenzten Arbeits- und Lagerflächen berücksichtigt werden. Die Düsenstrahlarbeiten an der Sohle würden somit um circa 35 Arbeitstage und die Arbeiten für die Herstellung der Zwickel um 14 Arbeitstage früher beginnen. Die Bauzeit könnte aus den angeführten Gründen um circa 20 Arbeitstage verkürzt werden.

Bei einer Geschwindigkeit von 7,80 m/AT (bis Stat km 0+117: 12,50 m/AT) mit 2 Geräteeinheiten wird die Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtung aufgenommen, wenn die ersten beiden Bohrpfahlkolonnen die Stationierung km 0+235 passiert haben. Ein früherer Beginn der Arbeiten führt zu einer zeitlichen Unterbrechung, da die Bohrpfahlarbeiten in diesem Bereich mit einer Geschwindigkeit von maximal 3 m/AT eingeholt werden würden. Nach Fertigstellung der Zwickelabdichtung mit einer Gesamtdauer von 77 Arbeitstagen werden die Bohrgeräte (unter Berücksichtigung eines Zeitaufwandes von 2 Tagen für Wartungs- und Umbauarbeiten, um die Geräte betriebsfähig zu halten) für die Errichtung der DSV - Sohle eingesetzt.

Düsenstrahlarbeiten

Aus diesem Grund erfolgt das Düsen der Sohle in der ersten Phase mit 4 und nach Umbau der Geräte mit 6 GEH. Die Arbeiten an der Sohle beginnen bei Stationierung km 0+225, wenn die Bohrpfahlkolonnen in dem letzten Streckenabschnitt, der bei Stationierung km 0+662 anfängt, umgesetzt werden. Das Risiko einer Beschädigung der Suspensionshochdruckleitungen durch Geräte der Pfahlarbeiten entfällt somit. Daraus resultiert eine Ende-Anfang-Beziehung (Normalfolge) zwischen den Gewerken.

Um mit dem Bau des Arbeitsplanums 2 und den Pfahlaussteifungen im Osten ehestmöglich starten zu können, sowie der Tatsache, dass die Umstellung von Düsenstrahlkolonnen unproblematisch ist, erfolgt ein mehrfaches Versetzen der GEH. Würden die Düsenstrahlkolonnen nicht umgestellt werden, könnten die Erdarbeiten nicht Anfang des 11. Monats, sondern erst im 15. Monat aufgenommen werden.

Die Kolonnen aus der Zwickelabdichtung werden nach der angegebenen Umbauzeit ab Stationierung km 0+590 eingesetzt, um den Streckenabschnitt für den Bau der Pfahlaussteifungen (Stat km 0+595 - km 0+700) frühestmöglich fertigzustellen. Wird dieser Umstand nicht beachtet, führt dies zu einer Unterbrechung der Betonbauarbeiten am Deckel von bis zu 16 Arbeitstagen. Die Gesamtdauer für die Herstellung der DSV - Sohle beträgt 189 Arbeitstage, bei einer Geschwindigkeit von 0,56 m/AT pro Kolonne (= circa 25,64 m³/AT). Bei einer Änderung der Kapazitäten von 6 auf 4 GEH, das heißt, dass maximal 4 Düsenstrahlkolonnen am Baufeld tätig sind, kommt es zu einer 50%igen Verlängerung der Herstellzeit auf 283 Arbeitstage.

4.1.3 Arbeitsplanum 2 und Arbeitsplanum 3

Die Errichtung des Arbeitsplanums 2, welches für den Bau der Pfahlaussteifungen hergestellt wird, und des Arbeitsplanums 3 wird in diesem Kapitel behandelt.

Die Arbeiten werden in folgende zeitlich getrennte Streckenabschnitte geteilt, um die Betonbauarbeiten am Deckel vorzeitig zu beginnen:

- Abschnitt 1: bis Stationierung km 0+370
- Abschnitt 2: von Stationierung km 0+370 bis Stationierung km 0+520 (Ende des ersten Abschnitts von Arbeitsplanum 2)
- Abschnitt 3: ab Stationierung km 0+520

In den angeführten Abschnitten werden diese Arbeiten ausgeführt:

- Bodenaushub Arbeitsplanum 2 (siehe Anhang A.3)
- Herstellen der Oberfläche des Arbeitsplanums 2 inklusive Sauberkeitsschicht (siehe Anhang A.3)
- Freilegen der Bohrpfahlbewehrung für die Errichtung der Pfahlaussteifungen
- Betonbauarbeiten für den Bau der Pfahlaussteifungen (siehe Anhang A.6)
- Bodenaushub Arbeitsplanum 3 (siehe Anhang A.4)
- Herstellen des Arbeitsplanums 3 inklusive der Bodenauswechslungen (siehe Anhang A.4)

Die Abhängigkeiten unter den angeführten Gewerken werden mit Hilfe des Abschnitts 1 veranschaulicht, der am Anfang des 11. Monats startet.

Nach Abschluss des Bodenabtrages der quartären Kiese und Sande mit einem Hydraulikbagger mit einer täglichen Leistung von 1.350 m³ pro Tag wird mit den Arbeiten am Feinplanum AP 2 begonnen, um Voraussetzungen für eine optimale Geräteausnutzung zu schaffen. Das Freilegen der Bohrpfahlbewehrung für das Einbinden der Aussteifungen in die Pfähle startet, wenn im ersten Streckenabschnitt die Sauberkeitsschicht befahrbar ist. Die Geschwindigkeit dieser beiden GEH beträgt 23,65 m/AT, somit werden am 2. Werktag nach Abschluss des Feinplanums Arbeiten für die Errichtung der Pfahlaussteifungen aufgenommen. Die Stemmarbeiten verfügen zu diesem Zeitpunkt bereits über einen Vorsprung von 32 m.⁹⁷

⁹⁷ Siehe Zeit-Wege-Diagramm

Bei der Herstellung der Pfahlaussteifungen ist aufgrund des Schalungsgrades von $2,58 \text{ m}^2/\text{m}^3$ besonders der Vorgang des Schalens zu berücksichtigen, da dieser 50 % der benötigten Gesamtzeit ausmacht. Bei einer Erhöhung der Ressourcen können zeitliche Abweichungen ausgeglichen werden, da an mehreren Stellen des Abschnitts gleichzeitig gearbeitet werden kann.

Im Bauablauf wird für das Aushärten des Betons der Pfahlaussteifungen ein Zeitbedarf von 10 Arbeitstagen berücksichtigt. Die Festlegung des genauen zeitlichen Aufwands kann erst nach Wahl eines genauen Betonrezeptes erfolgen. Der Bodenaushub zwischen den Bohrpfählen startet, mit einer Gesamtdauer von circa 15 Arbeitstagen, 5 Arbeitstage vor Beendigung der Betonbauarbeiten. Ein Mindestabstand von 10 Arbeitstagen kann somit eingehalten werden.

Das Abspitzen bzw. Freilegen der Bohrpfahlbewehrung für die Herstellung des Deckels bis Stationierung km 0+145 beginnt und endet zur selben Zeit wie der Bodenaushub für das Arbeitsplanum 3, um sicherzustellen, dass der Beginn der Betonbauarbeiten für den Deckel bzw. die Portale nicht von den Stemmarbeiten beeinflusst wird.

Zwischen Bodenaushub AP 3 und der Herstellung der Oberfläche für das Planum (A AP 3) besteht eine Ende-Anfang-Beziehung, wobei die angeführten Vorgänge im A AP 3 enthalten sind:

- Verlegung des Vlieses
- Einbringen des „Sprengschutts“
- Verteilen
- Planieren
- Verdichten
- Aufbringen der Sauberkeitsschicht

Von einer Bodenauswechslung bis Stationierung km 0+250 wird abgesehen, da die Stillwassersedimente noch von einer circa 4 m mächtigen Schicht aus quartären Kiesen und Sanden überlagert wird.

Die Verknüpfung der einzelnen Vorgänge ist in Abschnitt 2 und 3 analog zum Abschnitt 1. Die Stemmarbeiten für den Deckel starten hingegen bereits nach Einbringen der Bodenauswechslung, da sie in diesem Bereich am kritischen Weg liegen.⁹⁸

⁹⁸ Siehe Zeit-Wege-Diagramm; Einbau des Deckels bei Block 15.

Der Beginn der Erdarbeiten für das Arbeitsplanum 2 ist in den Abschnitten 2 und 3 von den Düsenstrahlarbeiten an der Sohle abhängig. Am selben Werktag, an dem die DSV - Sohle bis Stationierung km 0+520 fertiggestellt wird, wird der Aushub (EA AP 2) für den Abschnitt 2 in Angriff genommen. In Abschnitt 3 werden die Erdarbeiten für das AP 2 begonnen, wenn die DSV-Geräte in den letzten Tunnelabschnitt überstellt werden.⁹⁹

4.1.4 Betonbauarbeiten Deckel und Portale

Die Betonbauarbeiten zur Herstellung des Deckels, der Bodenplatte und der Innenschalenwände werden so ausgelegt, dass in einer Arbeitswoche ein Abschnitt eines Blockes betoniert wird. Am Freitag muss dieser somit fertiggestellt werden, da eine Ausschallfrist von 36 Stunden einzuhalten ist.¹⁰⁰ Bei Abweichungen führt dies zu einem Zeitverlust.

Aus dieser Bedingung ergeben sich die benötigten Ressourcen unter Berücksichtigung der angegebenen Aufwandswerte, um in einer Woche 60 t Stahl und 500 m³ Beton einbauen zu können. Im Folgenden wird das Personal zur Herstellung des Deckels angegeben (siehe Anhang A.6):

- Schalen: 6 Arbeiter
- Bewehren: 9 Arbeiter
- Betonieren und Abziehen: 6 Arbeiter

4 Arbeitstage nach Beginn der Leistungen A AP 3 wird mit den Betonarbeiten an den Portalen gestartet (siehe Bild 4.1), da zu diesem Zeitpunkt die Bodenauswechslung über den gesamten Abschnitt und im Bereich der Portale die Sauberkeitsschicht fertiggestellt ist.

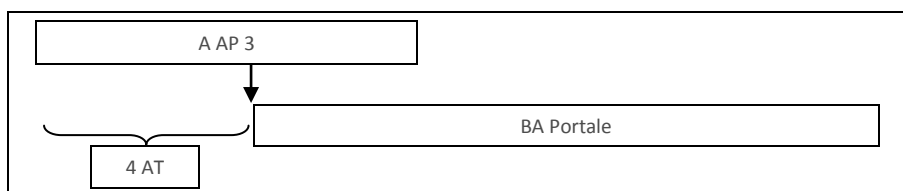


Bild 4.1 Beziehung zwischen A AP 3 und BA Portale

⁹⁹ Siehe Zeit-Wege-Diagramm

¹⁰⁰ Vgl. Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik: Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke - Weiße Wannen; Ausgabe März 2009; S. 55.

Die Beziehung zwischen den Betonarbeiten am Deckel und den Portalen wird mit einer Normalfolge festgelegt.

Die Herstellung der Aussteifungen und der Gurtbalken wird vor allem von den Schalarbeiten mit 45 % der Zeit beeinflusst. Die Vorgänge Bewehren und Betonieren nehmen mit 26 bzw. 29 % lediglich 55 % des Zeitbedarfs ein. Beim Deckel hingegen dominiert das Bewehren mit 77 % der Zeit, gefolgt von der Tätigkeit Betonieren mit 14 und den Schalarbeiten mit 9 % (siehe Anhang A.6).

Im Folgenden wird der benötigte Zeitbedarf für die Portale und den Deckel dargestellt:

- BA Portal Ost: 14 AT
- BA Deckel: 128 AT
- BA Portal West: 13 AT

4.1.5 Erdbauarbeiten unter dem Deckel

Die Erdbauarbeiten in den Aushubphasen und die Herstellung des Arbeitsplanums 4 setzen sich aus mehreren Vorgängen zusammen (siehe Kapitel 3.6). Die daraus resultierenden Leistungsansätze können dem Anhang A.7 entnommen werden. Die Geschwindigkeit der 1. Aushubphase (1. AP) mit 9,30 Metern pro Tag und einer Ausbauleistung von circa 690 m³ wird jedoch als Beispiel angegeben, wobei der Vorgang des Ladens 55 % der Zeit ausmacht.

Der Bauablauf wird auch von der Aushärtungszeit des Deckels beeinflusst, da sich die Festigkeitsklasse BS 1 zur Nacherhärtung auf ein Betonalter von 56 Tagen bezieht. Die erforderliche Festigkeit gilt als erreicht, wenn nach 28 Tagen mindestens 95 % der erforderlichen 56-Tage-Festigkeit erreicht sind.¹⁰¹

Für die vorliegende Arbeit wird angenommen, dass der Beton nach 30 Arbeitstagen, das entspricht circa 42 Wochentagen, eine nötige Festigkeit aufweist, um den Aushub unter dem Deckel durchführen zu können.¹⁰² Demzufolge ist ein Mindestabstand zwischen den Erdarbeiten und der Herstellung des Deckels von mindestens 30 Arbeitstagen einzuhalten.

¹⁰¹ Vgl. Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik: Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke - Weiße Wannen; Ausgabe März 2009; S. 41.

¹⁰² Entspricht dem Mittelwert beider Werte

Bei einer Verringerung des Mindestabstandes von 30 Arbeitstagen kann eine maximale Bauzeit von circa 10 Arbeitstagen gewonnen werden, da auch ein Zeitbedarf für die Aushärtung des Betons am Portal West beachtet werden muss.¹⁰³

Der Beginn des Erdbaus unter dem Deckel in der letzten Woche des 15. Monats wird, unter Berücksichtigung einer einmaligen Unterbrechung der Arbeiten in der 1. Aushubphase, um die 2. Aushubphase nachzuziehen, und der Einhaltung des Mindestabstandes von 30 Arbeitstagen, so gewählt, dass eine ehestmögliche Fertigstellung der 1. Aushubphase möglich ist. Bei häufigerem Wechsel zwischen den Ebenen könnte mit den Arbeiten theoretisch früher begonnen werden. Der Bauablauf wird aber durch das Umsetzen der Baugeräte und das Herstellen der Rampen gestört. Bei einem einmaligen Umstellen wird ein Zeitbedarf von circa 1,50 Arbeitstagen eingeplant. In dieser Zeit werden auch Wartungsarbeiten an den Geräten durchgeführt, um das Risiko etwaiger Stillstände durch Reparaturen zu minimieren.

Nach Beendigung des Bodenaushubs unter dem Deckel wird mit dem Einbau der Filterschicht und der Herstellung des Arbeitsplanums 4 im Osten bis Stationierung km 0+225 begonnen (Ende-Anfang-Beziehung). Während der Errichtung des Arbeitsplanums 4 (bis Stationierung km 0+225), um die Betonbauarbeiten früher in Angriff nehmen zu können, erfolgt die Materialversorgung für den Einbau der geneigten Entwässerungsbohrung vom Westportal. Die Errichtung dieser Brunnen, welche mit einem zeitlichen Aufwand von 41 Arbeitstagen abgeschätzt wird, ist somit nicht zeitkritisch. Beim Beginn der Arbeiten der geneigten Entwässerungsbohrungen ist lediglich auf einen minimalen Abstand zu den Erdarbeiten an der Abbaufont von circa 50 m zu achten, um eventuelle Störungen aufgrund beengter Platzverhältnisse zu vermeiden. Dieser Abstand ergibt sich aus der Vielzahl der benötigten Geräte für den Aushub und der dazwischen liegenden Gewerke für das Reinigen der Zwickel und das Waschen der Bohrpfähle.

4.1.6 Betonbauarbeiten unter dem Deckel

Der Betonbau unter dem Deckel setzt sich aus den Arbeiten an der Bodenplatte und der Innenschale zusammen. Nach Beendigung des Arbeitsplanums 4 (bis Stationierung km 0+225) und dem Freilegen der Bohrpfahlbewehrung der ersten Abschnittslänge von 13 m kann die Bodenplatte in Angriff genommen werden.

¹⁰³ Siehe Zeit-Wege-Diagramm: Betonbauarbeiten Portal West

Im Vergleich zum Deckel wird die Anzahl der Arbeitskräfte für die Bewehrungsarbeiten erhöht. Bei eventuellen Zeitabweichungen muss der Platzbedarf berücksichtigt werden, da eine Erhöhung der Arbeiterzahl, aufgrund beengter Platzverhältnisse, nur eingeschränkt möglich ist.

Das Errichten der Innenschalenwände beginnt circa 24 Arbeitstage später als die Bodenplatte, wenn der Bodenplattenabschnitt für den Block 22 hergestellt wird. Somit ist ein ausreichender Platz von circa 3 Blocklängen für die Bewehrung, zusätzliches Schalungsmaterial und für das Abstellen einer Arbeitsbühne vorhanden.

Aus den angeführten Beziehungen und Abhängigkeiten lässt sich ein Zeitbedarf von 29,70 Monaten für die untersuchten Gewerke ableiten. Der zeitliche Aufwand für den Innenausbau und für Restarbeiten wird mit 4,30 Monaten abgeschätzt, somit ergibt sich eine Bauzeit von circa 34 Monaten.¹⁰⁴ Eine 35-monatige Bauzeit beinhaltet einen Puffer von einem Monat für witterungsbedingte Zeitverzögerungen und andere nicht quantifizierbare Risiken.

Bauzeit

¹⁰⁴ Vgl. DSK Koralmbahn: Einreichprojekt 2008, Einlage 10101 - Baukonzept, K_MA_EB_BK_00_xxx_0101_F_00; S. 79.

5 Der kritische Weg und Sensitivitäten

In diesem Kapitel werden der kritische Weg und die Auswirkung auf die Bauzeit bei Änderungen der Leistungsansätze beschrieben, wobei die Einflüsse auf die Gewerke bereits im Kapitel 3 dargestellt wurden.

In der Baustelleneinrichtungsphase liegen alle untersuchten Beziehungen auf dem kritischen Weg, da sie mit einer Ende-Anfang-Beziehung verknüpft sind. Aufgrund des Umstandes, dass eine zeitliche Abschätzung der Baufeldfreimachung und der Vorarbeiten eingeschränkt ausführbar ist, ist eine Optimierung der Bauzeit möglich, um eventuelle Abweichungen ausgleichen zu können. Bei einer größeren Verschiebung der Bauzeit kann die Herstellung der Spundwände mit Erhöhung eines maschinellen und personellen Aufwands ausgegliedert und teilweise parallel zu den Erdarbeiten durchgeführt werden. Im folgenden Ausschnitt aus dem Balkendiagramm wird ein Gewinn von 14 Arbeitstagen mit dieser Anpassung erreicht. Die Arbeiten zur Errichtung der Baustelleneinrichtung sind nicht zeitkritisch.

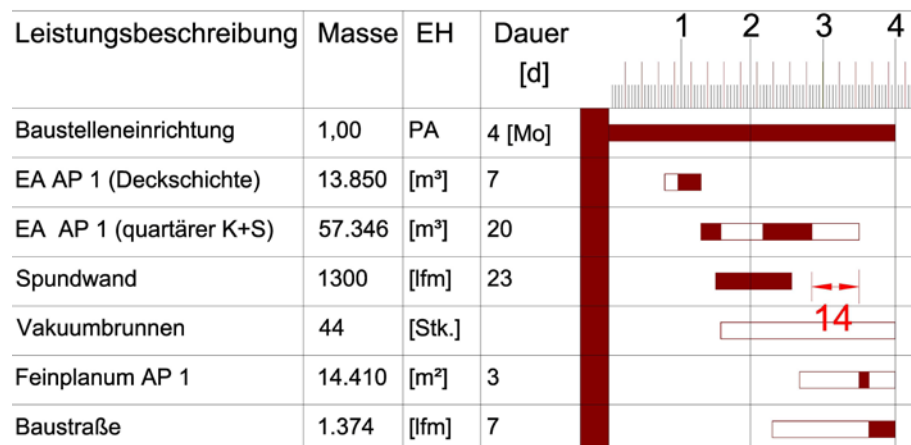


Bild 5.1 Ausschnitt aus dem Balkendiagramm nach Änderung der Abhängigkeiten zwischen der Spundwandherstellung und den EA AP 1

5.1.1 Spezialtiefbauarbeiten

Bei den Spezialtiefbauarbeiten ist besonders auf die Bohrpfähleistung zu achten, da, wie bereits beschrieben, an einem Arbeitstag nur ganze Bohrpfähle erzeugt werden können. Bei Abweichungen führt dies zu großen zeitlichen Verzögerungen in der Bauzeit. In Tabelle 5.1 werden die Auswirkungen auf die Dauer bei der Herstellung der Pfähle bei einer Leistungsminderung von einem Pfahl pro Tag abgebildet.

Bohrpfahlarbeiten

Änderung der Bohrpfahlleistung (4 GEH)					
Stationierung km	Länge	Soll-Leistung	Soll-Dauer	Ist-Leistung	Ist-Dauer
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m/AT]	[AT]
0+067	42	2,0	10,8	1,0	21,5
0+109	8	3,0	1,3	1,5	2,5
0+117		3,0	18,0	1,5	36,0
0+225	295	3,0	49,3	1,5	98,5
0+520	70	3,0	12,0	1,5	24,0
0+590	110	3,0	18,3	1,5	36,5
0+700	12	3,0	2,0	1,5	4,0
0+712	22	3,0	5,5	1,5	11,0
0+734	45	3,0	7,5	2,0	11,3
0+779	10	3,8	1,3	2,5	2,0
0+789		3,8	1,3	2,5	2,0
			126		247

Tabelle 5.1 Auswirkungen auf die Herstellungszeit bei Minderung der Bohrpfahlleistung

Wie der Tabelle entnommen werden kann, erhöht sich die Herstellzeit um 121 Arbeitstage. Daraus resultiert eine Bauzeitverzögerung von 110 Arbeitstagen, wenn die beschriebenen Abhängigkeiten zu den nachfolgenden Gewerken unverändert bleiben. Die Verzögerung wirkt sich nicht zu 100 % auf die Bauzeit aus, da die Arbeiten an der DSV - Sohle mit einer Verspätung von 81 Tagen und nicht nach 121 Arbeitstagen aufgenommen werden können. Somit beginnen diese vor den DSV - Zwickelabdichtungen.

Im folgenden Ausschnitt aus dem Zeit-Wege-Diagramm werden die Auswirkungen auf den Bauablauf unter der Prämisse, dass die Abhängigkeiten unter den Gewerken unverändert bleiben, abgebildet.

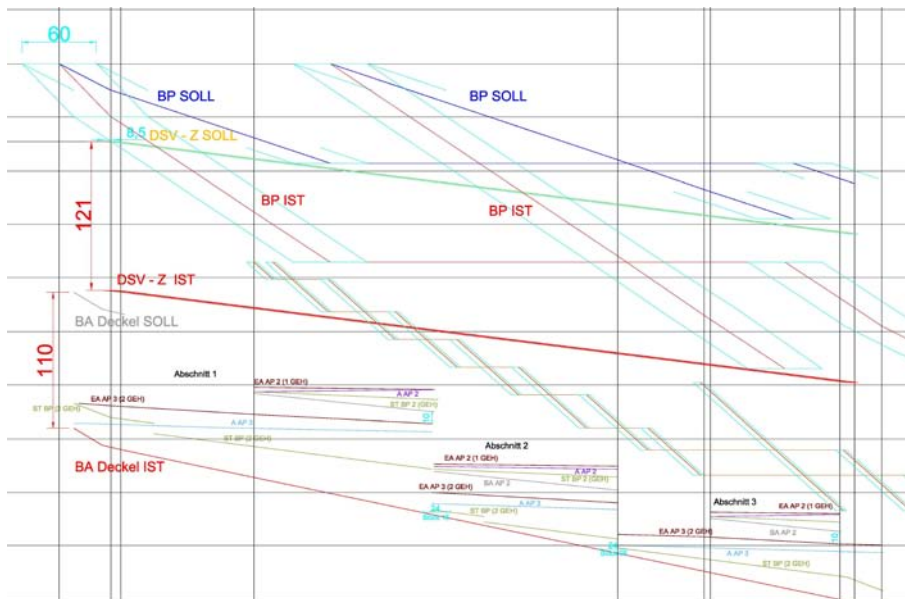


Bild 5.2 Auswirkung auf die Bauzeit bei Minderung der Bohrpfahlleistung

Die Auswirkungen auf die Bauzeit können durch Änderungen im Bauablauf um 30 Arbeitstage reduziert werden. Dabei wird angenommen, dass die Düsenstrahlarbeiten - Sohle bereits 2 Monate nach den Bohrpfahlarbeiten bei Stationierung km 0+286 mit 2 GEH startet. Beim Einsatz von 4 GEH wäre die Geschwindigkeit zu groß und die Arbeiten müssten ständig unterbrochen werden, da die Geschwindigkeit der Bohrpfähle geringer wäre.

Weitere 2 GEH starten die DSV-Arbeiten, unter Berücksichtigung des Platzbedarfs, ehestmöglich bei Stationierung km 0+225, um das Baufeld im Osten so früh als möglich für die Erdbauarbeiten frei zu bekommen. Die Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtungen können erst nach 121 Arbeitstagen in Angriff genommen werden. Aufgrund der vergleichsweise hohen Geschwindigkeit werden die Arbeiten an der DSV - Sohle bei Stationierung km 0+550 eingeholt. In diesem Zeitraum ist besonders auf Ablaufstörungen zu achten, da beengte Platzverhältnisse auftreten.

Der frühzeitige Start der Düsenstrahlarbeiten wirkt sich auch auf die Herstellung der Arbeitsplanie aus. Die erste Teilstrecke für das Arbeitsplanum 2, die von Stationierung km 0+225 bis km 0+520 reicht, kann in einem Vorgang und nicht zeitlich getrennt ausgeführt werden.¹⁰⁵ Zusätzlich müssen die Erdbauarbeiten am Arbeitsplanum 3 (EA AP 3, A AP 3) bis Stationierung km 0+225 vorgezogen werden, um mit den Betonbauarbeiten am Portal früher beginnen zu können.

¹⁰⁵ Siehe Zeit-Wege-Diagramm

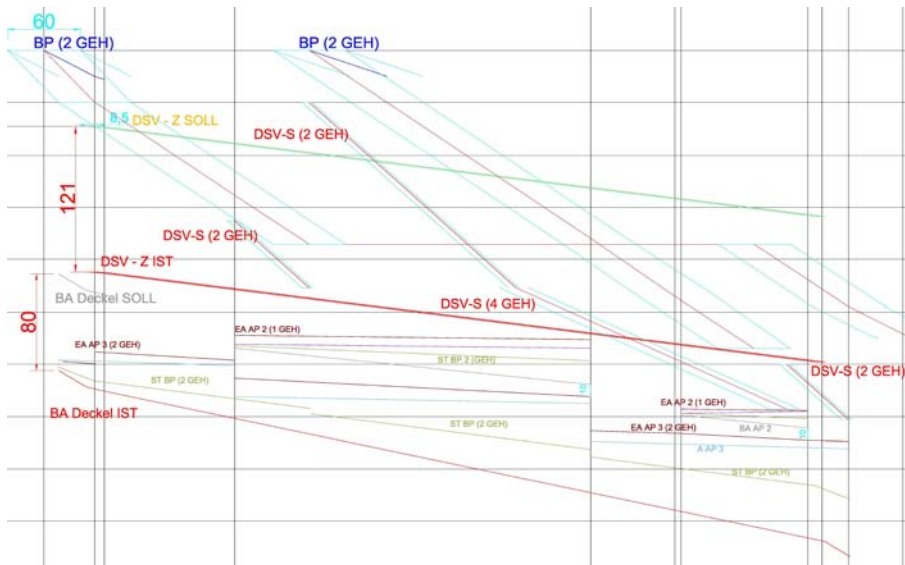


Bild 5.3 Änderung des Bauablaufes um Auswirkungen auf die Bauzeit reduzieren

Die Auswirkungen auf den Bauablauf bei einer Leistungsänderung der Düsenstrahlarbeiten werden mit einer Schwankung von 20 % im folgenden Abschnitt dargestellt.

Düsenstrahlarbeiten

Bei den DSV - Zwickelabdichtungen führt eine Steigerung der Leistung von 20 % zu einer 5-tägigen Verkürzung der Herstellzeit, jedoch nicht in der Bauzeit zu gewinnen. Als Grund kann die geringe Geschwindigkeit des vorhergehenden Gewerkes mit 3 m/AT angegeben werden, da die DSV-Arbeiten im Vergleich mit 7,80 m/AT die Bohrpfahl-arbeiten einholen. Die Tätigkeiten müssen somit für 10 Arbeitstage unterbrochen werden. Der Gewinn von 5 Arbeitstagen führt lediglich zu einem geringen Zeitgewinn bei den Arbeiten an der DSV - Sohle. Im Bild 5.4 werden die Auswirkungen auf den Bauablauf in einem Ausschnitt des Zeit-Wege-Diagrammes veranschaulicht.

DSV - Zwickelabdichtung

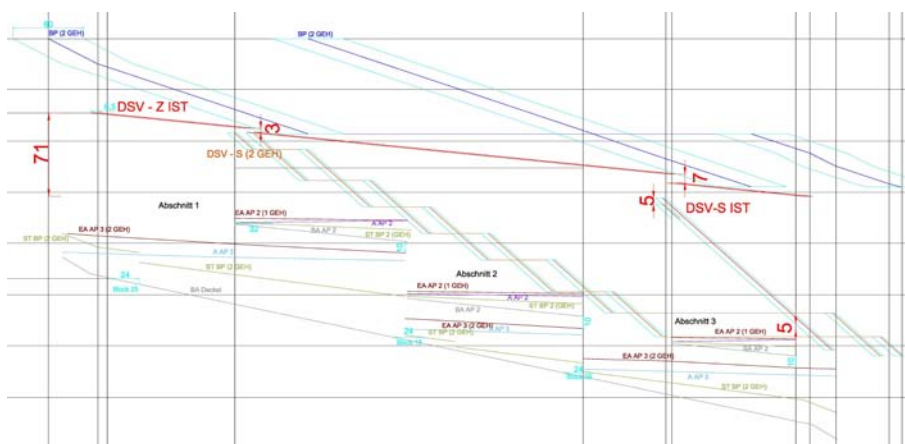


Bild 5.4 Auswirkungen auf den Bauablauf bei einer 20%igen Steigerung der Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtung

Die Reduzierung der Leistung verursacht Störungen und Verschiebungen im Bauablauf. Eine Verlängerung der Herstellzeit um 15 Arbeitstage bei den DSV - Zwickelabdichtungen führt zu einer 7-tägigen Verzögerung der Arbeiten in Abschnitt 3 (siehe Bild 5.4). Diese Abweichung resultiert aus dem Umstand, dass die Düsenstrahlarbeiten an der Sohle länger benötigen, da die Bohrgeräte erst später umgerüstet werden können. Änderungen des Bauablaufes in diesem Abschnitt verhindern jedoch Auswirkungen auf die Bauzeit. Der Bodenaushub, die Bodenauswechslung und das Freilegen der Bohrpfahlbewehrung für das Arbeitsplanum 3 werden im Streckenabschnitt, der von Stationierung 0+520 bis km 0+590 reicht, vorgezogen, somit können die Betonbauarbeiten am Deckel ungehindert fortgeführt werden.

Bei den Arbeiten an der Zwickelabdichtung ist besonders auf den Vorgang des Düsens zu achten, da dieser circa 44 % des Leistungswertes ausmacht.

Aus den angeführten Gründen liegen die Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtungen nicht am kritischen Weg.

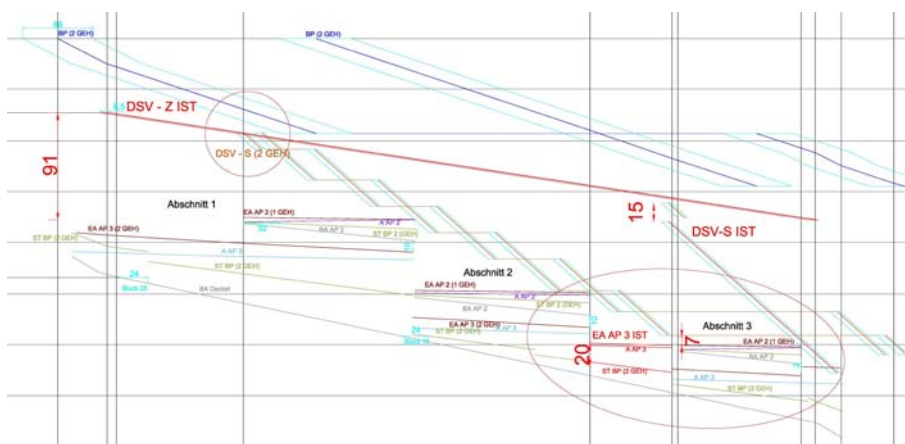


Bild 5.5 Auswirkungen auf den Bauablauf bei einer 20%igen Reduzierung der Leistung der Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtung

Im Gegensatz zu den DSV - Zwickelabdichtungen hat eine Änderung der Leistung bei der Herstellung der Sohle Einfluss auf die Bauzeit. Bei einer Steigerung von 20 % wird die Herstellzeit um 38 Arbeitstage verkürzt. Ein zeitlicher Gewinn für den Gesamtablauf von 19 Arbeitstagen wird erzielt, wenn die Abhängigkeiten der Folgegewerke unverändert bleiben. Eine Verkürzung des Abschnitts 1 und demnach eine Verlängerung des Abschnitts 2 würde einen weiteren Zeitgewinn bringen. Im Bild 5.6 werden die Auswirkungen auf den Bauablauf abgebildet.

DSV - Sohle

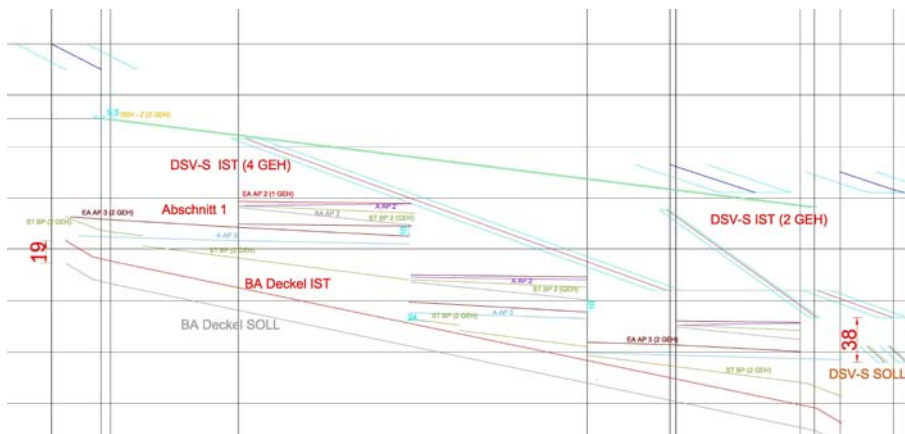


Bild 5.6 Auswirkungen auf den Bauablauf bei einer 20%igen Steigerung der Leistung bei den Düsenstrahlarbeiten - Sohle

Ein Leistungsverlust von 20 % führt zu einer Verlängerung der Gesamtbauzeit von 26 Arbeitstagen. Ein direkter Vergleich zeigt, dass eine Reduzierung der Leistung größere Auswirkungen auf die Gesamtbauzeit als eine Steigerung hat. Um zeitlichen Abweichungen in der Bauphase entgegenzuwirken, ist bei den Düsenstrahlarbeiten - Sohle besonders auf den Vorgang des Bohrens zu achten, weil dieser circa 50 % der Leistung ausmacht. Der verhältnismäßig hohe Anteil ist auf die geringe Höhe der Düsenstrahlkörper von 2,67 m und die Bohrtiefe von 19 m zurückzuführen. Bei den Düsenstrahlarbeiten für die Herstellung der Zwickelabdichtung wurde im Versuchsfeld eine Bohrleistung von 1,33 lfm/min, im Gegensatz zu den Arbeiten an der Sohle ein Leistungswert von 2,50 lfm/min, ermittelt. Eine Erhöhung der Bohrleistung bei der Sohle erscheint aufgrund der verhältnismäßig geringen Leistung als logisch.

Im Bild 5.7 wird dargestellt, dass bei einer Verlängerung der Bauzeit durch einen Leistungsverlust an der DSV - Sohle die Vorgänge des Abschnitts 2 auf dem kritischen Weg liegen.

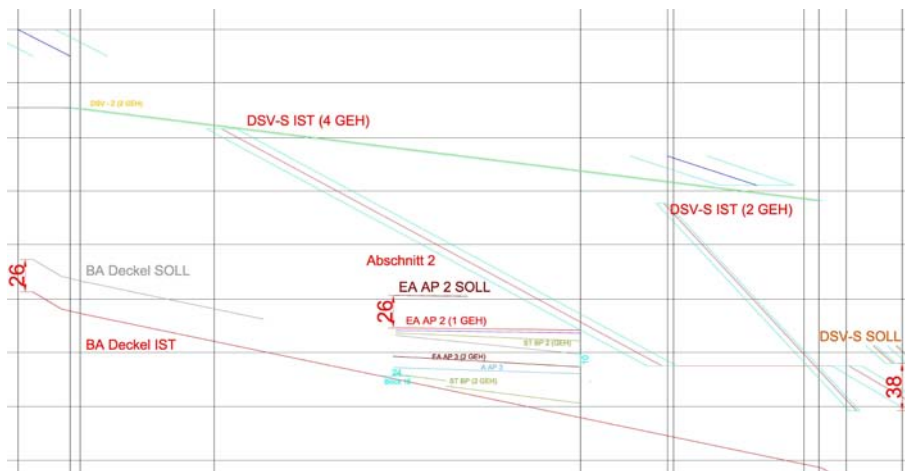


Bild 5.7 Auswirkungen auf den Bauablauf bei einer 20%igen Reduzierung der Leistung bei den Düsenstrahlarbeiten - Sohle

5.1.2 Arbeitsplanum 2 und Arbeitsplanum 3

Bis zur Fertigstellung des Arbeitsplanums 3 ist eine Vielzahl von Vorgängen miteinander verknüpft, welche am kritischen Weg liegen. Abweichungen der Leistungswerte führen unweigerlich zu Verzögerungen in der Bauzeit, wobei der Bodenaushub für das Arbeitsplanum 3 besonders berücksichtigt werden muss, da eine Erhöhung der Kapazitäten nur eingeschränkt möglich ist.

Die angenommene Aushärtungszeit des Betons für die Pfahl-aussteifungen von 10 Arbeitstagen kann zu Abweichungen führen, wenn sich aus dem Betonrezept und der Auslastung im Bauzustand durch den Statiker eine Verlängerung der Zeit ergibt. In den Abschnitten 1 und 3 kann mit den Arbeiten am Arbeitsplanum 2 früher begonnen werden, um einer zeitlichen Verzögerung entgegenzuwirken, in Abschnitt 2 ist dies jedoch nicht möglich.

Demzufolge wird stellvertretend für alle Gewerke die Auswirkung auf den Bauablauf bei einer Verlängerung der Aushärtungszeit von 10 Arbeitstagen auf 20 (= 28 Tage) dargestellt, da sich Änderungen bei den Gewerken analog dazu verhalten. Im Bild 5.8 wird deutlich, dass sich zeitliche Abweichungen in den einzelnen Abschnitten direkt auf die Bauzeit niederschlagen.

Eine Untersuchung der Erdbauarbeiten unter dem Deckel wird nicht durchgeführt, da die Vorgänge am kritischen Weg liegen und sich aufgrund der Ende-Anfang-Beziehung mit den nachfolgenden Gewerken direkt auf den Bauablauf auswirken.

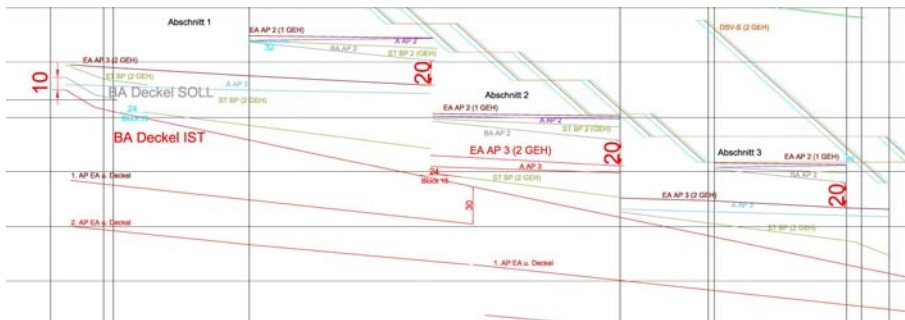


Bild 5.8 Auswirkungen auf den Bauablauf bei Verlängerung der Aushärungszeit des Betons für die Pfahlaussteifungen

5.1.3 Betonbau

Bei der Herstellung der Innenschale wirkt sich eine geringfügige zeitliche Abweichung unverhältnismäßig hoch aus, weil eine Ausschulfrist von 36 Stunden einzuhalten ist.¹⁰⁶ Die daraus resultierenden Auswirkungen auf den Bauablauf werden anhand eines Deckelabschnitts veranschaulicht.

Wie bereits beschrieben orientiert, sich die Fertigung eines Abschnitts an einer Arbeitswoche, um das Wochenende für das Aushärten des Betons heranziehen zu können. Bei zeitlichen Verzögerungen kann der Beton somit erst in der darauffolgenden Woche eingebracht werden. Nach Einhaltung einer Ausschulfrist von 36 Stunden oder 1,50 Arbeitstagen können die Schalarbeiten am nächsten Abschnitt durchgeführt werden. Die Abweichung eines Arbeitstages führt zu einer Verlängerung der Bauzeit von 5 Arbeitstagen, da die Ausschulfrist der nächsten beiden Blöcke auf Werkstage fallen. Der Ausschnitt aus dem Zeit-Wege-Diagramm stellt diese Problematik dar.

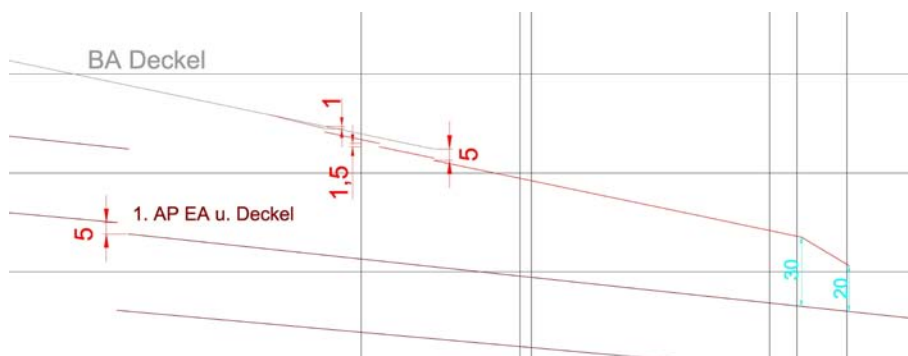


Bild 5.9 Bauzeitverzögerungen bei einer Leistungsreduzierung bei einem Deckelabschnitt

¹⁰⁶ Vgl. Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik: Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke - Weiße Wannen; Ausgabe März 2009; S. 55.

Abweichungen unter dem Deckel können nur eingeschränkt mit einer Erhöhung des Personals ausgeglichen werden, da die Produktivität nicht nur von der Arbeitszeit, sondern auch von der zur Verfügung stehenden Arbeitsfläche abhängt.¹⁰⁷

Aufgrund dessen ist besonderes Augenmerk auf die Herstellung der Innenschale zu legen, zumal die Arbeiten am kritischen Weg liegen.

¹⁰⁷ Vgl. Hofstadler, C.: Bauzeit und Baukosten für Stahlbetonarbeiten, Berechnungsmethoden und Anwendung, Beton und Stahlbetonbau, Heft 5, 2009; S. 270.

6 Schlussfolgerung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die baubetriebliche Untersuchung möglicher Ablaufszenarien bei der Herstellung eines Tunnels in Deckelbauweise. Bei einer derartigen Analyse stellt die Ermittlung der Massen und der Leistungsansätze die Basis für alle weiteren Betrachtungen dar. Aus diesem Grund wurde für das Projekt Srejach eine Massenermittlung für die wesentlichen Gewerke durchgeführt und die unterschiedliche Verteilung der Massen am Baufeld konnte in den Bauablauf eingearbeitet werden.

Für die Berechnung der Leistungswerte wurden Erkenntnisse aus dem Versuchsfeld, der einschlägigen Literatur und Erfahrungswerte herangezogen, wobei für die Bestimmung der Bauzeit bei der Herstellung des Deckels u.a. auf Aufnahmen der TU Graz am Hengsbergtunnel zurückgegriffen werden konnte.

Durch die vorangehenden Untersuchungen des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft konnte beispielsweise bei der Ausgestaltung der Baustraße im Zuge der Betonage des Deckels Empfehlungen zur Verbreiterung der Baustraße ausgesprochen werden. Für die gewählte Betonierleistung müssen dabei zwei Fahrmischer die Betonpumpe mit Frischbeton versorgen. Zusätzlich ist im Zusammenhang mit der Baustraße auf die beengten Platzverhältnisse zu verweisen, da die Baustraße immer wieder von schwerem Gerät als Manipulationsfläche genutzt wird. Aus diesem Grund wurde versucht, die Baustraße in das Arbeitsplanum zu integrieren. Der Aufbau der Baustraße und die nötige Stärke der Bodenauswechslungen wurden ebenfalls durch Versuche in Untersammelsdorf ermittelt.

Die bauzeitliche Darstellung im Zeit-Wege-Diagramm ermöglichte eine Variantenstudie unter Berücksichtigung der eingesetzten Kapazitäten, dem benötigten Platzbedarf und den jeweiligen Angriffspunkten im Baufeld. Durch die unterschiedliche Neigung, als Ausdruck des Baufortschrittes der entsprechenden Geräte, Kolonnen und Gewerke konnten Kollisionen erkannt und Abhängigkeiten verdeutlicht werden. Das Zeit-Wege-Diagramm wurde mit einem Balkendiagramm ergänzt, um die benötigten Kapazitäten an Personal und Gerät übersichtlicher darzustellen.

Ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Berechnung der Bauzeit ist eine logische Gliederung der Leistungen in technische Vorgänge, um die Haupttätigkeiten erfassen zu können. Als Beispiel können die Düsenstrahlarbeiten an der Sohle angeführt werden. Dieses Bauverfahren wird in sieben Vorgänge gegliedert, wobei das Bohren etwa 50 % der Leistung ausmacht. Für das Düsen der Zwickel und der Sohle wurden im Versuchsfeld unterschiedliche Bohrleistungen ermittelt. Aufgrund des hohen Anteils des Bohrvorganges an den Sohlearbeiten und der

vergleichsweise geringen Bohrgeschwindigkeit ist eine höhere Bohrleistung bei der Herstellung der DSV - Sohle möglich. In dieser Betrachtung muss zusätzlich die Serienfertigung der Düsenstrahlkörper in Srejach im Gegensatz zur Herstellung von Probesäulen in Untersammelsdorf berücksichtigt werden.

Als weiteres Beispiel kann die Errichtung des Deckels angeführt werden, da der Anteil der Bewehrungsarbeiten 77 % der Herstellzeit ausmachen. Die Wahl des Kranes musste, um Voraussetzungen für die Erreichung der Leistungsansätze zu schaffen, bedacht werden.

Bei derart geräteintensiven Arbeiten und den projektspezifischen Bodenverhältnissen ist auf die ordnungsgemäße Herstellung der Arbeitsebenen zu achten, da unter anderem die Geräteleistungen der Spezialtiefbauarbeiten davon abhängig sind. Bei den Düsenstrahl- und den Bohrpfahlarbeiten werden demzufolge Geräte für die Erhaltung des Arbeitsplans vorgehalten. Einen weiteren wichtigen Punkt stellt die Wartung und Reparatur von Geräten dar, um Stillstandszeiten zu vermeiden. Für das Säubern und Warten der Geräte werden bei den Düsenstrahlarbeiten circa 30 Minuten täglich eingerechnet. Müsste dieser Wert, aufgrund der vorliegenden Bodenverhältnisse beispielsweise auf eine Stunde erhöht werden, hätte dies eine circa 5%ige Auswirkung auf die Leistung bei den Düsenstrahlarbeiten.

Bei der Errichtung des Tunnelprojektes Srejach ist besonders auf die Arbeiten des Spezialtiefbaus zu achten, da Änderungen von Leistungsansätzen zu einem erheblichen Zeitverlust führen. Eine Ausnahme stellen jedoch die Düsenstrahlarbeiten für die Abdichtung der Zwickel dar, wo eine 20%ige Schwankung der Leistungsansätze keinen Einfluss auf die Bauzeit hat. In der Sensitivitätsanalyse wurde hingegen gezeigt, dass Abweichungen beim Bau der Innenschale unverhältnismäßig hohe Auswirkungen auf die Bauzeit haben würden. Eine Erhöhung der Kapazitäten, um Bauzeitverlängerungen ausgleichen zu können, ist aufgrund der begrenzten Arbeitsflächen jedoch nur bedingt möglich.

Bei der Bauablaufplanung wurden auch die Bodenauswechslungen, der Einbau der geeigneten Entwässerungsbohrungen und der Filterschicht zur Grundwasserkommunikation berücksichtigt. Die Entwässerungsbohrungen liegen dabei nicht am kritischen Weg.

Verzögerungen, welche durch Modifikationen am Bauablauf nicht behoben werden können, werden in der Bauzeitermittlung vereinfachend mit einer Pufferzeit von einem Monat berücksichtigt.

Entstehende Zeitabweichungen nach Leistungsänderungen wirken sich, aufgrund der komplexen baubetrieblichen Abhängigkeiten, somit nicht immer direkt auf die Bauzeit aus. Eine Optimierung der Bauzeit und eines möglichen Bauablaufs ist ausschließlich mit einem Zeit-Wege-Diagramm möglich, wobei Randbedingungen, wie beengte Platzverhältnisse eingearbeitet werden können

Glossar

Bauablaufplanung	<i>Zeitplanung für den Ablauf von Bauvorgängen. Damit verbunden ist die Kapazitätsplanung (vgl. Kapazität). Das Ziel der B. ist die Ermittlung und Darstellung der zeitlichen Abfolge der Arbeitsvorgänge, das Feststellen von logischen Abhängigkeiten der Arbeitsvorgänge, das Feststellen der gesamten Bauzeit und die Optimierung des Ablaufes hinsichtlich Zeit und/oder Einsatzmittel¹⁰⁸</i>
Düsenstrahlkörper	<i>Anzahl von Düsenstrahlelementen, die teilweise oder vollständig miteinander verbunden sind.¹⁰⁹</i>
Düsenstrahlverfahren	<i>(Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting) Vorgang, der darin besteht, dass Boden oder mäßig festes Gestein in seine Bestandteile zerlegt und mit zementhaltiger Mischung versetzt bzw. teilweise durch diese Mischung ersetzt wird. Das Auflösen des Bodengefüges wird durch einen energiereichen Flüssigkeitsstrahl bewirkt, wobei die Flüssigkeit die Zementsuspension sein kann.¹¹⁰</i>
Einsatzmittel	<i>Zur Durchführung von Bauarbeiten im Baubetrieb erforderliche Produktionsfaktoren:</i> <i>- Personal (Arbeiter, Angestellte)</i> <i>- Maschinen (Baugeräte, LKW, Einrichtungen)</i> <i>- Baumaterialien</i> <i>- Geld (Finanzmittel zur Vorfinanzierung von Arbeiten, (...)).</i> <i>Es wird zwischen nicht verzehrbaren E. (Kapazitäten) und verzehrbaren E. unterschieden¹¹¹</i>
Einschalige Bauweise	<i>Die Außenwände des Bauwerkes bestehen ausschließlich aus dichten Schlitzwänden oder dichten Bohrpfahlwänden. Die Decken liegen auf diesen Wänden auf (oberste Decke) oder dichten Bohrpfahlwänden. Die Sohlplatte hat einen wasserundurchlässigen Anschluss an die Wände. Die Sohlplatte ist entsprechend der gegenständlichen Richtlinie auszubilden. Die oberste Decke ist im Regelfall mit einer außenliegenden Abdichtung zu versehen. (...)¹¹²</i>
Kapazitäten	<i>siehe Einsatzmittel</i>
Kappen	<i>Entfernen von verschmutztem oder minderwertigem Beton vom Pfahlkopf.¹¹³</i>

¹⁰⁸ Oberndorfer, W.J.; Jodl, G.H.: Handwörterbuch der Bauwirtschaft; S. 28.

¹⁰⁹ Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 12716, Ausgabe 2002; S. 4.

¹¹⁰ Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 12716, Ausgabe 2002; S. 4.

¹¹¹ Oberndorfer, W.J.; Jodl, G.H.: Handwörterbuch der Bauwirtschaft; S. 61.

¹¹² Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik: Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke - Weiße Wannen; Ausgabe März 2009; S. 7.

¹¹³ Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1536, Ausgabe 1999; S. 69.

Kapphöhe	<i>Verordnete Höhe, bis zu der ein Pfahl abgestemmt wird, damit er mit dem darüber liegenden Bauteil verbunden werden kann.</i> ¹¹⁴
Kritischer Vorgang	<i>Begriff der Netzplantechnik. Vorgang dessen früheste Lage gleich seiner spätesten Lage ist [s. ÖN A 6770, Pkt. 11.5]. Sämtliche k. V. liegen am kritischen Weg eines Projektes.</i> ¹¹⁵
Kritischer Weg	<i>Begriff der Netzplantechnik. Aufeinanderfolge ausschließlich kritischer Vorgänge. Die auf dem k. W. liegenden Vorgänge bestimmen die Gesamtdauer eines Projektes. Jedes Projekt hat mindestens einen k. W. [S. ÖN A 6770, Pkt. 11.6; ÖN A 6775, Pkt. 2.6.2.]</i> ¹¹⁶
Leerbohrung	<i>Bohrstrecke von der Arbeitsebene bis zur Betonierhöhe bzw. dem planmäßigen Pfahlkopf</i> ¹¹⁷
Leistungswert	<i>Produktion einer Arbeits- oder Gerätegruppe in einer Zeiteinheit (bezogen auf Stunden, Schichten, Tage). Der Leistungswert ist der Quotient von Produktionsmenge zu Produktionszeit. (Synonym für Leistung, Arbeitsleistung, Produktionsleistung, Einheitsleistung)</i> ¹¹⁸ <i>Der Aufwandswert stellt den Reziprokwert des Leistungswertes dar.</i> ¹¹⁹
Ende-Anfang-Beziehung	<i>Ein Synonym für Normalfolge. Eine Ende-Anfang-Beziehung verbindet zwei Vorgänge auf die einfachste Weise. Nach Beendigung des Vorgängervorganges wird mit dem Nachfolgervorgang begonnen. Damit kann der Folgevorgang erst beginnen, wenn der erste Vorgang beendet ist.</i> ¹²⁰
Pfahlkopf	<i>Oberer Teil eines Pfahles</i> ¹²¹
Pfahlsohle	<i>Grundfläche eines Pfahles</i> ¹²²
Planum	<i>Verdichtete, lage- und höhenmäßig definierte Fläche.</i> ¹²³
Pufferzeit	<i>Begriff der Netzplantechnik. Zeitspanne, um die ein Vorgang verschoben oder ausgedehnt werden kann, ohne dass sich daraus eine Verlängerung der Gesamtbauzeit oder eine Behinderung eines nachfolgenden Vorganges ergibt.</i> ¹²⁴

¹¹⁴ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1536, Ausgabe 1999; S. 69.

¹¹⁵ Oberndorfer, W.J.; Jodl, G.H.: Handwörterbuch der Bauwirtschaft; S. 153.

¹¹⁶ Oberndorfer, W.J.; Jodl, G.H.: Handwörterbuch der Bauwirtschaft; S. 156.

¹¹⁷ Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1536, Ausgabe 1999; S. 69.

¹¹⁸ Vgl. Oberndorfer, W.J.; Jodl, G.H.: Handwörterbuch der Bauwirtschaft; S. 99.

¹¹⁹ Vgl. Oberndorfer, W.J.; Jodl, G.H.: Handwörterbuch der Bauwirtschaft; S. 25.

¹²⁰ Vgl. <http://www.projektmagazin.de/glossar/gl-0248.html>; Datum des Zugriffs 03.09.2010 16:51.

¹²¹ Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1536, Ausgabe 1999; S. 68.

¹²² Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1536, Ausgabe 1999; S. 68.

¹²³ Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 2205, Ausgabe 2000; S. 5.

¹²⁴ Oberndorfer, W.J.; Jodl, G.H.: Handwörterbuch der Bauwirtschaft; S. 127.

Rückfluss

*Austritt der beim Düsvorgang entstandenen Mischung aus eingebrachten Flüssigkeiten und Bodenpartikeln, der in der Regel über den Ringraum im Bohrloch an der Geländeoberfläche des Baugrundes erfolgt.*¹²⁵

Zweischalige Bauweise

*Der Baugrubenwand (Bohrpfahl- oder Schlitzwand) wird eine, der gegenständlichen Richtlinie entsprechende Betonwand (Innenschale) vorgesetzt. Die Kontaktverzehrung bzw. der Reibungsverbund zwischen der Innenschale und der Baugrubenwand wird, im Hinblick auf eine Rissminimierung, konstruktiv und statisch berücksichtigt (Trennlage nach Erfordernis, Bewehrung zur Rissverteilung usw.).(...)*¹²⁶

¹²⁵ Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 12716, Ausgabe 2002; S. 5.

¹²⁶ Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik: Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke - Weiße Wannen; Ausgabe März 2009; S. 8.

Literaturverzeichnis

- BERNER, F.; PAUL, W.:** Rammen, Ziehen, Pressen, Rütteln, in Grundbau - Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, Teil 2, HRSG.: WITT, J., 7. Auflage, Berlin: Ernst und Sohn Verlag 2009.
- BUJA, H.O.:** Angebotsbearbeitung, Arbeitsvorbereitung und Vertragsrecht im Spezialtiefbau; Düsseldorf: Werner Verlag 2001.
- DREES, G.; KURZ, T.:** Aufwandstabellen von Lohn- und Gerätestunden im Ingenieurbau zur Kalkulation angemessener Baupreise; Stuttgart: Bauverlag GMBH 1979.
- DSK KORALMBAHN; ARGE DEPISCH SEIP KÄRNTEN:** Koralmbahn-Einreichabschnitt Mittlern-Althofen Einreichprojekt 2008, Baukonzept, Bericht Baukonzept; März 2008.
- GIRMSCHIED, G.:** Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse; 3 überarbeitete Auflage, Zürich: Springer Verlag 2005.
- HBPM INGENIEURE GMBH:** Schlussbericht Düsenstrahlverfahren; Dezember 2009.
- HECK, D.:** Baubetriebslehre VU, Skriptum Technische Universität Graz WS 09/10, Graz 2009. (BBL-Skript)
- HOFSTADLER, C.:** Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb; Heidelberg, New York: Springer Verlag 2007.
- HOFSTADLER, C.:** Bauzeit und Baukosten für Stahlbetonarbeiten, Berechnungsmethoden und Anwendung; Beton und Stahlbetonbau, Heft 5, 2009.
- HUDELMAIER, K. F.:** Spezialtiefbau Kompendium Band II, Verfahrenstechnik und Geräteauswahl, Bohrgeräte und Geräteauswahl; 1. Auflage, München: Ernst und Sohn Verlag 2009.
- ILF BERATENDE INGENIEURE ZT GMBH; ÖHLINGER + METZ ZIVILTECHNIKER GES.M.B.H.:** Koralmbahn - Einreichabschnitt Mittlern-Althofen, Tunnelbauten, Technischer Bericht; April 2008.
- LECHNER, H.:** Betriebliche Planungsmethoden, Skriptum Technische Universität SS 2006, Graz 2006.
- OBERNDORFER, W.J.; JODL, G.H.:** Handwörterbuch der Bauwirtschaft; 2. Auflage, Wien: Österreichische Normungsinstitut 2001.
- SCHACH, R.; OTTO, J.:** Baustelleneinrichtung, Grundlagen - Planung - Praxishinweise - Vorschriften und Regeln; 1. Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag 2008.
- SEITZ, H.G.; SCHMIDT, J.M.:** Bohrpfähle, Berlin: Ernst und Sohn Verlag 2000.

STADLER, G.: Grundlagen der Bauverfahren, Skriptum Technische Universität Graz SS 2004, Graz 2004.

WEBER, K.; GARSTKA, B.: Ratgeber für den Tiefbau; 6. Auflage, München: Werner Verlag 2005.

ZENTRALVERBAND DES DEUTSCHEN BAUWERBES e.V.: Arbeitszeit Richtwerte Hochbau; 3. Auflage, Insenburg: Zeittechnik-Verlag GmbH 1999.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN 1536, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau), Bohrpfähle; Wien 1999.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM B 4710-1, Beton, Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis; Wien 2004.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM B 2205, Erdarbeiten Werkvertragsnorm; Wien 2000.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN 12716, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting); Wien 2002.

ÖSTERREICHISCHE VEREINIGUNG FÜR BETON UND BAUTECHNIK: Wasserundurchlässige Betonbauwerke-Weiße Wannen; Wien 2009.

AIGNER, S.: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten, Ein kritischer Vergleich von Literaturangaben; Diplomarbeit am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft; Technische Universität Graz; Graz 2003.

HÖHN, S.: Versuchsfeld Untersammelsdorf-Analyse von baubetrieblich-wirtschaftlich relevanten Prozessparametern beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit Technische Universität Graz; Graz 2009.

KALOGEROPOULOS, N.: Leistungsermittlung von Maschinen und Geräten im Baubetrieb, Masterarbeit am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft; Technische Universität Graz; Graz 2010.

SCHEUCHER, C.: Zur Leistungsermittlung von Maschinen und Geräten im Baubetrieb; Diplomarbeit am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft; Technische Universität Graz; Graz 1997.

Linkverzeichnis:

BAUER, S.: Schrobhausen: Entwicklungen in der Bohrtechnik; Anforderungen an Spezialtiefbaugeräte am Beispiel der Bauer-BG-Drehbohrgeräte-Reihe; http://www.baumaschine.de/Portal/Tbg/2001/heft6/a411_417.pdf; Datum des Zugriffs: 01.08.2010 07:12 Uhr.

Handbuch Arbeitsorganisation Bau: <http://www.zeittechnik-verlag.de/pdfs/ARH-Betonarbeiten.pdf>; Datum des Zugriffs: 12.06.2010 22:10 Uhr.

Titelbild: <http://www.ifh.uni-karlsruhe.de/events/nl-99/berichte/11/bohrpfahlwand.jpg>; Datum des Zugriffs: 24.09.2010 18:11 Uhr.

<http://www.projektmagazin.de/glossar/gl-0248.html>; Datum des Zugriffs: 03.09.2010 16:51 Uhr.

<http://www.a3betonpumpen.ch/angebote-produkte/betonpumpen/typ-20m.html>; Datum des Zugriffs: 21.08.2010 10:27 Uhr.

http://www.volvo.com/nr/rdonlyres/4f1a355e-3b28-4b19-a688-777b0a553f10/0/brochurea25ea30e_25b1003154_200709.pdf; Datum des Zugriffs: 15.09.2010 06:30 Uhr.

http://www.schwickert-baumaschinen.de/_mediafiles/262-volvo_radlader_l_120_e.pdf; Datum des Zugriffs: 15.09.2010 06:30 Uhr.

Technische Datenblätter: <http://www.casagrandegroup.com>; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 23:30 Uhr.

Technisches Datenblatt Bomag 211 D-4; <http://www.bomag.com/germany/index.aspx?&Lang=558>; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 22:30 Uhr.

Technische Datenblätter Liebherr: http://www.liebherr.com/de-DE/default_lh.wfw; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 09:42 Uhr.

A.1 Täglicher Materialverbrauch

A.1.1 Spezialtiefbau

Bohrpfahlarbeiten (2 Bohrkolonnen)					
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Beton; Bohrgut	Bewehrungskörbe
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]	[Stk/AT]
0+067	42	2,0	21,5	86,0	4
0+109		3,0	2,5	86,0	4
0+117	108	3,0	36,0	108,6	4
0+225	295	3,0	98,5	99,5	4
0+520	70	3,0	24,0	90,5	4
0+590	110	3,0	36,5	99,5	4
0+700	12	3,0	4,0	86,0	4
0+712	22	2,0	11,0	86,0	4
0+734	45	3,0	15,0	101,8	6
0+779	10	3,8	2,6	90,5	8
0+789					

Düsenstrahlarbeiten - Zwickelabdichtung (2 Bohrkolonnen)									
Stat km	Länge [m]	L [m/AT]	Dauer [AT]	Suspension	Rückfluss	Zement	WV - Suspension	WV - Bohren, - Vorschneiden	WV - Gesamt [m³/AT]
				0,5 [m³/lfm] [m³/AT]	Faktor 5,2 [m³/AT]	W/B-Wert = 1 [t/AT]	[m³/AT]	0,443 [m³/lfm] [m³/AT]	
0+109	8	12,5	0,6	78,1	408,4	59,4	59,4	69,2	128,6
0+117		7,8	76,0	78,1	408,4	59,4	59,4	69,2	128,6
0+712	595								

Düsenstrahlarbeiten - Sohle (2 Bohrkolonnen)									
Stat km	Länge [m]	L [m/AT]	Dauer [AT]	Suspension	Rückfluss	Zement	WV - Suspension	WV - Bohren, - Vorschneiden	WV - Gesamt [m³/AT]
				1,26 [m³/m³ Sohle] [m³/AT]	Faktor 3,5 [m³/AT]	W/B-Wert = 1 [t/AT]	[m³/AT]	1,61 [m³/m³ Sohle] [m³/AT]	
0+225	565	1,12	506,2	64,0	177,7	48,6	48,6	81,7	130,3
0+790									

A.1.2 Erdbauarbeiten über dem Deckel

Erdbauarbeiten Arbeitsplan 1				
Bodenart	Kubatur	Anzahl der GEH	Leistung	Dauer
	[m ³]	[-]	[m ³ /AT]	[AT]
Deckschichte	13.850	1	2.000	6,9
quartärer Kies+Sand	57.346	2	2.900	19,8

Erdbauarbeiten Arbeitsplan 2 (1 GEH)				
Stationierung km	Länge	Leistung		Dauer
	[m]	[m/AT]	[m ³ /AT]	[AT]
0+225	295	83,3	1350	3,54
0+520				
0+595	105	83,3	1350	1,26
0+700				

Erdbauarbeiten Arbeitsplan 3 (2 GEH)						
Stationierung km	Länge	Leistung		Dauer	quartärer Kies+Sand	Stillwasser- sediment
	[m]	[m/AT]	[m ³ /AT]	[AT]	[m ³ /AT]	[m ³ /AT]
0+110	115	16,6	1300,0	6,9	1300,0	0,0
0+225	175	19,3	1300,0	9,1	1300,0	0,0
0+400	120	17,5	1300,0	6,9	709,1	590,9
0+520	70	35,7	1300,0	2,0	577,8	722,2
0+590	110	18,9	1300,0	5,8	790,2	509,8
0+700	35	43,8	1300,0	0,8	1300,0	0,0

A.1.3 Herstellen der Arbeitsebenen

Herstellen der Oberfläche AP 1 (1 GEH)			
Stationierung km	Fläche	Leistung	Dauer
	[m]	[m ² /AT]	[AT]
0+067	14.410	6000	2,4
0+789			

Herstellen der Oberfläche AP 2 (1 GEH)				
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Einbau
	[m]	[m/AT]	[AT]	Sauberkeitsschichte
				[m ³ /AT]
0+225	295	68,8	4,3	23,4
0+520				
0+595	105	68,8	1,5	23,4
0+700				

Herstellen der Oberfläche AP 3 (1 GEH)						
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Einbau		
				Sauberkeits- schichte	Sprengschutt	Vlies
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m ³ /AT]	[m ³ /AT]	[m ² /AT]
0+079	171	38,0	4,5	51,3	0,0	0,0
0+250						
0+735	485	30,8	15,7	41,7	250,3	436,6

A.1.4 Herstellen der Baustraße

Herstellen der Baustraße (1 GEH)					
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Einbau	
	[m]	[m/AT]	[AT]	Sprengschutt	Vlies
				[m ³ /AT]	[m ² /AT]
Nordseite	687	220,0	3,12	726,0	1270,5
Südseite	687	220,0	3,12	726,0	1270,5

A.1.5 Erdbauarbeiten unter dem Deckel

Erdbauarbeiten 1. AP unter dem Deckel (1 GEH)							
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Erdaushub		Einbau	
				quartärer Kies+Sand	Stillwasser- sediment	Sprengschutt	Vlies
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]			[m²/AT]
0+083	167	9,3	18,0	502,2	187,5	75,3	131,8
0+250							
0+770	520	9,3	55,9	0,0	690,5	75,3	131,8

Erdbauarbeiten 2. AP unter dem Deckel (1 GEH)							
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Erdaushub		Einbau	
				quartärer Kies+Sand	Stillwasser- sediment	Sprengschutt	Vlies
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]			[m²/AT]
0+083	142	9,9	14,3	0,0	670,3	80,4	140,0
0+225							
0+781	556	11,1	50,0	0,0	720,6	30,0	0,0

Herstellen der Oberfläche AP 4 (1 GEH)						
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Sprengschutt	Einbau	
					Filterschicht	Sauberkeitsschicht
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]	[m³/AT]	[m³/AT]
0+083	142	25,6	5,5	207,4	244,0	34,9
0+225						
0+781	556	26,8	20,7	72,4	181,3	36,3

A.1.6 Betonbauarbeiten

Freilegen der Bohrpfahlbewehrung für die Pfahlaussteifungen (2 GEH)

Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Ausbruch
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]
0+225	295	23,65	12,5	1,9
0+520				
0+595	105	23,65	4,4	1,9
0+700				

Betonbauarbeiten Pfahlaussteifungen

Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Einbau	
				Beton	Bewehrung
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]	[to/AT]
0+225	295	9,8	30,1	12,8	1,66
0+520					
0+595	105	9,8	10,7	12,8	1,66
0+700					

Abstemmen der Bohrpfahlköpfe Portale (2 GEH)

Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Ausbruch
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]
0+079	30	2,60	11,6	2,3
0+109				
0+706	29	2,60	11,2	2,3
0+735				

Betonbauarbeiten Portale (Aussteifungen und Gurtbalken)

Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Einbau	
				Beton	Bewehrung
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]	[to/AT]
0+079	23	1,67	13,8	14,2	1,71
0+102					
0+714	21	1,67	12,6	14,2	1,71
0+735					

Freilegen der Bohrfahlbewehrung für den Deckel (2 GEH)				
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Ausbruch
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]
0+109	597	7,86	76,0	1,9
0+706				

Betonbauarbeiten Deckelabschnitt					
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Einbau	
				Beton	Bewehrung
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/Abschnitt]	[t/Abschnitt]
0+120	24	4,61	5,2	500,4	60,05
0+144					

Freilegen der Bohrfahlbewehrung für die Bodenplatte (2 GEH)				
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Ausbruch
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/AT]
0+083	698	7,86	88,8	1,9
0+781				

Betonbauarbeiten Bodenplattenabschnitt					
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Einbau	
				Beton	Bewehrung
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/Abschnitt]	[t/Abschnitt]
0+120	24	4,69	5,1	512,6	66,65
0+144					


Betonbauarbeiten Innenschalenabschnitt Wände					
Stationierung km	Länge	Leistung	Dauer	Einbau	
				Beton	Bewehrung
	[m]	[m/AT]	[AT]	[m³/Abschnitt]	[t/Abschnitt]
0+120	24	4,78	5,0	364,8	47,42
0+144					


A.1.7 Geneigte Entwässerungsbohrungen

geneigte Entwässerungsbohrungen (2 GEH)								
Stationierung km	Länge	Leistung Bohren	Leistung Einbau	Dauer Bohren	Dauer Einbau	Bohrgut [m ³ /AT]	Einbau	
	[m]	[m/AT]	[m/AT]	[AT]	[AT]		Kies	Filterstränge
							[m ³ /AT]	[Stk/AT]
0+083	697	18,02	20,9	38,7	33,4	3,0	2,1	13,9
0+780								


A.2 Leistungsberechnungen für die Herstellung des AP 1


LEISTUNGSBERECHNUNG AP 1					
PLANIERRAUPE					
Hersteller	Liebherr				
Typ	PR 744 Litronic				
LEISTUNGSDATEN					
Schildtyp		Brustschild			[-]
Nenninhalt	V_N	6,0			[m³]
Schildbreite	b	4,5			[m]
Motorleistung	P	185			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Deckschichte abtragen				
Bodenart/BK		Mutterboden	Pläne	1	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S	Humus	Baukonzept S. 12.	1,15	[-]
Füllungsfaktor	f_F	Mutterboden	BBL-Skript S. 03.	1,00	[-]
Zeitfaktor	f_Z	$0,83 \leq f_Z \leq 0,92$		0,90	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		0,87	[-]
Spielzahl	n	Förderw. 50m	BBL-Skript S. 107.	50	[1/h]
Schildfaktor	f_S	Brustschild	BBL-Skript S. 108.	1,00	[-]
Grundleistung	Q_T	$V_N \cdot f_Z \cdot f_L \cdot n \cdot f_S$		234,8	[m³/h]
Baustellenfaktor	f_{E1}	Neigung 0 %	BBL-Skript S. 109.	1,00	[-]
Betriebsfaktor	f_{E2}	gut	BBL-Skript S. 205.	0,88	[-]
Abminderungsfaktor	f_E	$f_{E1} \cdot f_{E2}$		0,88	[-]
Technische Nutzleistung	Q_N	$Q_T \cdot f_E$		206,6	[m³/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				200	[m³/h]
Ermittelte Transportmasse				13.850	[m³]
Anzahl der Geräte				1	[-]
Ermittelte Zeit				69	[h]

LEISTUNGSBERECHNUNG AP 1					
RADLADER					
Hersteller	Volvo				
Typ	L 120E				
					
LEISTUNGSDATEN					
Nenninhalt	V_N	3,6			[m ³]
Werkzeug		Universalschaufel			[-]
Motorleistung	P	165			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Laden Deckschichte				
Bodenart/BK		BK 1		1	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S		Baukonzept S. 12.	1,15	[-]
Füllungsfaktor	f_F		BBL-Skript S. 98.	1,10	[-]
Zeitfaktor	f_Z	$0,83 \leq f_Z \leq 0,92$		0,90	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		0,96	[-]
Füllzeit	t_F	locker	BBL-Skript S. 99.	5,0	[s]
Entleerzeit	t_E	Muldenkipper	BBL-Skript S. 100.	3,8	[s]
Fahrzeit	t_{GF}	30m; wellig	BBL-Skript S. 99.	26	[s]
Hauptspielzeit	T_S	$t_F + t_E + t_{GF}$		35	[s]
Zeitzuschlag	Δt	wellig weich	BBL-Skript S. 99.	6,0	[s]
Grundleistung	Q_T	$(3600 \cdot V_N \cdot f_L \cdot f_Z) / (T_S + \Delta t)$		273,5	[m ³ /h]
Baustellenfaktor	f_{E1}		BBL-Skript S. 101.	0,93	[-]
Betriebsfaktor	f_{E2}		BBL-Skript S. 205.	0,88	[-]
Einsatzfaktor	f_E	$f_{E1} \cdot f_{E2}$		0,89	[-]
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_T \cdot f_E$		223,8	[m ³ /h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				220	[m ³ /h]
Ermittelte Transportmasse				13.850	[m ³]
Anzahl der Geräte				1	[-]
Ermittelte Zeit				63	[h]

LEISTUNGSBERECHNUNG AP 1				
DUMPER				
Hersteller	Volvo			
Typ	A 30 E			
				
LEISTUNGSDATEN				
Nenninhalt	V_N	17,5	[m ³]	
Grundleistung Ladegerät	$Q_{T-Ladegerät}$	220	[m ³ /h]	
Länge des Streckenbereiches	l_i	350	[m]	
Gewicht	m	23	[t]	
Höchstgeschwindigkeit	v_{max}	53	[km/h]	
Motorleistung	N	252	[kW]	
BERECHNUNG				
Art der Arbeit	Deckschicht Transportkette			
Bodenart/BK		BK 1	Plan	1
Grundleistung	Q_T	$V_N \cdot f_L \cdot (60/T_S)$	123,2	[m ³ /h]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S	0,96	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S	Baukonzept S. 12.	1,15	[-]
Füllungsfaktor	f_F	BBL-Skript S.129.	1,10	[-]
Grundspielzeit	T_S	$t_B+t_{Laf}+t_{TK}+t_{Lef}+t_{Waw}$	8,15	[min]
Beladezeit	t_b	$(V_N \cdot f_L \cdot 60)/Q_{T-Ladegerät}$	4,57	[min]
Lastfahrzeit	t_{Laf}	$(l_1/v_1+t_{b,1}+t_{br})+(l_2/v_2+t_{b,2}+t_{br})$	1,04	[min]
Tunnelstrecke	l_1	Abschnitt 1	50,0	[m]
Strecke bis Lagerplatz	l_2	freie Strecke	200,0	[m]
Geschwindigkeit Tunnel	v_1	$v_{i,max} \cdot k_g$	2,94	[m/s]
Geschwindigkeit freie Strecke	v_2	$v_{i,max} \cdot k_g$	7,36	[m/s]
Geschwindigkeitskorrekturfaktor	k_{g1}	Tabelle 2	BBL-Skript S. 130.	0,20
Geschwindigkeitskorrekturfaktor	k_{g2}	Tabelle 2	BBL-Skript S. 130.	0,50
Beschleunigungszuschlag	$t_{b,1}$	$(v_2^2-v_1^2) \cdot f_b$	6,78	[s]
Beschleunigungsfaktor	f_b	Bild 4	BBL-Skript S.131.	0,15
Gesamtwiderstand	$w_{eff,1}$	$w_{R,1}+(\Delta H/(l_1 \cdot 100))$	5,00	[%]
Gesamtwiderstand 2	\square	$w_{R,2}+(\Delta H/(l_2 \cdot 100))$	5,00	[%]
Höhendifferenz Tunnel	ΔH_1		10,00	[m]
Höhendifferenz freie Strecke	ΔH_2		10,00	[m]
Effektive Motorleistung	N_{eff}	$N_{max} \cdot \eta$	214,2	[kW]
Gesamtwirkungsgrad	η	gew. $0,75 \leq \eta \leq 0,85$	0,85	[-]
Masse vollgeladen	m_{voll}	$m_{leer}+m_{inhalt}$	43,09	[to]


Masse Inhalt	m_{inhalt}	$V_{N,\rho} \cdot f_L$	20,09	[to]
Dichte	ρ	Annahme	1,20	[t/m ³]
Zeitzuschlag Stoppbremsungen	t_{br1}	$m/(N_B \cdot 2) \cdot v_1^2$	1,25	[s]
Zeitzuschlag Stoppbremsungen	t_{br2}	$m/(N_B \cdot 2) \cdot v_2^2$	3,63	[s]
Kippzeit	t_k	Tabelle 5 BBL-Skript S.132.	1,00	[min]
Leerfahrtszeit	t_{Lef}	$(l_1/v_1 + t_{b,1} + t_{br}) + (l_2/v_2 + t_{b,2} + t_{br})$	1,04	[min]
Wagenwechselzeit	t_{Waw}	$0 < t_{Waw} < 0,6$	0,50	[min]
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_T \cdot (T_s/t_{EP}) \cdot f_t \cdot f_{E1} \cdot f_{E2}$	192,2	[m ³ /h]
Engpasszeit	t_{EP}	$\text{Max}(t_b; t_k)$	4,57	[min]
Transportbetriebsfaktor	f_t	Tabelle 6 BBL-Skript S. 133.	0,91	[-]
Baustellenfaktor	f_{E1}	Tabelle 7 BBL-Skript S. 134.	0,96	[-]
Betriebsfaktor	f_{E2}	Tabelle 5 BBL-Skript S. 70.	1,00	[-]
Ermittelte Fahrzeuganzahl	1,79		2	[Stk]

LEISTUNGSBERECHNUNG AP 1					
RAUPENBAGGER					
Hersteller	Liebherr				
Typ	R 934 C				
LEISTUNGSDATEN					
Löffeltyp		Tieflöffel			[-]
Nenninhalt	V_N	1,5			[m³]
Motorleistung	P	150			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Abtragen quartärer Kiese und Sande				
Bodenart/BK		BK 3		3	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S	MK 2	Baukonzept S. 12.	1,20	[-]
Füllungsfaktor	f_F	BK 3	BBL-Skript S. 87.	1,13	[-]
Zeitfaktor	f_Z	0,83 ≤ fz ≤ 0,92		0,90	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		0,94	[-]
Spielzahl	n		DIN 18300	170	[1/h]
Grundleistung	Q_T	$Q_T = V_N * n * f_L * f_Z$		BBL-Skript S. 68.	216 [m³/h]
Abminderungsfaktor	f_E	$f_E = f(f_{E1}, f_{E2})$			[-]
Baustellenfaktor:	f_{E1}	$f_{E1} = f_{E11} * \dots * f_{E14}$		BBL-Skript S. 69.	0,73 [-]
Schwenkwinkelf.	f_{E11}	90 Grad		BBL-Skript S. 88.	1,00 [-]
Abbautiefenfaktor	f_{E12}			BBL-Skript S. 88.	0,90 [-]
Einsatzartenfaktor	f_{E13}			BBL-Skript S. 89.	0,90 [-]
Entleerungsfaktor	f_{E14}			BBL-Skript S. 89.	0,90 [-]
Betriebsfaktor:	f_{E2}			BBL-Skript S. 70.	0,92 [-]
Volumenverhältnis.	f_{E21}			BBL-Skript S. 89.	0,96 [-]
Personal-	f_{E22}	sehr gut		BBL-Skript S. 205.	0,96 [-]
Maschinenfaktor		gut			
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_N = Q_T * f_{E1} * f_{E2}$			145,2 [m³/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				145	[m³/h]
Ermittelte Transportmasse				57.346	[m³]
Anzahl der Geräte				2	[-]
Ermittelte Zeit				198	[h]

LEISTUNGSBERECHNUNG AP 1					
DUMPER					
Hersteller	Volvo				
Typ	A 30 E				
LEISTUNGSDATEN					
Nenninhalt	V_N	17,5	[m ³]		
Grundleistung Ladegerät	$Q_{T-Ladegerät}$	290	[m ³ /h]		
Länge des Streckenbereiches	l_i	8350	[m]		
Gewicht	m	23	[t]		
Höchstgeschwindigkeit	v_{max}	53	[km/h]		
Motorleistung	N	252	[kW]		
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Abtransport quartärer Kiese und Sande				
Bodenart/BK		BK 4	4	[-]	
Grundleistung	Q_T	$V_N \cdot f_L \cdot (60/T_S)$	32,02	[m ³ /h]	
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S	0,94	[-]	
Auflockerungsfaktor	f_S	Baukonzept S. 12.	1,20	[-]	
Füllungsfaktor	f_F	BBL-Skript S.129.	1,13	[-]	
Grundspielzeit	T_S	$t_B + t_{Laf} + t_{TK} + t_{Lef} + t_{Waw}$	30,88	[min]	
Beladezeit	t_b	$(V_N \cdot f_L \cdot 60) / Q_{T-Ladegerät}$	3,41	[min]	
Lastfahrzeit	t_{Laf}	$(l_1/v_1 + t_{b,1} + t_{br}) + (l_2/v_2 + t_{b,2} + t_{br})$	12,98	[min]	
Tunnelstrecke	l_1	Abschnitt 1	350	[m]	
Strecke bis Priebelsdorf	l_2	freie Strecke	8.000	[m]	
Geschwindigkeit Tunnel	v_1	$v_{i,max} \cdot k_g$	5,59	[m/s]	
Geschwindigkeit freie Strecke	v_2	$v_{i,max} \cdot k_g$	11,78	[m/s]	
Geschwindigkeitskorrekturf.	k_{g1}	Tabelle 2	BBL-Skript S.130.	0,38	[-]
Geschwindigkeitskorrekturf.	k_{g2}	Tabelle 2	BBL-Skript S.130.	0,80	[-]
Beschleunigungszuschlag	$t_{b,1}$	$(v_2^2 - v_1^2) \cdot f_b$	11,82	[s]	
Beschleunigungsfaktor	f_b	Bild 4	BBL-Skript S.131.	0,11	[-]
Gesamtwiderstand	$w_{eff,1}$	$w_{R,1} + (\Delta H / (l_1 \cdot 100))$	3,00	[%]	
Gesamtwiderstand 2	\square	$w_{R,2} + (\Delta H / (l_2 \cdot 100))$	3,00	[%]	
Höhendifferenz Tunnel	ΔH_1	AP 1	10,00	[m]	
Höhendifferenz freie Strecke	ΔH_2		55,00	[m]	
Effektive Motorleistung	N_{eff}	$N_{max} \cdot \eta$	214,2	[kW]	
Gesamtwirkungsgrad	η	gew. $0,75 \leq \eta \leq 0,85$	0,85	[-]	


Masse vollgeladen	m_{voll}	$m_{\text{leer}}+m_{\text{inhalt}}$		42,78	[to]
Masse Inhalt	m_{inhalt}	$V_N \cdot \rho \cdot f_L$		19,78	[to]
Dichte	ρ	BK 4	Annahme	1,20	[to/m ³]
Zeitzuschlag Stoppbremsungen	t_{br1}	$m/(N_B \cdot 2) \cdot v_1^2$		4,46	[s]
Zeitzuschlag Stoppbremsungen	t_{br2}	$m/(N_B \cdot 2) \cdot v_2^2$		9,14	[s]
Kippzeit	t_k	Tabelle 5	BBL-Skript S. 132.	1,00	[min]
Leerfahrtszeit	t_{Lef}	$(l_1/v_1+t_{b,1}+t_{br})+(l_2/v_2+t_{b,2}+t_{br})$		12,98	[min]
Wagenwechselzeit	t_{Waw}	$0 < t_{\text{Waw}} < 0,6$		0,50	[min]
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_T \cdot (T_s/t_{EP}) \cdot f_t \cdot f_{E1} \cdot f_{E2}$		253,3	[m ³ /h]
Engpasszeit	t_{EP}	$\text{Max}(t_b; t_k)$		3,41	[min]
Transportbetriebsfaktor	f_t	Tabelle 6	BBL-Skript S.133.	0,91	[-]
Baustellenfaktor	f_{E1}	Tabelle 7	BBL-Skript S.134.	0,96	[-]
Betriebsfaktor	f_{E2}	Tabelle 5	BBL-Skript S.70.	1,00	[-]
Ermittelte Fahrzeuganzahl		9,06		10	[Stk]

Leistungsberechnung AP 1				
Daten				Einheit
Breite	20,0			[m]
Fläche	14.410			[m ²]
Leistungsbeschreibung	Gerät	Leistungswert		Einheit
Planieren	Grader 140 H Cat	Girmscheid, G. S. 80.		8000 [m ² /h]
Verdichten	Bomag 211-D	Vgl. LB		750 [m ² /h]
Leistungsbeschreibung	Gerät	Leistungswert		Einheit
Planieren	Grader 140 H Cat	0,0001		[h/m ²]
Verdichten	Bomag 211-D	0,0013		[h/m ²]
Rüsten + Sonstiges		0,0002		[h/m ²]
AW		0,0017		[h/m ²]
		603,02		[m ² /h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt
				600 [m ² /h]
Länge				14.410 [m ²]
Ermittelte Zeit				24 [h]

LEISTUNGSBERECHNUNG AP 1					
WALZE					
Hersteller	Bomag				
Typ	211-D				
LEISTUNGSDATEN					
Geschwindigkeit	v	3000		[m/h]	
Walzkörperbreite	b _W	2,13		[m]	
Motorleistung	P	98		[kW]	
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Verdichten der Oberfläche AP 1				
Bodenart/BK		BK 3	Pläne	3	[-]
Breite der Einbaubahn	b _{EB}		Pläne	20,0	[m]
wirksame Arbeitsbreite	b	0,8*b _W	BBL-Skript S. 118.	1,70	[m]
Zeitfaktor	f _z	0,83≤f _z 0,92	BBL-Skript S. 118.	0,92	[-]
Schichtdicke	d			0,60	[m]
Arbeitsgeschwindigkeit	v _A	Tabelle 17	BBL-Skript S. 119.	50	[m/min]
Übergänge	Ü		Girmscheid, G. S. 85.	6	[-]
Technische Grundleistung	Q _T	60*(b*d*v _A *f _z /Ü)	BBL-Skript S. 118.	470	[m ³ /h]
Technische Nutzleistung	Q _N	Q _T *f _{E2}	BBL-Skript S. 119.	451	[m ³ /h]
Betriebsfaktor	f _{E2}	Tabelle 5	BBL-Skript S. 70.	0,96	[-]
Technische Flächenleistung	Q _{NF}	QN/d	BBL-Skript S. 119.	752,5	[m ² /h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				750	[m ² /h]
verdichtete Massen				14.210	[m ²]
Anzahl der Geräte				1	[-]
Ermittelte Zeit				19	[h]

A.2.2 Leistungsberechnung Baustraße


LEISTUNGSBERECHNUNG Baustraße				
Daten		Einheit		
Breite	5,5	[m]		
Höhe	0,6	[m]		
Fläche	5,5	[m ² /m]		
Kubatur	3,30	[m ³ /m]		
Leistungswerte:	Gerät	Leistungswert		Einheit
Abtragen quartärer K.+S.	PR 744	vgl. LB	195	[m ³ /h]
Planieren	Grader 140 H Cat	Girmscheid, G. S. 80.	8.000	[m ² /h]
Verdichten Unterbau	Bomag 211-D	Vgl. LB AP 1	750	[m ² /h]
Verlegung Vlies	Bagger mit Traverse	2 Helfer, Annahme	300	[m ² /h]
Schütten		Annahme	300	[m ³ /h]
Verteilen	Grader 140 H Cat	Girmscheid, G. S. 80.	6.000	[m ² /h]
Planieren	Grader 140 H Cat	Girmscheid, G. S. 80.	6.000	[m ² /h]
Verdichten	Bomag 211-D	vgl. LB	650	[m ² /h]
Leistungswerte:	Gerät	Leistungswert		Einheit
Abtragen quartärer K.+S.	0,5*Abtragen	0,0085		[h/m]
Planieren		0,0007		[h/m]
Verdichten Unterbau		0,0073		[h/m]
Verlegung Vlies		0,0183		[h/m]
Schütten	0,0*Schütten	0,0000		[h/m]
Verteilen		0,0009		[h/m]
Planieren	Geom. Faktor: 1,1	0,0010		[h/m]
Verdichten		0,0085		[h/m]
AW		0,0452		[h/m]
		22,12		[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher			gewählt	
			22,0	[m/h]
Länge		1.374	[m]	
Ermittelte Zeit		62	[h]	

LEISTUNGSBERECHNUNG Baustraße					
PLANIERRAUPE					
Hersteller	Liebherr				
Typ	PR 744 Litronic				
					
LEISTUNGSDATEN					
Schildtyp		Brustschild			[-]
Nenninhalt	V_N	6			[m ³]
Schildbreite	b	4,5			[m]
Motorleistung	P	185			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Abtragen quartärer Kiese und Sande (0,3 m)				
Bodenart/BK		BK 3	Pläne	3	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S	MK 2	Baukonzept S. 12.	1,20	[-]
Füllungsfaktor	f_F		BBL-Skript S. 103.	0,90	[-]
Zeitfaktor	f_Z	$0,83 \leq f_Z \leq 0,92$		0,90	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		0,75	[-]
Spielzahl	n	Förderw. 50m	BBL-Skript S. 107.	50	[1/h]
Schildfaktor	f_S	Brustschild	BBL-Skript S. 108.	1,00	[-]
Grundleistung	Q_T	$V_N \cdot f_Z \cdot f_L \cdot n \cdot f_S$		202,5	[m ³ /h]
Baustellenfaktor	f_{E1}	Neigung 10 %	BBL-Skript S. 109.	1,10	[-]
Betriebsfaktor	f_{E2}	gut	BBL-Skript S. 205.	0,88	[-]
Abminderungsfaktor	f_E	$f_{E1} \cdot f_{E2}$		0,97	[-]
Technische Nutzleistung	Q_N	$Q_T \cdot f_E$		196,0	[m ³ /h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				195	[m ³ /h]
Ermittelte Transportmasse				3.218	[m ³]
Anzahl der Geräte				1	[-]
Ermittelte Zeit				17	[h]

LEISTUNGSBERECHNUNG Baustraße					
WALZE					
Hersteller	Bomag				
Typ	211-D				
LEISTUNGSDATEN					
Geschwindigkeit	v	3000			[m/h]
Walzkörperbreite	b _W	2,13			[m]
Motorleistung	P	98			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Verdichten der Oberfläche der Baustraße				
Bodenart/BK		BK 5	Pläne	5	[-]
Breite der Einbaubahn	b _{EB}		Pläne	5,50	[m]
wirksame Arbeitsbreite	b	0,8*b _W	BBL-Skript S. 118.	1,70	[m]
Zeitfaktor	f _z	0,83≤f _z ≤0,92	BBL-Skript S. 118.	0,88	[-]
Schichtdicke	d			0,60	[m]
Arbeitsgeschwindigkeit	v _A	Tabelle 17	BBL-Skript S. 119.	50	[m/min]
Übergänge	Ü		Girmscheid, G. S. 85.	6	[-]
Technische Grundleistung	Q _T	60*(b*d*v _A *f _z /Ü)	BBL-Skript S. 118.	450	[m³/h]
Technische Nutzleistung	Q _N	Q _T *f _{E2}	BBL-Skript S. 119.	396	[m³/h]
Betriebsfaktor	f _{E2}	Tabelle 5	BBL-Skript S. 70.	0,88	[-]
Technische Flächenleistung	Q _{NF}	QN/d	BBL-Skript S. 119.	659,8	[m²/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				650	[m²/h]
Fläche				7.557	[m²]
Anzahl der Geräte				1	[-]
Ermittelte Zeit				12	[h]





A.3 Leistungsberechnungen für die Herstellung des AP 2

LEISTUNGSBERECHNUNG AP 2					
RAUPENBAGGER					
Hersteller	Liebherr				
Typ	R 934 C				
LEISTUNGSDATEN					
Löffeltyp		Tieflöffel			[-]
Schnittbreite	b	1,35			[m]
Nenninhalt	V_N	1,5			[m ³]
Motorleistung	P	150			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Abtragen quartärer Kiese und Sande				
Bodenart/BK		BK 3		3	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S	MK 2	Baukonzept S. 12.	1,20	[-]
Füllungsfaktor	f_F	BK 3	BBL-Skript S. 87.	1,13	[-]
Zeitfaktor	f_Z	0,83 ≤ f_Z ≤ 0,92		0,90	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		0,94	[-]
Spielzahl	n		DIN 18300	180	[1/h]
Grundleistung	Q_T	$Q_T = V_N \cdot n \cdot f_L \cdot f_Z$		BBL-Skript S. 68.	229 [m ³ /h]
Baustellenfaktor	f_{E1}	$f_{E1} = f_{E11} \cdot \dots \cdot f_{E14}$		BBL-Skript S. 69.	0,70 [-]
Schwenkwinkelf.	f_{E11}	135 %		BBL-Skript S. 88.	0,93 [-]
Abbautiefenfaktor	f_{E12}	Grabtiefe 1,2m		BBL-Skript S. 88.	0,93 [-]
Einsatzartenfaktor	f_{E13}			BBL-Skript S. 89.	0,90 [-]
Entleerungsfaktor	f_{E14}	Baggerplanum		BBL-Skript S. 89.	0,90 [-]
Betriebsfaktor:	f_{E2}			BBL-Skript S. 70.	0,84 [-]
Volumenverhältnisf.	f_{E21}			BBL-Skript S. 89.	0,96 [-]
Personal-	f_{E22}	gut		BBL-Skript S. 205.	0,88 [-]
Maschinenfaktor		gut			
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_N = Q_T \cdot f_{E1} \cdot f_{E2}$			135,4 [m ³ /h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				135	[m ³ /h]
Ermittelte Transportmasse				6.480	[m ³]
Anzahl der Geräte				1	[-]
Ermittelte Zeit				48	[h]

Leistungsberechnung AP 2				
Daten				Einheit
Breite	13,5			[m]
Höhe	0,06			[m]
Fläche	13,50			[m ² /m]
Beton	0,34			[m ³ /m]
Leistungsbeschreibung	Gerät	Leistungswert		Einheit
Planieren	Grader 140 H Cat	vgl. LB AP 1	8000	[m ² /h]
Verdichten	Bomag 211-D	vgl. LB AP 1	750	[m ² /h]
Sauberkeitsschicht	3 Mann; Autobetonpumpe	0,34 [Std/m ³] ¹	2,94	[m ³ /h]
Leistungsbeschreibung	Gerät	Leistungswert		Einheit
Planieren	Grader 140 H Cat	0,0017		[h/m]
Verdichten	Bomag 211-D	0,0180		[h/m]
Sauberkeitsschicht	3 Mann; Autobetonpumpe	0,1156		[h/m]
Rüsten + Sonstiges		0,0100		[h/m]
AW		0,1453		[h/m]
		6,88		[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher			gewählt 6,88	[m/h]
Länge		400	[m]	
Ermittelte Zeit		58	[h]	
¹ http://www.zeittechnik-verlag.de/pdfs/ARH-Betonarbeiten.pdf ; Datum des Zugriffs: 12.06.2010 22:10; S. 23.				

A.4 Leistungsberechnungen für die Herstellung des AP 3

LEISTUNGSBERECHNUNG AP 3					
RAUPENBAGGER					
Hersteller	Liebherr				
Typ	R 934 C				
LEISTUNGSDATEN					
Löffeltyp		Tieföffel			[-]
Schnittbreite	b	1,35			[m]
Nenninhalt	V_N	1,5			[m³]
Motorleistung	P	150			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Abtrag quartärer Kiese und Sande				
Bodenart/BK		BK 3		3	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S	MK 2	Baukonzept S. 12.	1,20	[-]
Füllungsfaktor	f_F	BK 3	BBL-Skript S. 87.	1,13	[-]
Zeitfaktor	f_Z	$0,83 \leq f_Z \leq 0,92$		0,89	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		0,94	[-]
Spielzahl	n	Diagramm	DIN 18300	170	[1/h]
Grundleistung	Q_T	$Q_T = V_N \cdot n \cdot f_L \cdot f_Z$	BBL-Skript S. 68.	214	[m³/h]
Baustellenfaktor	f_{E1}	$f_{E1} = f_{E11} \cdot \dots \cdot f_{E14}$	BBL-Skript S. 69.	0,35	[-]
Schwenkwinkelf.	f_{E11}	90 %	BBL-Skript S. 88.	0,96	[-]
Abbautiefenfaktor	f_{E12}	Grabtiefe 5m	BBL-Skript S. 88.	0,82	[-]
Einsatzartenfaktor	f_{E13}		BBL-Skript S. 89.	0,50	[-]
Entleerungsfaktor	f_{E14}		BBL-Skript S. 89.	0,90	[-]
Betriebsfaktor:	f_{E2}		BBL-Skript S. 70.	0,92	[-]
Volumenverhältnis	f_{E21}		BBL-Skript S. 89.	0,96	[-]
Personal-	f_{E22}	sehr gut	BBL-Skript S. 205.	0,96	[-]
Maschinenfaktor		gut			
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_N = Q_T \cdot f_{E1} \cdot f_{E2}$		69,77	[m³/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				65	[m³/h]
Ermittelte Transportmasse				28.404	[m³]
Anzahl der Geräte				2	[-]
Ermittelte Zeit				218	[h]

LEISTUNGSBERECHNUNG AP 3					
RAUPENBAGGER					
Hersteller	Liebherr				
Typ	R 934 C				
LEISTUNGSDATEN					
Löffeltyp		Tieflöffel			[-]
Schnittbreite	b		1,35		[m]
Nenninhalt	V_N		1,5		[m ³]
Motorleistung	P		150		[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Abtrag Stillwassersedimente				
Bodenart/BK		BK 4		4	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S	MK 2	Baukonzept S. 12.	1,24	[-]
Füllungsfaktor	f_F	BK 4	BBL-Skript S. 87.	1,20	[-]
Zeitfaktor	f_Z	$0,83 \leq f_Z \leq 0,92$		0,89	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		0,97	[-]
Spielzahl	n	Diagramm	DIN 18300	160	[1/h]
Grundleistung	Q_T	$Q_T = V_N \cdot n \cdot f_L \cdot f_Z$	BBL-Skript S. 68	208	[m ³ /h]
Baustellenfaktor	f_{E1}	$f_{E1} = f_{E11} \cdot \dots \cdot f_{E14}$	BBL-Skript S. 69.	0,35	[-]
Schwenkwinkelf.	f_{E11}	90 %	BBL-Skript S. 88.	0,96	[-]
Abbautiefenfaktor	f_{E12}	Grabtiefe 5m	BBL-Skript S. 88.	0,82	[-]
Einsatzartenfaktor	f_{E13}		BBL-Skript S. 89.	0,50	[-]
Entleerungsfaktor	f_{E14}		BBL-Skript S. 89.	0,90	[-]
Betriebsfaktor:	f_{E2}		BBL-Skript S. 70.	0,92	[-]
Volumenverhältnisf.	f_{E21}		BBL-Skript S. 89.	0,96	[-]
Personal-	f_{E22}	sehr gut	BBL-Skript S. 205.	0,96	[-]
Maschinenfaktor		gut			
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_N = Q_T \cdot f_{E1} \cdot f_{E2}$		67,76	[m ³ /h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				65	[m ³ /h]
Ermittelte Transportmasse				12.488	[m ³]
Anzahl der Geräte				2	[-]
Ermittelte Zeit				96	[h]

Leistungsberechnung Bodenauswechslung AP 3 (Stat. 0+079-0+250)			
Daten			Einheit
Breite	13,5		[m]
Höhe	0,6		[m]
Fläche	13,50		[m ² /m]
Betonkubatur	1,35		[m ³ /m]
Leistungsbeschreibung	Gerät	Leistungswert	Einheit
Planieren	Grader 140 H Cat	vgl. LB AP 1	8000 [m ² /h]
Verdichten	Bomag 211-D	vgl. Baustraße	650 [m ² /h]
Sauberkeitsschicht	4 Mann; Autobetonpumpe	0,17 [Std/m ³] ¹	5,88 [m ³ /h]
Leistungsbeschreibung	Gerät	Leistungswert	Einheit
Planieren	Grader 140 H Cat	0,0017	[h/m]
Verdichten	Bomag 211-D	0,0208	[h/m]
Sauberkeitsschicht	4 Mann; Autobetonpumpe	0,2296	[h/m]
Rüsten + Sonstiges		0,0100	[h/m]
AW		0,2620	[h/m]
		3,82	[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher		gewählt	
		3,8	[m/h]
Länge		171	[m]
Ermittelte Zeit		45	[h]
¹ vgl. LB AP 2; Der AW wurde gegenüber dem AP 2 um 50 % gesenkt, da die Mannschaft um einen Arbeiter erweitert wurde und die Mengen und Flächen größer sind.			

Leistungsberechnung Bodenauswechslung AP 3 (Stat. 0+250-0+735)			
Daten			Einheit
Breite	13,5		[m]
Höhe	0,6		[m]
Fläche	13,50		[m ² /m]
Kubatur	8,10		[m ³ /m]
Betonkubatur	1,35		[m ³ /m]
Leistungsbeschreibung	Gerät	Leistungswert	Einheit
Verlegung Vlies	Bagger mit Traverse	Annahme	300 [m ² /h]
Schütten		Annahme	300 [m ³ /h]
Verteilen	Grader 140 H Cat	vgl. Baustraße	6000 [m ² /h]
Planieren	Grader 140 H Cat	vgl. LB AP 1	8000 [m ² /h]
Verdichten	Bomag 211-D	vgl. Baustraße	650 [m ² /h]
Sauberkeitsschicht	4 Mann; Autobetonpumpe	0,17 [Std/m ³] ¹	5,88 [m ³ /h]
Leistungsbeschreibung	Gerät	Leistungswert	Einheit
Verlegung Vlies	Bagger mit Traverse	0,0473 ²	[h/m]
Schütten	0,5* Schütten	0,0135	[h/m]
Verteilen	Grader 140 H Cat	0,0023	[h/m]
Planieren	Grader 140 H Cat	0,0017	[h/m]
Verdichten	Bomag 211-D	0,0208	[h/m]
Sauberkeitsschicht	4 Mann; Autobetonpumpe	0,2296	[h/m]
Rüsten + Sonstiges		0,0100	[h/m]
AW		0,3250	[h/m]
		3,08	[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher		gewählt	
		3,08	[m/h]
Länge		485	[m]
Ermittelte Zeit		157	[h]
¹ vgl. LB AP 2; Der AW wurde gegenüber dem AP 2 um 50 % gesenkt, da die Mannschaft um einen Arbeiter erweitert wurde und die Mengen und Flächen größer sind. ² Die Fläche wird um einen Faktor von 1,05 erhöht, damit Überstände und Stöße berücksichtigt werden.			

A.5 Leistungsberechnungen für die Herstellung der DSV - Zwickelabdichtung und DSV - Sohle

Leistungsberechnung DSV - Zwickelabdichtung (Stat. 0+109 - 0+712)			
Daten			EH
Durchmesser	0,80		[m]
Stückzahl	804,0		[m]
Systemabstand	1,50		[m]
Abschnitt 1 (Stat. 0+109 - 0+117)	12,5		[lfm/m]
Abschnitt 2 (Stat. 0+117 - 0+712)	20,02		[lfm/m]
Leistungsbeschreibung	Gerät	AW	EH
Auf-/Umstellen Gerät	Casagrande	12 [min/Säule]	0,014 [h/lfm]
Bohren	C 14	1,33 [lfm/min]	0,013 [h/lfm]
Bohrlochabweichung und Reichweitenmessung		~40 [min/jede 5. Säule]	0,009 [h/lfm]
Vorschneiden		1,71 [min/lfm]	0,029 [h/lfm]
Düsen		3,35 [min/lfm]	0,056 [h/lfm]
Reinigung + Wartung		~30 [min/AT]	0,007 [h/lfm]
			0,128 [h/lfm]
AW (Stat. 0+109 - 0+117)		1,59	[h/m]
		0,627	[m/h]
AW (Stat. 0+117 - 0+712)		2,55	[h/m]
		0,392	[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher		gewählt 0,627/ 0,392	[m/h]
Anzahl der Geräte		2	[Stk]
Ermittelte Zeit Abschnitt 1		6	[h]
Ermittelte Zeit Abschnitt 2		747	[h]
Ermittelte Gesamtzeit		753	[h]

Leistungsberechnung DSV - Sohle (Stat. 0+225 - 0+790)				
Daten				EH
Durchmesser		1,50		[m]
Länge:		2,67		[lfm]
Stückzahl		5.446		[m]
Rasterabstand		1,30		[m]
Bohrtiefe		19,00		[m]
Kubatur		45,48		[m³/m]
Bohrlöcher		9,64		[Bohrlöcher/m]
Leistungsbeschreibung	Gerät	AW		EH
Auf-/Umstellen Gerät	Casagrande	12 [min/Säule]	0,050	[h/m³]
Bohren	C 14	2,5 [min/lfm]	0,200	[h/m³]
Bohrlochabweichung		20 [min/jede 5. Säule]	0,018	[h/m³]
Vorschneiden		30 [cm/min]	0,038	[h/m³]
Düsen		22,5 [cm/min]	0,050	[h/m³]
Reichweitenmessung		20 [min/jede 5. Säule]	0,018	[h/m³]
Reinigung+Sonstiges		~30 [min/d]	0,020	[h/m³]
			0,39	[h/m³]
AW		17,92		[h/m]
		0,056		[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt
				17,9 [h/m]
Länge Abschnitt 1 (Stat. 0+225-0+362)				137 [m]
Länge Abschnitt 2 (Stat. 0+362-0+790)				428 [m]
Anzahl der Geräte Abschnitt 1				4 [Stk]
Anzahl der Geräte Abschnitt 2				6 [Stk]
Dauer Abschnitt 1				613 [h]
Dauer Abschnitt 2				1277 [h]
Dauer DSV - Sohle				1890 [h]

A.6 Leistungsberechnungen für die Betonbauarbeiten

Leistungsberechnung Pfahlaussteifungen			
Daten			Einheit
Höhe	0,5		[m]
Kubatur	1,31		[m ³ /m]
Bewehrungsgrad	0,13		[to/m ³]
Schalungsgrad	2,58		[m ² /m ³]
Leistungsbeschreibung	AW		Einheit
Schalen	ARH - Richtzeiten ¹	0,90	[Std/m ²]
Bewehren	Aigner, S.: Diplomarbeit ²	9,00	[Std/to]
Betonieren	Autobetonpumpe; 3 Mann ³	0,56	[Std/m ³]
Abziehen	ARH - Richtzeiten ⁴	0,06	[Std/m ³]
		4,05	[Std/m ³]
Leistungsbeschreibung	Arbeiter	LW	Einheit
Schalen	6	2,58	[m ³ /h]
Bewehren	6	5,13	[m ³ /h]
Betonieren	3	5,36	[m ³ /h]
Abziehen	2	33,33	[m ³ /h]
AW Schalen		0,51	[h/m]
		1,97	[m/h]
AW Bewehren		0,26	[h/m]
		3,91	[m/h]
AW Betonieren		0,24	[h/m]
		4,09	[m/h]
Gesamt-AW		1,02	[h/m]
		0,98	[m/h]
Länge		400	[m]
Ermittelte Zeit Schalen		204	[h]
Ermittelte Zeit Bewehren		104	[h]
Ermittelte Zeit Betonieren		100	[h]
Dauer Stahlbetonarbeiten		408	[h]

Leistungsberechnung Aussteifungen und Gurtbalken (Portale)			
Daten			Einheit
Höhe	1,5		[m]
Breite	13,9		[m]
Abschnittslänge	44,0		[m]
Kubatur	8,52		[m ³ /m]
Bewehrungsgrad	0,12		[to/m ³]
Schalungsgrad	1,87		[m ² /m ³]
Abziehflächengrad	0,67		[m ² /m ³]
Leistungsbeschreibung	AW		Einheit
Schalen	vgl. LB BA Pfahlaussteifungen ⁵	1,35	[Std/m ²]
Bewehren	vgl. LB BA Pfahlaussteifungen ⁶	10,00	[Std/to]
Betonieren	Autobetonpumpe; 3 Mann ³	0,56	[Std/m ³]
Abziehen	ARH - Richtzeiten ⁴	0,06	[Std/m ³]
		4,28	[Std/m ³]
Leistungsbeschreibung	Arbeiter	LW	Einheit
Schalen	8	3,17	[m ³ /h]
Bewehren	6	5,00	[m ³ /h]
Betonieren	3	5,36	[m ³ /h]
Abziehen	2	33,33	[m ³ /h]
AW Schalen		2,69	[h/m]
		0,37	[m/h]
AW Bewehren		1,70	[h/m]
		0,59	[m/h]
AW Betonieren		1,59	[h/m]
		0,63	[m/h]
Gesamt-AW		5,98	[h/m]
		0,17	[m/h]
Länge		44	[m]
Ermittelte Zeit Schalen		118	[h]
Ermittelte Zeit Bewehren		75	[h]
Ermittelte Zeit Betonieren		70	[h]
Dauer Stahlbetonarbeiten		263	[h]

Leistungsberechnung Deckelabschnitt			
Daten			Einheit
Höhe	1,5		[m]
Breite	13,9		[m]
Abschnittslänge	24,0		[m]
Kubatur	20,85		[m ³ /m]
Bewehrungsgrad	0,12		[to/m ³]
Schalungsgrad	0,04		[m ² /m ³]
Abziehflächengrad	0,65		[m ² /m ³]
Leistungsbeschreibung	AW		Einheit
Schalen	vgl. LB BA Portale ⁵	1,35	[Std/m ²]
Bewehren	Aigner, S.: Diplomarbeit ⁷	6,00	[Std/to]
Betonieren	Aufnahmen der TU Graz am Hengsbergtunnel: Autobetonpumpe	0,06	[Std/m ³]
Abziehen		0,02	[Std/m ²]
		0,83	[Std/m ³]
Leistungsbeschreibung	Arbeiter	LW	Einheit
Schalen	6	109,83	[m ³ /h]
Bewehren	9	12,50	[m ³ /h]
Betonieren	4	66,67	[m ³ /h]
Abziehen	2	153,85	[m ³ /h]
AW Schalen		0,19	[h/m]
		5,27	[m/h]
AW Bewehren		1,67	[h/m]
		0,60	[m/h]
AW Betonieren		0,31	[h/m]
		3,20	[m/h]
Gesamt-AW		2,17	[h/m]
		0,46	[m/h]
Länge		24	[m]
Ermittelte Zeit Schalen		4,6	[h]
Ermittelte Zeit Bewehren		40,0	[h]
Ermittelte Zeit Betonieren		7,5	[h]
Dauer pro Abschnitt		52	[h]

Leistungsberechnung Bodenplattenabschnitt			
Daten		Einheit	
Höhe	1,51	[m]	
Breite	13,9	[m]	
Abschnittslänge	24,0	[m]	
Kubatur	21,36	[m³/m]	
Bewehrungsgrad	0,13	[to/m³]	
Schalungsgrad	0,04	[m²/m³]	
Abziehflächengrad	0,65	[m²/m³]	
Leistungsbeschreibung		AW	Einheit
Schalen	vgl. LB BA Portale ⁵	1,35	[Std/m²]
Bewehren	vgl. LB BA Deckel ⁸	7,00	[Std/to]
Betonieren	Aufnahmen der TU Graz am Hengsbergtunnel: Autobetonpumpe	0,06	[Std/m³]
Abziehen		0,02	[Std/m²]
		1,02	[Std/m³]
Leistungsbeschreibung		Arbeiter	LW
Schalen	6	109,83	[m³/h]
Bewehren	12	13,19	[m³/h]
Betonieren	4	66,67	[m³/h]
Abziehen	2	153,85	[m³/h]
AW Schalen		0,19	[h/m]
		5,14	[m/h]
AW Bewehren		1,62	[h/m]
		0,62	[m/h]
AW Betonieren		0,32	[h/m]
		3,12	[m/h]
Gesamt-AW		2,13	[h/m]
		0,47	[m/h]
Länge		24	[m]
Ermittelte Zeit Schalen		4,7	[h]
Ermittelte Zeit Bewehren		38,9	[h]
Ermittelte Zeit Betonieren		7,7	[h]
Dauer pro Abschnitt		51	[h]

Leistungsberechnung Innenschalenwände			
Daten		Einheit	
Höhe	8,00	[m]	
Breite	0,95	[m]	
Abschnittslänge	24,0	[m]	
Kubatur	15,2	[m ³ /m]	
Bewehrungsgrad	0,12	[to/m ³]	
Schalungsgrad	1,09	[m ² /m ³]	
Leistungsbeschreibung	AW	Einheit	
Schalen	Annahme (Schalwagen)	0,12	[Std/m ²]
Bewehren	Aigner, S.: Diplomarbeit ⁹	9,00	[Std/to]
Betonieren	Annahme	0,12	[Std/m ³]
		1,33	[Std/m ³]
Leistungsbeschreibung	Arbeiter	LW	Einheit
Schalen	6	45,87	[m ³ /h]
Bewehren	12	11,11	[m ³ /h]
Betonieren	5	41,67	[m ³ /h]
AW Schalen		0,33	[h/m]
		3,02	[m/h]
AW Bewehren		1,37	[h/m]
		0,73	[m/h]
AW Betonieren		0,36	[h/m]
		2,74	[m/h]
Gesamt-AW		2,06	[h/m]
		0,48	[m/h]
Länge		24	[m]
Ermittelte Zeit Schalen		8	[h]
Ermittelte Zeit Bewehren		33	[h]
Ermittelte Zeit Betonieren		9	[h]
Dauer pro Abschnitt		50	[h]

Hinweise zu den Aufwandswerten bei den Betonbauarbeiten

¹ Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V.: Arbeitszeit Richtwerte Hochbau; B1.2.211. Randschalung und Fundamente; Fundamente bis 140 cm mit Schalplatten (einseitig geschalt)

² Aigner, S.: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten, Ein kritischer Vergleich von Literaturangaben, Diplomarbeit TU Graz 2003; S. 174.

Die min. AW für die Bewehrungsarbeiten der unterschiedlichen Autoren wurden gemittelt

³ <http://www.zeittechnik-verlag.de/pdfs/ARH-Betonarbeiten.pdf>; bewehrte Bauteile, d= über 20 cm; Datum des Zugriffs: 12.06.2010 22:10; S. 23.

Der angegebene AW von 0, 25 [Std/m³] (3 Mann plus Autobetonpumpe) wurde aufgrund der auftretenden Mengen um 25 % gesenkt

⁴ <http://www.zeittechnik-verlag.de/pdfs/ARH-Betonarbeiten.pdf>; Datum des Zugriffs: 12.06.2010 22:10; S. 23.

⁵ vgl. LB BA Pfahlaussteifungen, AW Schalen; Der AW Schalen von den Pfahlaussteifungen (0,90 [Std/m³]) wird um 50 % erhöht, da die 1,50 m hohen Bauteile einen höheren Aufwand zur Abstützung benötigen

⁶ vgl. LB BA Pfahlaussteifungen, AW Bewehren; Der AW Bewehren von den Pfahlaussteifungen (9,00 [Std/to]) wird um 10 % erhöht, da die Höhe der Bauteile die Bewehrungsarbeiten erschweren

⁷ Aigner, S.: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten, Ein kritischer Vergleich von Literaturangaben, Diplomarbeit TU Graz 2003; S. 174.


Aufgrund konstanter großer Durchmesser der Bewehrung wurde der min. AW (6,0 [Std/to]) gewählt


⁸ vgl. LB BA Deckel, AW Bewehren; Der AW wird von 6,0 [Std/to] auf 7,0 [Std/to] erhöht, da unter dem Deckel beengte Platzverhältnisse vorherrschen


⁹ vgl. Aigner, S.: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten, Ein kritischer Vergleich von Literaturangaben, Diplomarbeit TU Graz 2003; S. 184.

A.7 Leistungsberechnung für die 1. und 2. Aushubphase unter dem Deckel

Leistungsberechnung 1. AP				
Daten				Einheit
Breite	13,5			[m]
Höhe BA	0,6			[m]
Höhe 1. AP	5,5			[m]
Fläche: Geo. Fakt.:1,05	14,18			[m ² /m]
Kubatur BA	8,10			[m ³ /m]
Kubatur Abbau	74,25			[m ³ /m]
Leistungsbeschreibung	Gerät	LW		Einheit
Lösen	R 906 C	vgl. LB	130	[m ³ /h]
Laden	L 120 E	vgl. LB	125	[m ³ /h]
Verlegung Vlies	Bagger mit Traverse	Annahme	200	[m ² /h]
Schütten		Annahme	300	[m ³ /h]
Verteilen	R 906 C	vgl. LB Verteilen	120	[m ³ /h]
Planieren	R 906 C		120	[m ³ /h]
Verdichten	Bomag 211-D	vgl. LB	215	[m ² /h]
Leistungsbeschreibung		AW		Einheit
Lösen	R 906 C	0,3 * Lösen	0,17	[h/m]
Laden	L 120 E		0,59	[h/m]
Verlegung Vlies	Bagger mit Traverse		0,07	[h/m]
Schütten			0,03	[h/m]
Verteilen	R 906 C		0,07	[h/m]
Planieren			0,07	[h/m]
Verdichten	Bomag 211-D		0,06	[h/m]
Rüsten + Sonstiges			0,02	[h/m]
AW		1,08		[h/m]
		0,93		[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher			gewählt	
			0,93	[m/h]
Länge			687	[m]
Ermittelte Zeit			739	[h]

LEISTUNGSBERECHNUNG 1. AP					
RAUPENBAGGER					
Hersteller	Liebherr				
Typ	R 906				
LEISTUNGSDATEN					
Löffeltyp		Tieflöffel			[-]
Schnittbreite	b	1,4			[m]
Nenninhalt	V_N	1,15			[m ³]
Motorleistung	P	105			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Lösen 1. AP				
Bodenart/BK		BK 4		4	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S	MK 3; MK 4	Baukonzept S. 12.	1,24	[-]
Füllungsfaktor	f_F		BBL-Skript S. 87.	1,20	[-]
Zeitfaktor	f_Z	$0,83 \leq f_Z \leq 0,92$		0,88	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		0,97	[-]
Spielzahl	n		DIN 18300	150	[1/h]
Grundleistung	Q_T	$Q_T = V_N * n * f_L * f_Z$	BBL-Skript S. 68	147	[m ³ /h]
Baustellenfaktor	f_{E1}	$f_{E1} = f_{E11} * \dots * f_{E14}$	BBL-Skript S. 69.	1,00	[-]
Schwenkwinkelf.	f_{E11}	45 Grad	BBL-Skript S. 88.	1,08	[-]
Abbautiefenfaktor	f_{E12}		BBL-Skript S. 88.	0,93	[-]
Einsatzartenfaktor	f_{E13}		BBL-Skript S. 89.	1,00	[-]
Entleerungsfaktor	f_{E14}		BBL-Skript S. 89.	1,00	[-]
Betriebsfaktor:	f_{E2}		BBL-Skript S. 70.	0,90	[-]
Volumenverhältnisf.	f_{E21}		BBL-Skript S. 89.	1,00	[-]
Personal-	f_{E22}	gut	BBL-Skript S. 205.	0,90	[-]
Maschinenfaktor		gut			
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_N = Q_T * f_{E1} * f_{E2}$		133,3	[m ³ /h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				130	[m ³ /h]
Ermittelte Transportmasse				51.010	[m ³]
Anzahl der Geräte				1	[-]
Ermittelte Zeit				392	[h]

LEISTUNGSBERECHNUNG 1. AP					
RADLADER					
Hersteller	Volvo				
Typ	L 120E				
					
LEISTUNGSDATEN					
Schildtyp					[-]
Nenninhalt	V_N		3,6		[m ³]
Werkzeug			Universalschaufel		[-]
Motorleistung	P		165		[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Laden 1. AP				
Bodenart/BK		BK 4		4	[-]
Auflockerungsf.	f_S	MK 3; MK 4	Baukonzept S. 12.	1,24	[-]
Füllungsfaktor	f_F	BK 4	BBL-Skript S. 98.	0,90	[-]
Zeitfaktor	f_Z		$0,83 \leq f_Z \leq 0,92$	0,90	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		0,73	[-]
Füllzeit	t_F	mittelfest	BBL-Skript S. 99.	8,3	[s]
Entleerzeit	t_E		BBL-Skript S. 100.	3,8	[s]
Fahrzeit	t_{GF}	60 m	BBL-Skript S. 99.	39	[s]
Hauptspielzeit	T_S	$t_F+t_E+t_{GF}$		51	[s]
Zeitzuschlag	Δt		BBL-Skript S. 99.	7,0	[s]
Grundleistung	Q_T	$(3600 \cdot V_N \cdot f_L \cdot f_Z) / (T_S + \Delta t)$		146,3	[m ³ /h]
Baustellenfaktor	f_{E1}		BBL-Skript S. 101.	0,93	[-]
Betriebsfaktor	f_{E2}		BBL-Skript S. 205.	0,96	[-]
Einsatzfaktor	f_E	$f_{E1} \cdot f_{E2}$		0,89	[-]
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_T \cdot f_E$		130,6	[m ³ /h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				125	[m ³ /h]
Ermittelte Transportmasse				51.010	[m ³]
Anzahl der Geräte				1	[-]
Ermittelte Zeit				408	[h]

LEISTUNGSBERECHNUNG 1. AP					
WALZE					
Hersteller	Bomag				
Typ	211-D				
					
LEISTUNGSDATEN					
Geschwindigkeit	v	1000			[m/h]
Walzkörperbreite	b _W	2,13			[m]
Motorleistung	P	98			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Verdichten der Oberfläche 1. AP				
Bodenart/BK		BK 5	Pläne	5	[-]
Breite der Einbaubahn	b _{EB}		Pläne	13,5	[m]
wirksame Arbeitsbreite	b	0,8*b _W	BBL-Skript S. 118.	1,70	[m]
Zeitfaktor	f _z	0,83≤f _z ≤0,92	BBL-Skript S. 118.	0,88	[-]
Schichtdicke	d			0,60	[m]
Arbeitsgeschwindigkeit	v _A	Tabelle 17	BBL-Skript S. 119.	16,67	[m/min]
Übergänge	Ü		Girmscheid, G. S. 85.	6,00	[-]
Technische Grundleistung	Q _T	60*(b*d*v _A *f _z /Ü)	BBL-Skript S. 118.	150	[m ³ /h]
Technische Nutzleistung	Q _N	Q _T *f _{E2}	BBL-Skript S. 119.	132	[m ³ /h]
Betriebsfaktor	f _{E2}	Tabelle 5	BBL-Skript S. 70.	0,88	[-]
Technische Flächenleistung	Q _{NF}	Q _N /d	BBL-Skript S. 119.	219,9	[m ² /h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				215	[m ² /h]
verdichtete Massen				5.565	[m ²]
Anzahl der Geräte				1	[-]
Ermittelte Zeit				25,9	[h]

Leistungsberechnung 2. AP (Stat. 0+083 - 0+225)				
Daten			Einheit	
Breite	13,5			[m]
Höhe BA	0,6			[m]
Höhe 2. AP	5,0			[m]
Fläche: Geo. Fakt.:1,05	14,18			[m ² /m]
Kubatur BA	8,1			[m ³ /m]
Kubatur Abbau	67,5			[m ³ /m]
Leistungsbeschreibung		LW		Einheit
Lösen	R 906 C	vgl. LB 1. AP	130	[m ³ /h]
Laden	L 120 E	vgl. LB 1. AP	125	[m ³ /h]
Verlegung Vlies	Bagger mit Traverse	Annahme	200	[m ² /h]
Schütten		Annahme	300	[m ³ /h]
Verteilen	R 906 C	vgl. LB 1. AP	120	[m ³ /h]
Planieren			120	[m ³ /h]
Verdichten	Bomag 211-D	vgl. LB 1. AP	215	[m ² /h]
Leistungsbeschreibung		AW		Einheit
Lösen	R 906 C	0,30 * Lösen	0,16	[h/m]
Laden	L 120 E		0,54	[h/m]
Verlegung Vlies	Bagger mit Traverse		0,07	[h/m]
Schütten			0,03	[h/m]
Verteilen	R 906 C		0,07	[h/m]
Planieren			0,07	[h/m]
Verdichten	Bomag 211-D		0,06	[h/m]
Rüsten + Sonstiges			0,02	[h/m]
AW 2. AP (0+083-0+225)		1,01		[h/m]
		0,99		[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher			gewählt	
			0,99	[m/h]
Länge			142	[m]
Ermittelte Zeit			143	[h]

Leistungsberechnung 2. AP (Stat. 0+225 - 0+781)				
Daten			Einheit	
Breite	13,5			[m]
Höhe BA	0,2			[m]
Höhe 2. AP	4,80			[m]
Fläche: Geo. Fakt.:1,05	14,18			[m ² /m]
Kubatur BA	2,7			[m ³ /m]
Kubatur Abbau	64,8			[m ³ /m]
Leistungsbeschreibung	Gerät	LW		Einheit
Lösen	R 906 C	vgl. LB 1. AP	130	[m ³ /h]
Laden	L 120 E	vgl. LB 1. AP	125	[m ³ /h]
Schütten		Annahme	300	[m ³ /h]
Verteilen	R 906 C		120	[m ³ /h]
Planieren			120	[m ³ /h]
Verdichten	Bomag 211-D	vgl. LB 2. AP	225	[m ² /h]
Leistungsbeschreibung	Gerät	AW		Einheit
Lösen	R 906 C	0,30 * Lösen	0,15	[h/m]
Laden	L 120 E		0,52	[h/m]
Schütten			0,01	[h/m]
Verteilen	R 906 C		0,12	[h/m]
Planieren		Annahme	0,02	[h/m]
Verdichten	Bomag 211-D		0,06	[h/m]
Rüsten + Sonstiges			0,02	[h/m]
AW 2. AP (0+225-0+781)			0,90	[h/m]
			1,11	[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher			gewählt	
			1,11	[m/h]
Länge			556	[m]
Ermittelte Zeit			501	[h]

A.7.1 Leistungsberechnung für die Herstellung des AP 4

Leistungsberechnung Einbau Filterschicht Sohle (Stat. 0+083 - 0+225)				
Daten			Einheit	
Breite	13,5			[m]
Höhe BA	0,6			[m]
Höhe Filterschicht	0,7			[m]
Fläche:Geo. Fakt.:1,05	14,18			[m ² /m]
Kubatur Sprengschutt	8,10			[m ³ /m]
Kubatur Filterschicht	9,45			[m ³ /m]
Betonkubatur	1,35			[m ³ /m]
Leistungsbeschreibung	Gerät	LW		Einheit
Laden	R 906	vgl. LB Laden	95	[m ³ /h]
Schütten		Annahme	300	[m ³ /h]
Verteilen	Grader 140 H Cat	vgl. LB AP 3	6000	[m ² /h]
Planieren	Grader 140 H Cat	vgl. LB AP 3	8000	[m ² /h]
Verdichten	Bomag 211-D	vgl. LB AP 3	650	[m ² /h]
Sauberkeitsschicht		vgl. LB AP 3 (0,17 [h/m ³])	5,88	[m ³ /h]
Leistungsbeschreibung	Gerät	AW		Einheit
Laden	R 906		0,0853	[h/m]
Schütten			0,0315	[h/m]
Verteilen	Grader 140 H Cat		0,0023	[h/m]
Planieren	Grader 140 H Cat		0,0017	[h/m]
Verdichten	Bomag 211-D		0,0208	[h/m]
Sauberkeitsschicht			0,2296	[h/m]
Rüsten + Sonstiges			0,0200	[h/m]
AW (Stat. 0+083 - 0+225)		0,3911		[h/m]
		2,56		[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher			gewählt	
			2,56	[m/h]
Länge			142	[m]
Ermittelte Zeit			55	[h]

Leistungsberechnung Herstellen der Oberfläche AP 4 (Stat. 0+225 - 0+781)			
Daten		Einheit	
Breite	13,5	[m]	
Höhe BA	0,2	[m]	
Höhe Filterschicht	0,5	[m]	
Fläche:Geo. Fakt.:1,05	14,18	[m ² /m]	
Kubatur Sprengschutt	2,70	[m ³ /m]	
Kubatur Filterschicht	6,75	[m ³ /m]	
Betonkubatur	1,35	[m ³ /m]	
Leistungsbeschreibung	Gerät	LW	Einheit
Laden	R 906 C		95 [m ³ /h]
Verlegung Vlies	Bagger mit Traverse	Annahme	300 [m ² /h]
Schütten		Annahme	300 [m ³ /h]
Verteilen	Grader 140 H Cat	vgl. LB AP 3	6000 [m ² /h]
Planieren	Grader 140 H Cat	vgl. LB AP 3	8000 [m ² /h]
Verdichten	Bomag 211-D	vgl. LB AP 3	650 [m ² /h]
Sauberkeitsschicht		vgl. LB AP 3 (0,17 [h/m ³])	5,88 [m ³ /h]
Leistungsbeschreibung	Gerät	AW	Einheit
Laden	R 906 C		0,0284 [h/m]
Verlegung Vlies			0,0473 [h/m]
Schütten			0,0225 [h/m]
Verteilen	Grader 140 H Cat		0,0023 [h/m]
Planieren	Grader 140 H Cat		0,0017 [h/m]
Verdichten	Bomag 211-D		0,0208 [h/m]
Sauberkeitsschicht			0,2296 [h/m]
Rüsten + Sonstiges			0,0200 [h/m]
AW (Stat.0+225 - 0+781)		0,3725	[h/m]
		2,68	[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher		gewählt	
		2,68	[m/h]
Länge:		556	[m]
Ermittelte Zeit		207	[h]

LEISTUNGSBERECHNUNG Laden Sprengschutt Sohle					
RAUPENBAGGER					
Hersteller	Liebherr				
Typ	R 906 C				
LEISTUNGSDATEN					
Löffeltyp		Tieflöffel			[-]
Schnittbreite	b	1,4			[m]
Nenninhalt	V_N	1,15			[m³]
Motorleistung	P	105			[kW]
BERECHNUNG					
Art der Arbeit	Laden Sprengschutt Sohle				
Bodenart/BK		BK 5		5	[-]
Auflockerungsfaktor	f_S		Baukonzept S. 12.	1,12	[-]
Füllungsfaktor	f_F		BBL-Skript S. 87.	1,15	[-]
Zeitfaktor	f_Z	$0,83 \leq f_Z \leq 0,92$		0,92	[-]
Ladefaktor	f_L	f_F/f_S		1,03	[-]
Spielzahl	n		DIN 18300	160	[1/h]
Grundleistung	Q_T	$Q_T = V_N * n * f_L * f_Z$	BBL-Skript S. 68	174	[m³/h]
Baustellenfaktor	f_{E1}	$f_{E1} = f_{E11} * \dots * f_{E14}$	BBL-Skript S. 69.	0,75	[-]
Schwenkwinkelf	f_{E11}	180 %	BBL-Skript S. 88.	0,88	[-]
Abbautiefenfaktor	f_{E12}		BBL-Skript S. 88.	1,00	[-]
Einsatzartenfaktor	f_{E13}		BBL-Skript S. 89.	0,73	[-]
Entleerungsfaktor	f_{E14}		BBL-Skript S. 89.	0,90	[-]
Betriebsfaktor:	f_{E2}		BBL-Skript S. 70.	0,95	[-]
Volumenverhältnis	f_{E21}		BBL-Skript S. 89.	1,00	[-]
Personal-	f_{E22}	gut	BBL-Skript S. 205.	0,95	[-]
Maschinenfaktor		gut			
technische Nutzleistung	Q_N	$Q_N = Q_T * f_{E1} * f_{E2}$		95,5	[m³/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher				gewählt	
				95	[m³/h]

A.8 Leistungsberechnung für die Herstellung der geneigten Entwässerungsbohrungen

Leistungsberechnung geneigte Entwässerungsbohrungen (Stat. 0+083 - 0+780)			
Daten		Einheit	
Durchmesser	0,2	[m]	
Länge	8	[m]	
Stückzahl	464	[m]	
Systemabstand	3,00	[m]	
Kubatur	0,168	[m ³ /m]	
Bohrmeter	5,32	[lfm/m]	
Leistungsbeschreibung	Gerät	AW	Einheit
Bohren	Hütte MBR 503		
Auf- Umstellen BG		20 [min/Bohrung]	0,04 [h/lfm]
Bohren			6,00 [lfm/h]
Einbau			
Einbringen Filterstrang		5 [min/Bohrung]	0,01 [h/lfm]
Kiesfüllung		~30 [min/Bohrung]	0,06 [h/lfm]
Rüsten + Sonstiges		~10 [min/Bohrung]	0,02 [h/lfm]
AW Bohren		1,11	[h/m]
		0,90	[m/h]
AW Einbau		0,48	[h/m]
		2,09	[m/h]
Bei der Bauablaufplanung ist zu beachten, dass unvorhersehbare Einflüsse (z.B. Transportschwierigkeiten; Arbeitsunfall) sowie Witterungseinflüsse und beengte Baustellenverhältnisse nicht berücksichtigt sind; daher		gewählt	
		1,11/2,09	[m/h]
Länge		697	[m]
Anzahl der Geräte		2,00	[Stk]
Ermittelte Zeit Bohren		387	[h]
Ermittelte Zeit Einbau		334	[h]

A.9 Auswertung der Daten für die DSV - Zwickelabdichtung

A.9.1 Leistungswert und Wasserverbrauch fürs Bohren

Leistungswert fürs Bohren					
Zwickel	System	Bohrstr.	Bohren Netto	Bohrfortschritt	Spülrate
[Nr.]	[-]	[lfm]	[min]	[lfm/min]	[lit/min]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5] = [3] / [4]	
ZI-19	1-Phasen	8,62	9,75	0,88	150,00
ZI-20	1-Phasen	8,61	9,58	0,90	150,00
ZI-21	1-Phasen	8,62	9,08	0,95	150,00
ZI-1	1-Phasen	8,16	37,00	0,22	150,00
ZI-2	1-Phasen	9,46	18,25	0,52	150,00
ZI-3	1-Phasen	9,55	20,08	0,48	150,00
ZI-4	1-Phasen	15,13	7,83	1,93	150,00
ZI-5	1-Phasen	Memoblock defekt			
ZI-6	1-Phasen	15,11	9,42	1,60	150,00
ZI-7	1-Phasen	15,11	10,00	1,51	150,00
ZI-8	1-Phasen	15,18	10,00	1,52	150,00
ZI-9	1-Phasen	15,12	14,58	1,04	150,00
ZI-10	1-Phasen	15,12	10,17	1,49	150,00
ZI-11	1-Phasen	15,13	11,85	1,28	150,00
ZI-12	1-Phasen	15,11	9,63	1,57	150,00
ZI-13	1-Phasen	15,11	10,63	1,42	150,00
ZI-14	1-Phasen	15,12	11,42	1,32	150,00
ZI-15	1-Phasen	15,12	14,00	1,08	150,00
ZI-16	1-Phasen	15,11	14,25	1,06	150,00
ZI-17	1-Phasen	15,11	14,53	1,04	150,00
ZI-18	1-Phasen	15,11	9,33	1,62	150,00
ZI-22	1-Phasen	13,38	10,00	1,34	150,00
ZI-23	1-Phasen	13,36	6,83	1,96	150,00
ZI-24	1-Phasen	13,41	5,58	2,40	150,00
ZI-25	1-Phasen	13,77	8,58	1,60	150,00
ZI-26	1-Phasen	13,38	10,25	1,31	150,00
ZI-27	1-Phasen	13,37	6,62	2,02	150,00
ZI-28	1-Phasen	13,37	8,08	1,65	150,00
ZI-29	1-Phasen	13,37	9,75	1,37	150,00
ZI-30	1-Phasen	13,36	9,25	1,44	150,00
ZI-31	1-Phasen	13,36	10,17	1,31	150,00

Beschreibung	Ø-Wert			
	[l/m/min]	[min/l/m]	[h/l/m]	[lit/min]
Bohrleistung	1,33	0,75	0,013	
Spülrate				150

Wasserverbrauch Bohren DSV - Zwickelabdichtung				
Spülrate	0,75 [min/l/m]	x	Durchfluss	0,15 [m³/min]
		=	WV Bohren	0,113 [m³/l/m]

A.9.2 Leistungswert und Wasserverbrauch fürs Vorschneiden

Leistungswert fürs Vorschneiden								
Zwickel	System	Hubzeit	Verweil-dauer	Länge	Dauer Vorschneiden [min]		Ziehzeit [min/lfm]	
					Protokoll	Theoretisch	Protokoll	Theoretisch
[Nr.]	[-]	[cm]	[cm]	[lfm]	[6]	[7]	[8]=[6] / [5]	[9]=[7] / [5]
ZI-5	1-Phasen	4,00	3,00	14,60	21,00	18,25	1,44	1,25
ZI-6	1-Phasen	4,00	3,00	14,62	34,52	18,28	2,36	1,25
ZI-7	1-Phasen	4,00	3,00	14,68	35,65	32,58	2,43	2,22
ZI-8	1-Phasen	3,00	4,00	14,65	22,92	19,52	1,56	2,22
ZI-9	1-Phasen	3,00	4,00	14,63	22,12	19,45	1,51	1,33
ZI-10	1-Phasen	5,00	4,00	14,63	34,17	19,45	2,34	1,33
ZI-11	1-Phasen	5,00	4,00	14,61	34,87	32,43	2,39	2,22
ZI-12	1-Phasen	3,00	4,00	14,63	34,67	32,48	2,37	2,22
ZI-13	1-Phasen	3,00	4,00	14,63	20,82	18,28	1,42	1,25
ZI-14	1-Phasen	4,00	3,00	14,62	21,05	18,28	1,44	1,25
ZI-15	1-Phasen	4,00	3,00	14,63	20,88	18,28	1,43	1,25
ZI-16	1-Phasen	4,00	3,00	14,63	20,52	18,28	1,40	1,25
ZI-17	1-Phasen	4,00	3,00	14,64	22,67	18,30	1,55	1,25
ZI-18	1-Phasen	4,00	3,00	14,63	20,83	18,28	1,42	1,25
ZI-22	1-Phasen	4,00	3,00	6,30	9,12	7,87	1,45	1,25
ZI-23	1-Phasen	4,00	3,00	6,29	11,38	7,87	1,81	1,25
ZI-24	1-Phasen	4,00	3,00	6,33	10,93	7,92	1,73	1,25
ZI-25	1-Phasen	4,00	3,00	6,69	11,43	8,37	1,71	1,25
ZI-26	1-Phasen	4,00	3,00	6,33	11,62	7,92	1,84	1,25
ZI-27	1-Phasen	4,00	3,00	6,30	9,32	7,87	1,48	1,25
ZI-28	1-Phasen	4,00	3,00	6,29	8,87	7,87	1,41	1,25
ZI-29	1-Phasen	4,00	3,00	6,31	9,98	7,88	1,58	1,25
ZI-30	1-Phasen	4,00	3,00	6,26	9,15	7,82	1,46	1,25
ZI-31	1-Phasen	4,00	3,00	6,29	9,37	7,87	1,49	1,25

Beschreibung	Ø-Wert		
	[lfm/min]	[min/lfm]	[h/lfm]
Leistung fürs Vorschneiden			
Protokollierte Leistung	0,58	1,71	0,029
Theoretische Leistung	0,70	1,42	0,024

Wasserverbrauch beim Vorschneiden							
Zwickel	System	Länge	Ø-Pumprate	Volumen [m³]		Volumen [m³/lfm]	
[Nr.]	[-]	[lfm]	[lit/min]	Protokoll	Theoretisch	Protokoll	Theoretisch
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7] = [5] / [3]	[8] = [6] / [3]
ZI-5	1-Phasen	14,60	120,00	2,54	2,19	0,17	0,15
ZI-6	1-Phasen	14,62	135,00	2,94	2,47	0,20	0,17
ZI-7	1-Phasen	14,68	135,00	4,71	4,40	0,32	0,30
ZI-8	1-Phasen	14,65	135,00	4,64	4,39	0,32	0,30
ZI-9	1-Phasen	14,63	135,00	2,87	2,63	0,20	0,18
ZI-10	1-Phasen	14,63	135,00	2,92	2,63	0,20	0,18
ZI-11	1-Phasen	14,61	135,00	4,67	4,38	0,32	0,30
ZI-12	1-Phasen	14,63	220,00	7,39	7,15	0,51	0,49
ZI-13	1-Phasen	14,63	270,00	5,12	4,94	0,35	0,34
ZI-14	1-Phasen	14,62	270,00	5,16	4,93	0,35	0,34
ZI-15	1-Phasen	14,63	270,00	5,23	4,94	0,36	0,34
ZI-16	1-Phasen	14,63	270,00	5,07	4,94	0,35	0,34
ZI-17	1-Phasen	14,64	270,00	5,31	4,94	0,36	0,34
ZI-18	1-Phasen	14,63	270,00	5,14	4,94	0,35	0,34
ZI-22	1-Phasen	6,30	270,00	2,18	2,13	0,35	0,34
ZI-23	1-Phasen	6,29	270,00	2,53	2,12	0,40	0,34
ZI-24	1-Phasen	6,33	270,00	2,42	2,14	0,38	0,34
ZI-25	1-Phasen	6,69	270,00	2,51	2,26	0,38	0,34
ZI-26	1-Phasen	6,33	270,00	2,55	2,14	0,40	0,34
ZI-27	1-Phasen	6,30	270,00	2,21	2,13	0,35	0,34
ZI-28	1-Phasen	6,29	270,00	2,16	2,12	0,34	0,34
ZI-29	1-Phasen	6,31	270,00	2,26	2,13	0,36	0,34
ZI-30	1-Phasen	6,26	270,00	2,17	2,11	0,35	0,34
ZI-31	1-Phasen	6,29	270,00	2,18	2,12	0,35	0,34

Beschreibung	Ø-Wert		
	[m³/lfm]	[m³/m³ Säule]	[lit/min]
Wasserverbrauch beim Vorschneiden	Pumprate		
Protokolliertes Volumen	0,33	0,66	193
Theoretisches Volumen	0,31	0,62	228

A.9.3 Leistungswert und Suspensionsverbrauch fürs Düsen

Leistungswert fürs Düsen								
Zwickel	System	Hubzeit	Verweil- dauer	Länge	Dauer Düsen [min]		Ziehzeit [min/lfm]	
[Nr.]	[-]	[cm]	[cm]	[lfm]	Protokoll	Theoretisch	Protokoll	Theoretisch
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]=[6] / [5]	[9]=[7] / [5]
ZI-5	1-Phasen	3,00	9,00	14,60	77,00	73,00	5,27	5,00
ZI-6	1-Phasen	3,00	9,00	14,66	77,23	73,30	5,27	5,00
ZI-7	1-Phasen	3,00	9,00	14,64	77,25	73,20	5,28	5,00
ZI-8	1-Phasen	3,00	10,00	14,64	85,10	81,40	5,81	5,56
ZI-9	1-Phasen	3,00	7,00	14,62	63,05	56,87	4,31	3,89
ZI-10	1-Phasen	3,00	7,00	14,66	61,02	57,03	4,16	3,89
ZI-11	1-Phasen	3,00	6,00	14,66	54,12	48,82	3,69	3,33
ZI-12	1-Phasen	3,00	5,00	14,65	44,28	40,73	3,02	2,78
ZI-13	1-Phasen	3,00	3,00	14,62	29,35	24,40	2,01	1,67
ZI-14	1-Phasen	3,00	4,00	14,65	37,42	32,52	2,55	2,22
ZI-15	1-Phasen	3,00	4,00	14,65	36,60	32,52	2,50	2,22
ZI-16	1-Phasen	3,00	4,00	14,64	35,43	32,50	2,42	2,22
ZI-17	1-Phasen	3,00	4,00	14,63	37,77	32,48	2,58	2,22
ZI-18	1-Phasen	3,00	4,00	14,63	37,27	32,48	2,55	2,22
ZI-22	1-Phasen	3,00	4,00	6,32	16,70	14,03	2,64	2,22
ZI-23	1-Phasen	3,00	4,00	6,29	17,22	13,97	2,74	2,22
ZI-24	1-Phasen	3,00	4,00	6,27	17,00	13,92	2,71	2,22
ZI-25	1-Phasen	3,00	4,00	6,25	18,48	13,87	2,96	2,22
ZI-26	1-Phasen	3,00	4,00	6,26	16,48	13,90	2,63	2,22
ZI-27	1-Phasen	3,00	4,00	6,31	16,82	14,00	2,67	2,22
ZI-28	1-Phasen	3,00	4,00	6,28	15,23	13,93	2,43	2,22
ZI-29	1-Phasen	3,00	4,00	6,26	16,18	13,90	2,59	2,22
ZI-30	1-Phasen	3,00	4,00	6,30	17,80	13,98	2,83	2,22
ZI-31	1-Phasen	3,00	4,00	6,28	29,42	13,93	4,68	2,22

Beschreibung	Ø-Wert		
	[lfm/min]	[min/lfm]	[h/lfm]
Leistung fürs Düsen			
Protokolierte Leistung	0,30	3,35	0,056
Theoretische Leistung	0,35	2,89	0,048

Suspensionsverbrauch beim Düsen							
Zwickel	System	Länge	Ø-Pumprate	Volumen [m³]		Volumen [m³/lfm]	
[Nr.]	[-]	[lfm]	[lit/min]	Protokoll	Theoretisch	Protokoll	Theoretisch
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7] = [5] / [3]	[8] = [6] / [3]
ZI-5	1-Phasen	14,60	110,00	9,03	8,03	0,62	0,55
ZI-6	1-Phasen	14,66	110,00	8,69	8,06	0,59	0,55
ZI-7	1-Phasen	14,64	110,00	8,68	8,05	0,59	0,55
ZI-8	1-Phasen	14,64	100,00	8,40	8,14	0,57	0,56
ZI-9	1-Phasen	14,62	100,00	6,05	5,69	0,41	0,39
ZI-10	1-Phasen	14,66	100,00	6,25	5,70	0,43	0,39
ZI-11	1-Phasen	14,66	100,00	5,42	4,88	0,37	0,33
ZI-12	1-Phasen	14,65	220,00	9,25	8,96	0,63	0,61
ZI-13	1-Phasen	14,62	200,00	5,31	4,88	0,36	0,33
ZI-14	1-Phasen	14,65	200,00	6,74	6,50	0,46	0,44
ZI-15	1-Phasen	14,65	200,00	6,68	6,50	0,46	0,44
ZI-16	1-Phasen	14,64	200,00	7,10	6,50	0,48	0,44
ZI-17	1-Phasen	14,63	200,00	7,30	6,50	0,50	0,44
ZI-18	1-Phasen	14,63	200,00	7,18	6,50	0,49	0,44
ZI-22	1-Phasen	6,32	200,00	3,07	2,81	0,49	0,44
ZI-23	1-Phasen	6,29	200,00	3,20	2,79	0,51	0,44
ZI-24	1-Phasen	6,27	200,00	3,19	2,78	0,51	0,44
ZI-30	1-Phasen	6,30	200,00	3,15	2,80	0,50	0,44
ZI-31	1-Phasen	6,28	200,00	3,22	2,79	0,51	0,44

Beschreibung	Ø-Wert		
	[m³/lfm]	[to/lfm]	[lit/min]
Verbrauch beim Düsen	Pumprate		
Protokolliertes Volumen	0,50	0,76	149
Theoretisches Volumen	0,46	0,70	165

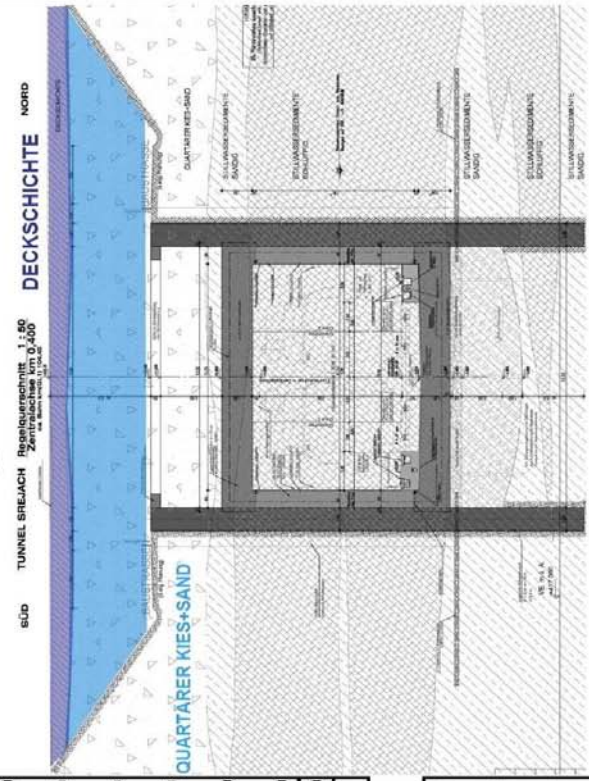
A.10 Massenermittlung

MASSENERMITTLUNG Erdbau (Sammelblatt)		
Arbeitsplanum 1	+/-	Volumen
		[m³]
Deckschichte BE 3C		7.500
Deckschichte Baufeld		6.350
Baufeld (quartärer Kies+Sand)		60.721
Bodenauftrag Baufeld	-	3.375
	Zwischensumme	71.196
Arbeitsplanum 2	+/-	Volumen
		[m³]
quartärer Kies+Sand		6.480
	Zwischensumme	6.480
Arbeitsplanum 3	+/-	Volumen
		[m³]
quartärer Kies+Sand		28.404
Stillwassersedimente		12.488
	Zwischensumme	40.892
Ausbauphasen unter dem Deckel	+/-	Volumen
		[m³]
1. Ausbauphase		
Stillwassersedimente		41.992
quartärer Kies+Sand		9.018
2. Ausbauphase		
Stillwassersedimente		45.614
	Zwischensumme	96.624
Baustraße (quartärer Kies+Sand)	+/-	Volumen
		[m³]
Einschnitt Wanne Ost		1.452
Südseite		842
Nordseite		924
	Zwischensumme	3.218

Portale	+/-	Volumen
		[m³]
Portal Ost		
Stillwassersedimente		26.560
quartärer Kies+Sand		7.636
Portal West		
Stillwassersedimente		1.178
	Zwischensumme	35.374
Sprengschutt	+/-	Volumen
		[m³]
Baustraße		4.534
Arbeitsplanum 3		3.929
1. Ausbauphase		5.565
2. Ausbauphase		2.651
Portal Ost		1.992
Portal West		177
	Zwischensumme	18.848
Gesamtsumme Erdbau		
Bodenarten	+/-	Volumen
		[m³]
Deckschichte		13.850
1. Ausbauphase		115.477
Stillwassersedimente		127.831
Sprengschutt		18.848
	Gesamtsumme	276.005

MASSENERMITTLUNG Erdbau AP 1

Beschreibung	Berechnung					Skizze
	+/-	Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m ²]	Höhe [m]	
Deckschichte						
Stationierung km: BE 3C (25.000 m ²)						7.500,0
0+000-0+150	150,0	40,0		4,8	0,30	720,0
0+150-0+200	50,0	42,0	14,7	0,35	0,35	735,0
0+200-0+250	50,0	40,0	14,0	0,35	0,35	700,0
0+250-0+450	200,0	38,0	13,3	0,35	0,35	2.660,0
0+450-0+800	350,0	40,0	4,4	0,11	0,11	1.540,0
Zwischensumme						13.850,0
quartäre Kiese+Sande						
0+100-0+150	50,0		132,5			6.625,0
0+150-0+450	300,0		126,6			43.521,3
0+450-0+500	50,0		101,3			5.065,0
0+600-0+700	100,0		35,1			3.510,0
0+700-0+740	40,0		50,0			2.000,0
Zwischensumme						60.721,3



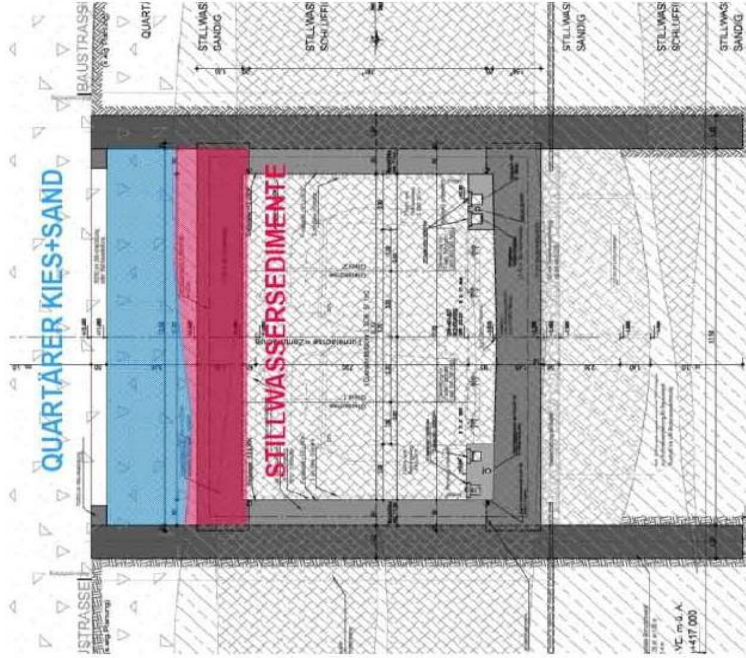
MASSENERMITTLUNG Erdbau AP 2

Beschreibung	+/-	Berechnung				Volumen [m³]	Skizze
		Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m²]	Höhe [m]		
quartäre Kies+Sande							
Stationierung km: 0+225-0+520		295,0	13,5	16,2	1,20	4.779,0	
0+595-0+700		105,0	13,5	16,2	1,20	1.701,0	
Gesamtsumme						6.480,0	

MASSENERMITTLUNG Erdbau AP 3

Berechnung

Beschreibung	Länge				Fläche				Volumen	
	+/-	[m]	[m ²]	[m ²]	[m]	[m ²]	[m ²]	[m ³]	[m ³]	
quartäre Kiesel-Sande										
Stationierung km:										
0+110-0+225		115,0	13,5	78,3	5,8	9.004,5				
0+225-0+250		25,0	13,5	67,5	5,0	1.687,5				
0+250-0+520		270,0	13,5	40,5	3,0	10.935,0				
0+520-0+590		70,0	13,5	16,2	1,2	1.134,0				
0+590-0+700		110,0	13,5	41,9	3,1	4.603,5				
0+700-0+735		35,0	13,5	29,7	2,2	1.039,5				
Zwischensumme						28.404,0				[m³]
Stilwasserseimente										
0+250-0+400		150,0	13,5	27,0	2,0	4.050,0				
0+400-0+520		120,0	13,5	33,8	2,5	4.050,0				
0+520-0+590		70,0	13,5	20,3	1,5	1.417,5				
0+590-0+700		110,0	13,5	27,0	2,0	2.970,0				
Zwischensumme						12.487,5				[m³]



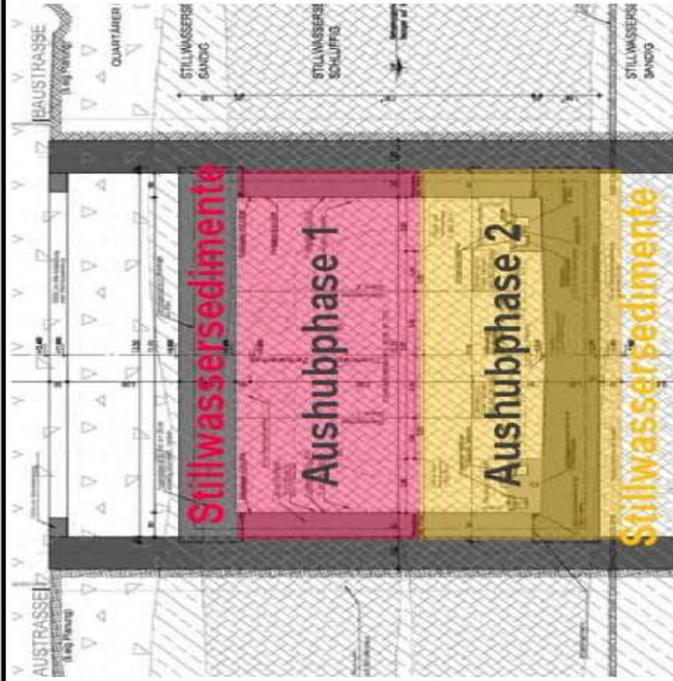
MASSENERMITTLUNG Erdbau Unter dem Deckel

Berechnung

Beschreibung	Länge		Breite	Fläche	Höhe	Volumen
	+/-	[m]				
Stillwassersedimente						
1. AP (0+083-0+770)		687,0	13,5	74,3	5,50	51.009,8
1. AP (0+083-0+250)	-	167,0	13,5	54,0	4,00	9.018,0
1. AP (0+770-0+781)		11,0	15,5	0,0	0,00	0,0
2. AP (0+083-0+225)		142,0	13,5	67,5	5,00	9.585,0
2. AP (0+225-0+781)		556,0	13,5	64,8	4,80	36.028,8
Zwischensumme						87.605,6
						[m ³]

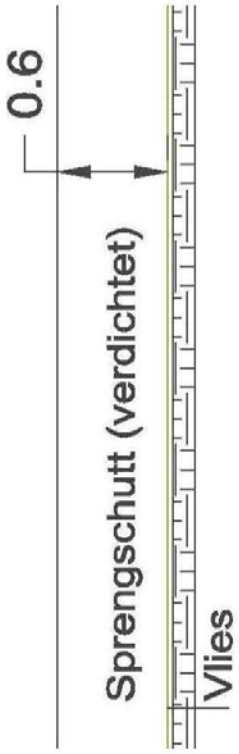
quartäre Kiesel+Sande						
1. AP (0+083-0+250)		167,0	13,5	54,0	4,0	9.018,0
Zwischensumme						9.018,0
						[m ³]

Skizze



MASSENERMITTLUNG "Sprengschutt"

Beschreibung	Berechnung						Skizze
	+/-	Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m ²]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	
AP 3							
Stationierung km:							
0+250-0+735		485,0	13,5	8,1	0,60	3.928,5	
Zwischensumme						3.928,5	
Portal Ost							
0+000-0+083		83,0	40,0	24,0	0,60	1.992,0	
Zwischensumme						1.992,0	
Portal West							
0+781-0+800		83,0	40,0	24,0	0,60	1.992,0	
Zwischensumme						1.992,0	
Baustraße							
Nord		687,0	5,5	3,3	0,60	2.267,1	
Süd		687,0	5,5	3,3	0,60	2.267,1	
Zwischensumme						4.534,2	
Unter dem Deckel							
1. AP (0+083-0+770)		687,0	13,5	8,1	0,60	5.564,7	
2. AP (0+083-0+225)		142,0	13,5	8,1	0,60	1.150,2	
2. AP (0+225-0+781)		556,0	13,5	2,7	0,20	1.501,2	
Zwischensumme						8.216,1	

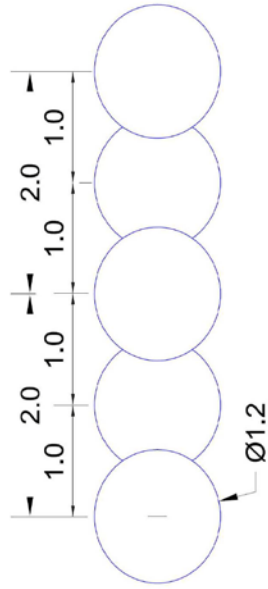


MASSENERMITTLUNG Bohrfahrarbeiten

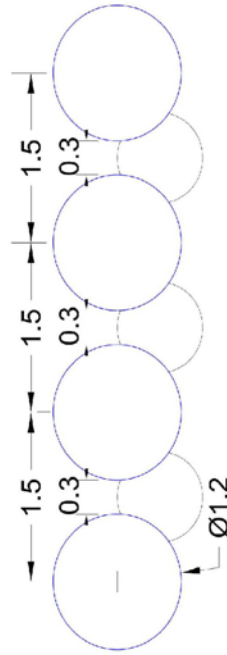
Beschreibung	Berechnung				
	Stück [-]	Länge [lfm]	Gesamtlänge [lfm]	Bewehrung [to]	Volumen [m³]
überschnittene BP					
Portal Ost					
Stationierung km:					
0+067-0+109	86	19,0	1.634,0	65,36	1.848,0
Zwischensumme	86		1.634,0	65,36	1.848,0
aufgelöste BP					
0+109-0+117	10	19,0	190,0	15,20	214,9
0+117-0+225	144	24,0	3.456,0	276,48	3.908,6
0+225-0+520	394	22,0	8.668,0	693,44	9.803,3
0+520-0+590	94	20,0	1.880,0	150,40	2.126,2
0+590-0+700	146	22,0	3.212,0	256,96	3.632,7
0+700-0+712	16	19,0	304,0	24,32	343,8
Zwischensumme	804		17.710,0	1.416,80	20.029,5
überschnittene BP					
Portal West					
0+712-0+734	44	19,0	836,0	33,44	945,5
0+734-0+779	90	15,0	1.350,0	54,00	1.526,8
0+779-0+789	19	11,0	209,0	8,36	236,4
Zwischensumme	153		2.395,0	95,80	2.708,7

Skizze

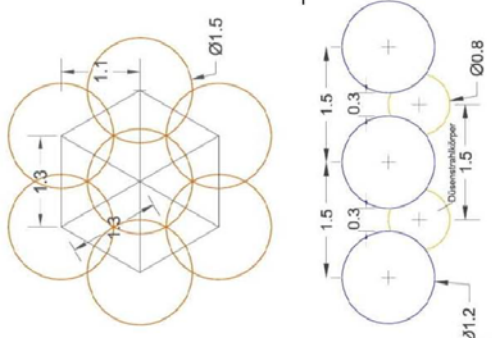
überschnittene Bohrfahrwand



aufgelöste Bohrfahrwand



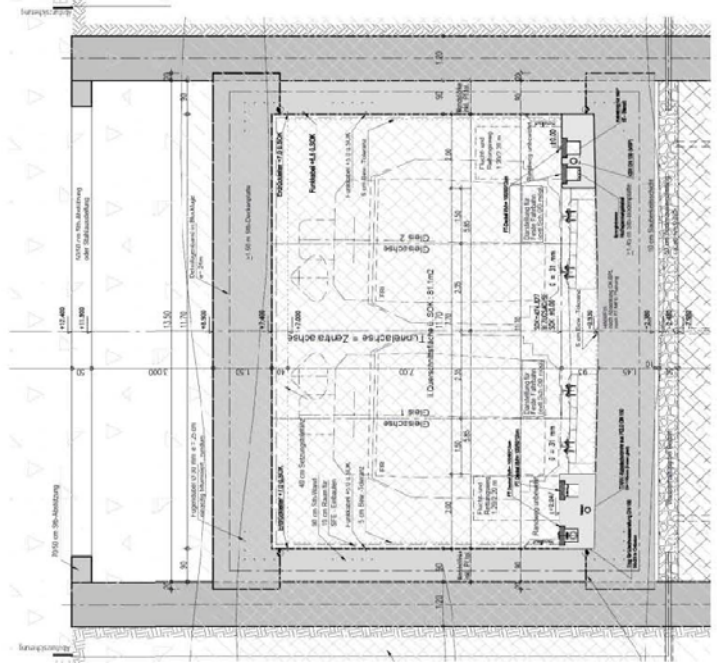
MASSENERMITTLUNG DSV - Arbeiten													
Beschreibung	Berechnung												
	Stück [:]	Länge [m]	Grundfl. [m²]	Höhe [lrm]	Volumen [m³]	Suspension			Wasser [m³]		Rücklauf [m³]	Zement [to]	
						Suspension [m³]	Volumen [m³]	Suspension [m³]	Bohren/Vorschn.	Gesamt [m³]			
DSV-Sohle													
Stationierung km: 0+225-0+790 Durchmesser 1,50 Geometrie Faktor 1,05	5.446	565,00	8.009	2,67	25.696	32.377	24.606	41.370	41.370	65.977	89.936	24.606,4	
Zwischensumme	9,64				25.696	32.377	24.606	41.370	41.370	65.977	89.936	24.606	
	[Stk/m]				[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[to]	
DSV- Zwickel													
0+109-0+117	10,00	8		10,00	50	50,0	38	44	44	82	261,4	38,0	
0+117-0+712	794,00	595		15,00	5.987	5.955,0	4.526	5.276	9.802	9.802	31.130,4	4.525,8	
Zwischensumme	804	603		14,9	6.037	6.005	4.564	5.320	9.884	9.884	31.392	4.563,8	
				[lrm]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[to]	



MASSENERMITTLUNG Betonbau

Beschreibung		Berechnung						
		Stück [-]	Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m²]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Bewehrung [to]
Pfahlaussteifungen								
STB-Aussteifung Achsabstand 5 m	80	12,1	0,50	0,25	0,50	242,0	31,5	
STB-Aussteifung Längs	2	400,0	0,70	0,35	0,50	280,0	36,4	
Zwischensumme						522,0	67,9	
Deckel								
Stat. 0+102-0+714		612,0	13,90	20,85	1,50	12.760,2	1.531,2	
Portal Ost	5	12,3	0,50	0,75	1,50	46,1	5,5	
Gurtbalken	2	23,0	2,00	3,00	1,50	138,0	16,6	
Portal West	7	12,3	0,50	0,75	1,50	64,6	7,7	
Gurtbalken	2	21,0	2,00	3,00	1,50	126,0	15,1	
Zwischensumme						13.134,9	1.576,2	
Bodenplatte								
Stat. 0+083-0+781	2	698,0	1,10	0,22	0,20	307,1	39,9	
Stat. 0+083-0+781		698,0	13,90	20,92	1,51	14.601,8	1.898,2	
Zwischensumme						14.908,9	1.938,2	
Wände								
Stat. 0+100-0+720	2	620,0	0,95	7,60	8,00	9.424,0	1.225,1	
Zwischensumme						9.424,0	1.225,1	

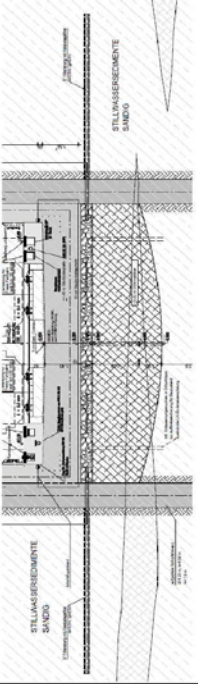
Skizze




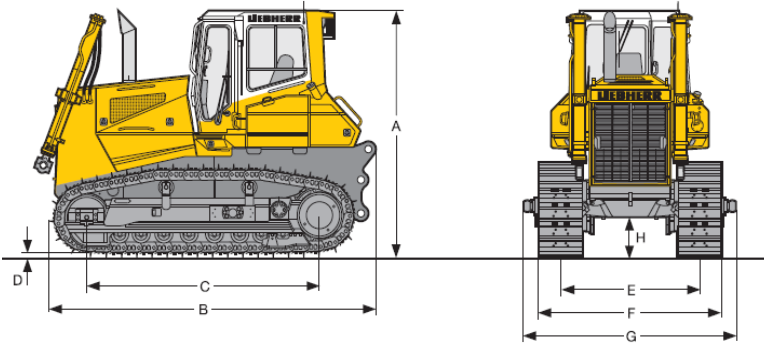
**MASSENERMITTLUNG Betonbau
(Sauberkeitsschichten)**

Beschreibung	Berechnung						Skizze	
	+/-	Stück [-]	Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m ²]	Höhe [m]		Volumen [m ³]
Pfahlsaussteifungen								
STB-Aussteifung Achsabstand 5 m	80		12,1	1,00	0,07	0,07		67,8
STB-Aussteifung Längs	2		490,0	1,00	0,07	0,07		68,6
Zwischensumme								136,4 [m ³]
Deckel								
Stat. 0+079-0+735			656,0	13,50	1,35	0,10		885,6
Zwischensumme								885,6 [m ³]
Bodenplatte								
Stat. 0+083-0+781			698,0	13,50	1,35	0,10		942,3
Zwischensumme								942,3 [m ³]


MASSENERMITTLUNG geneigte Entwässerungsbohrungen


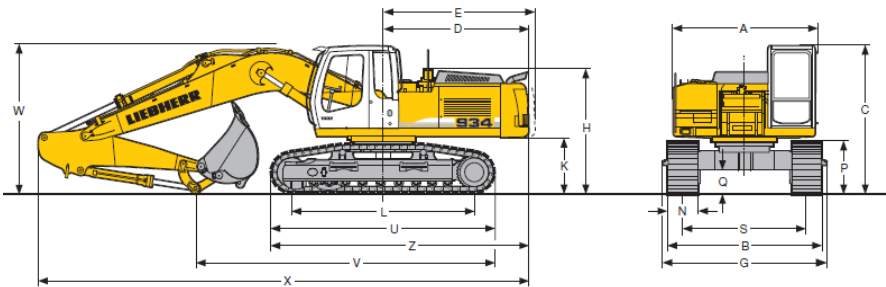
Beschreibung	Stück [-]	Durchm. [m]	Länge [lfm]	Gesamtlänge [lfm]	Berechnung		Skizze
					Kies [m³]	Volumen [m³]	
geneigte Entwässerungsbohrung Stationierung km: 0+083-0+781	464	0,20	8,00	3.712,00	69,59	116,62	5" Filterstrang mit Kiesbelagsfilter 
Gesamtsumme	464,00 [Stück]	0,20 [m]	5,33 [lfm/m]	3.712,00 [lfm]	69,59 [m³]	116,62 [m³]	


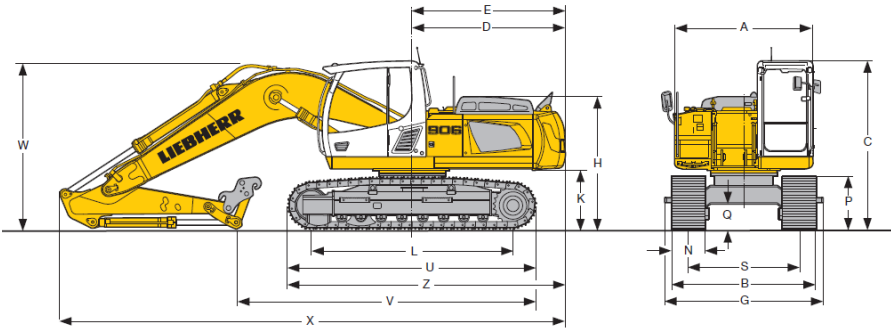
A.11 Gerätedatenblätter


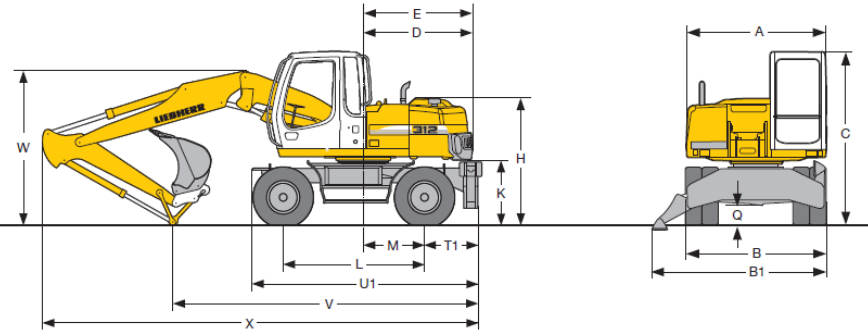
Gerätedatenblatt ¹				
PLANIERRAUPE				
Hersteller	Liebherr			
Typ	PR 744 Litronic			
LEISTUNGSDATEN				
Schildtyp	Brustschild		[-]	
Nenninhalt	6		[m³]	
Schildbreite	4		[m]	
Motorleistung	185		[kW]	
ABMESSUNGEN				
				
A	Höhe über Fahrerkabine	3.434	[mm]	
B	Länge ohne Ausrüstung	4.657	[mm]	
C	Radstand	2.992	[mm]	
D	Steghöhe	72	[mm]	
E	Spurbreite	1.980	[mm]	
F	Breite über Laufwerk	2.541	[mm]	
G	Breite über Kugelzapfen	3.000	[mm]	
H	Bodenfreiheit	545	[mm]	
	Transportgewicht	20.920	[kg]	
¹ Vgl. http://www.liebherr.com/EM/de-DE/region-%28europe%29/products_em.wfw/id-7405-0/measurement/tab-5318_1511 ; Datum des Zugriffs: 01.08.2010 09:30.				


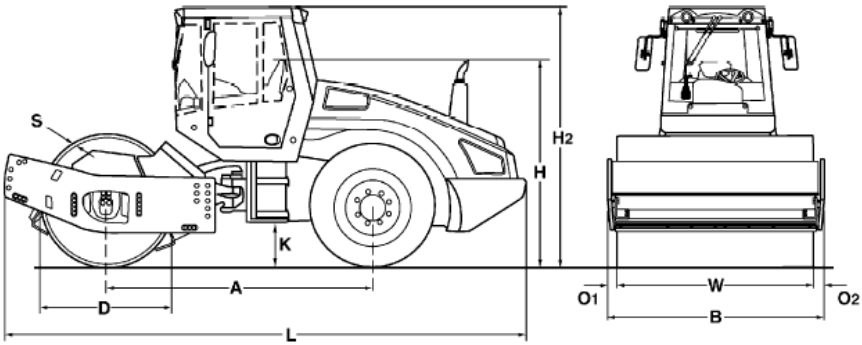
Gerätedatenblatt ¹		
RADLADER		
Hersteller	Volvo	
Typ	L 120 E	
LEISTUNGSDATEN		
Schildtyp	Universalschaufel	[-]
Nenninhalt	3,6	[m ³]
Motorleistung	165	[kW]
ABMESSUNGEN		
A	8.120	[mm]
B	6.540	[mm]
C	3.200	[mm]
D	400	[mm]
F	3.360	[mm]
G	2.132	[mm]
K	4.110	[mm]
Gewicht	18.900	[kg]
¹ Vgl. http://www.schwickert-baumaschinen.de/_mediafiles/262-volvo_radlader_l_120_e.pdf ; Datum des Zugriffs: 15.09.2010 06:30.		


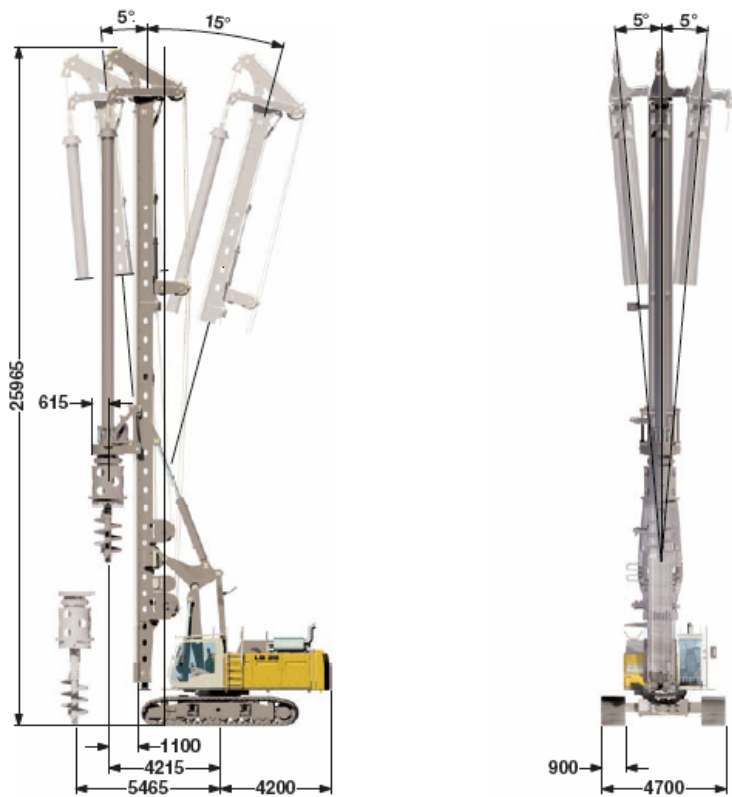
Gerätedatenblatt ¹		
DUMPER		
Hersteller	Volvo	
Typ	A 30 E	
LEISTUNGSDATEN		
Nenninhalt	17,5	[m ³]
Motorleistung	252	[kW]
Hubraum	9,4	[l]
Höchstgeschwindigkeit	53	[km/h]
ABMESSUNGEN		
A	10.297	[mm]
A ₁	4.954	[mm]
A ₂	6.002	[mm]
N ₁	8.105	[mm]
U	3.310	[mm]
V	2.216	[mm]
W	2.941	[mm]
Gewicht	23.060	[kg]
¹ Vgl. http://www.volvo.com/nr/rdonlyres/4f1a355e-3b28-4b19-a688-777b0a553f10/0/brochurea25ea30e_25b1003154_200709.pdf ; Datum des Zugriffs:15.09.2010 06:30.		

Gerätedatenblatt ¹				
HYDRAULIKBAGGER				
Hersteller	Liebherr			
Typ	R 934 C			
LEISTUNGSDATEN				
Nenninhalt	1,5	[m ³]		
Tieflöffelinhalt	0,95 - 1,95	[m ³]		
Gewicht	31.100 - 35.900	[kg]		
Motorleistung	150	[kW]		
ABMESSUNGEN				
				
A	3.050	[mm]		
B	3.150	[mm]		
C	3.125	[mm]		
E	3.145	[mm]		
K	1.160	[mm]		
U	4.720	[mm]		
¹ Vgl. Datenblatt Raupenbagger R 934 C; http://www.liebherr.com/EM/de-DE/region-%28europe%29/products_em.wfw/id-7905-0/measure-metric/tab-5451_1517 ; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 22:30.				

Gerätedatenblatt ¹			
HYDRAULIKBAGGER			
Hersteller	Liebherr		
Typ	R 906 C		
LEISTUNGSDATEN			
Nenninhalt	1,15		[m ³]
Tieflöffelinhalt	0,8 - 1,35		[m ³]
Gewicht	21.300 - 25.8500		[kg]
Motorleistung	105		[kW]
ABMESSUNGEN			
			
A		2.500	[mm]
B		2.850	[mm]
C		3.047	[mm]
E		2.940	[mm]
K		1.095	[mm]
U		4.510	[mm]
¹ Vgl. Datenblatt Raupenbagger R 906 C; http://www.liebherr.com/EM/de-DE/region-%28europe%29/products_em.wfw/ic-11794-0/measure-metric/tab-8494_1517 ; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 22:30.			

Gerätedatenblatt ¹				
MOBILBAGGER				
Hersteller	Liebherr			
Typ	A 312			
LEISTUNGSDATEN				
Nenninhalt	0,8	[m ³]		
Tieföffelinhalt	0,17-0,80	[m ³]		
Gewicht	12.900-15.000	[kg]		
Motorleistung	81	[kW]		
ABMESSUNGEN				
				
A	2.510	[mm]		
B	2.550	[mm]		
B1	3.750	[mm]		
C	3.120	[mm]		
E	1.945	[mm]		
K	1.185	[mm]		
¹ Vgl. Datenblatt Mobilbagger A 312; http://www.liebherr.com/EM/de-DE/region-%28europe%29/products_em.wfw/id-516-0/measure-metric/tab-988_1507 ; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 22:30.				

Gerätedatenblatt ¹				
WALZENZUG				
Hersteller	Bomag			
Typ	211 D-4			
LEISTUNGSDATEN				
Arbeitsbreite	2.130	[mm]		
Spurkreisradius	3.494	[mm]		
Gewicht	10.950-13.790	[kg]		
Motorleistung	99	[kW]		
ABMESSUNGEN				
				
A	2.960	[mm]		
B	2.250	[mm]		
D	1.500	[mm]		
H2	2.985	[mm]		
K	490	[mm]		
L	5.808	[mm]		
¹ Vgl. Datenblatt Bomag 211 D-4; http://www.bomag.com/germany/index.aspx?&Lang=558 ; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 22:30.				

Gerätedatenblatt ¹		
DREHBOHRGERÄT		
Hersteller	Liebherr	
Typ	LB 28	
LEISTUNGSDATEN		
Max. Drehmoment	280	[kNm]
Max. Bohrtiefe	70	[m]
Gewicht	95.000	[kg]
Motorleistung	350	[kW]
ABMESSUNGEN		
		
¹ Vgl. Datenblatt Liebherr LB 28; http://www.liebherr.com/MCF/de-DE/products_mcf.wfw/id-11693-0/measure-metric/tab-6163_1523 ; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 22:30.		

Gerätedatenblatt¹

HYDROSEILBAGGER

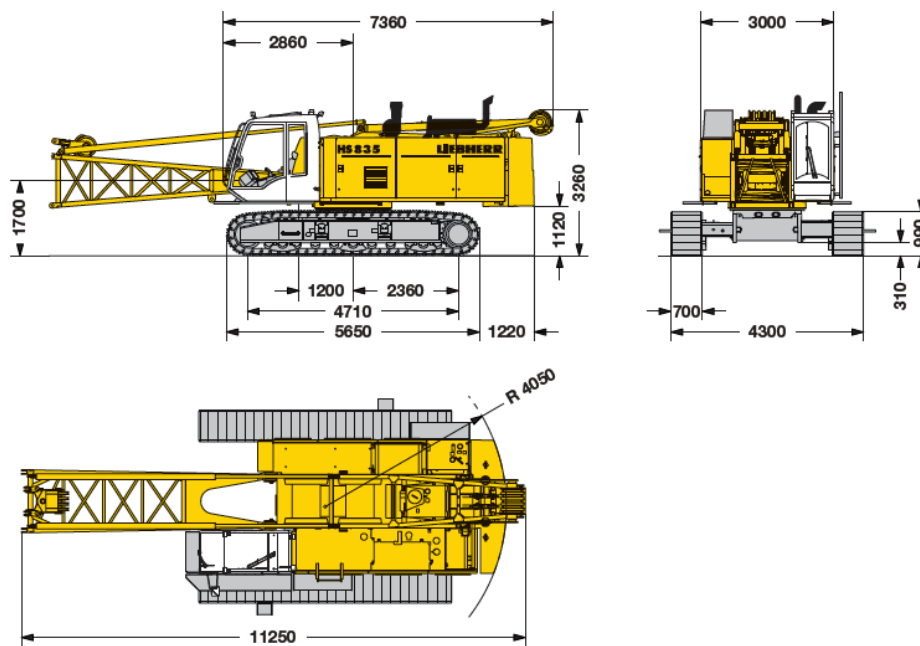
Hersteller	Liebherr
Typ	HS 835 HD




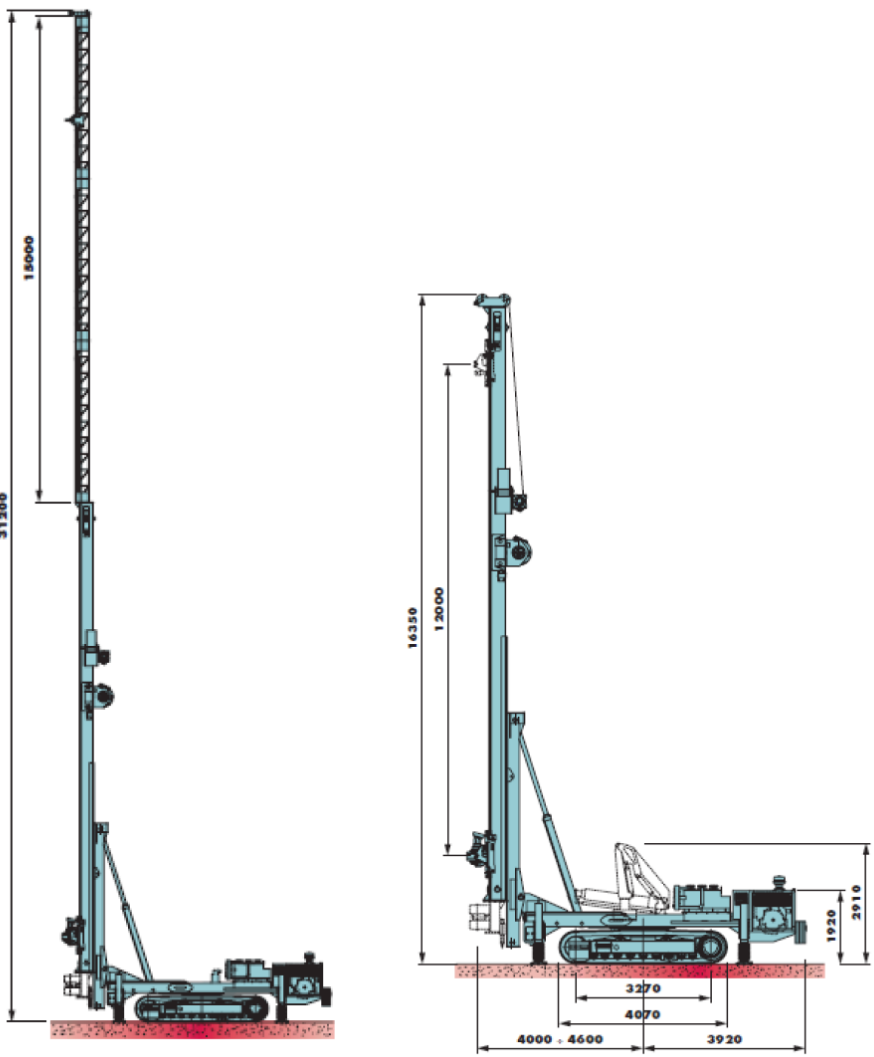
LEISTUNGSDATEN

Max. Hauptausleger	50	[m]
Auslegerlänge Greiferbetrieb	26	[m]
Gewicht	60.000	[kg]
Motorleistung	180-270	[kW]

ABMESSUNGEN



¹Vgl. Datenblatt Liebherr HS 835 HD; http://www.liebherr.com/EM/de-DE/region-%28europe%29/products_em.wfw/id-647-0/measure-metric/tab-1053_1522; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 23:30.

Gerätedatenblatt ¹		
BOHRGERÄT		
Hersteller	Casagrande	
Typ	C 14	
LEISTUNGSDATEN		
Max. Drehmoment	17,9	[kNm]
Gewicht	31.000	[kg]
Motorleistung	165	[kW]
ABMESSUNGEN		
		
¹ Vgl.: http://www.casagrandegroup.com/fondazioni/eng/prodotti_scheda.php?idfamiglia=9&idprodotto=43 ; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 23:30.		

Gerätedatenblatt¹

HOCHDRUCKPUMPE

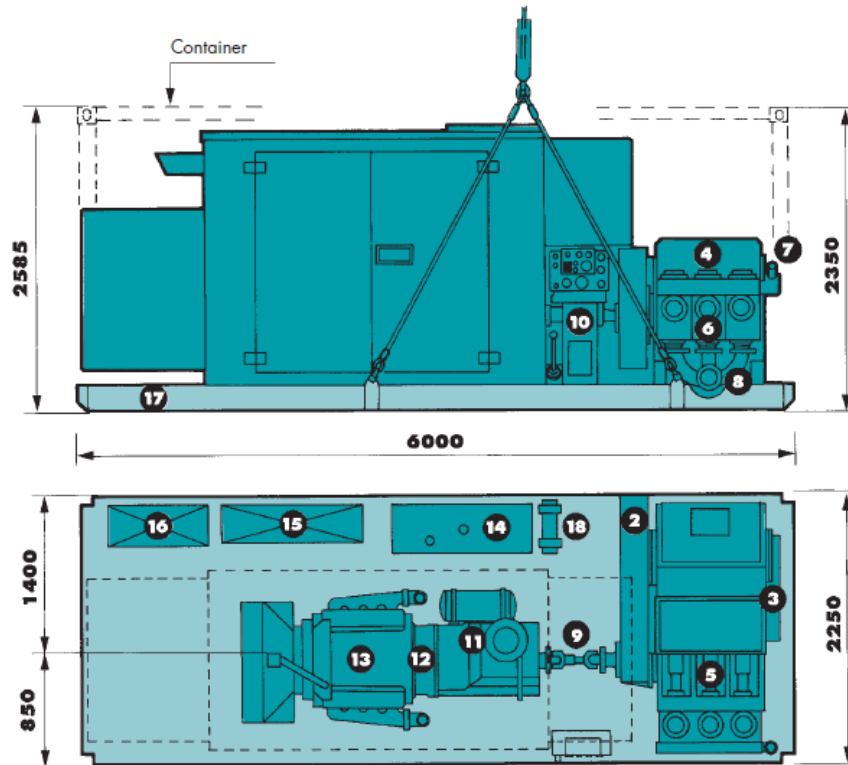
Hersteller	Casagrande
Typ	P 550



LEISTUNGSDATEN

Max. Drehmoment	1,815	[kNm]
Max. Druck	600-700	[bar]
Gewicht	9.000-12.600	[kg]
Motorleistung	316	[kW]

ABMESSUNGEN



¹Vgl.: http://www.casagrandegroup.com/fondazioni/eng/prodotti_scheda.php?idfamiglia=11&idprodotto=56; Datum des Zugriffs: 14.09.2010 23:30.

Gerätedatenblatt ¹		
MISCHANLAGE		
Hersteller	Casagrande	
Typ	Mix 20	
LEISTUNGSDATEN		
Max. Leistung	20	[m ³ /h]
Nenninhalt Mischer	1.250	[l]
Nenninhalt Wassertank	1.050	[l]
Motorleistung	7,5	[kW]
ABMESSUNGEN		
A	Mischer	
B	Wassertbehälter	
C	Mischpumpe	
D	Rührwerksbehälter	
E	Steuerungspult	
¹ Vgl.: http://www.casagrandegroup.com/fondazioni/eng/prodotti_scheda.php?idfamiglia=11&idprodotto=63 ; Datum des Zugriffs: 17.09.2010 00:13.		

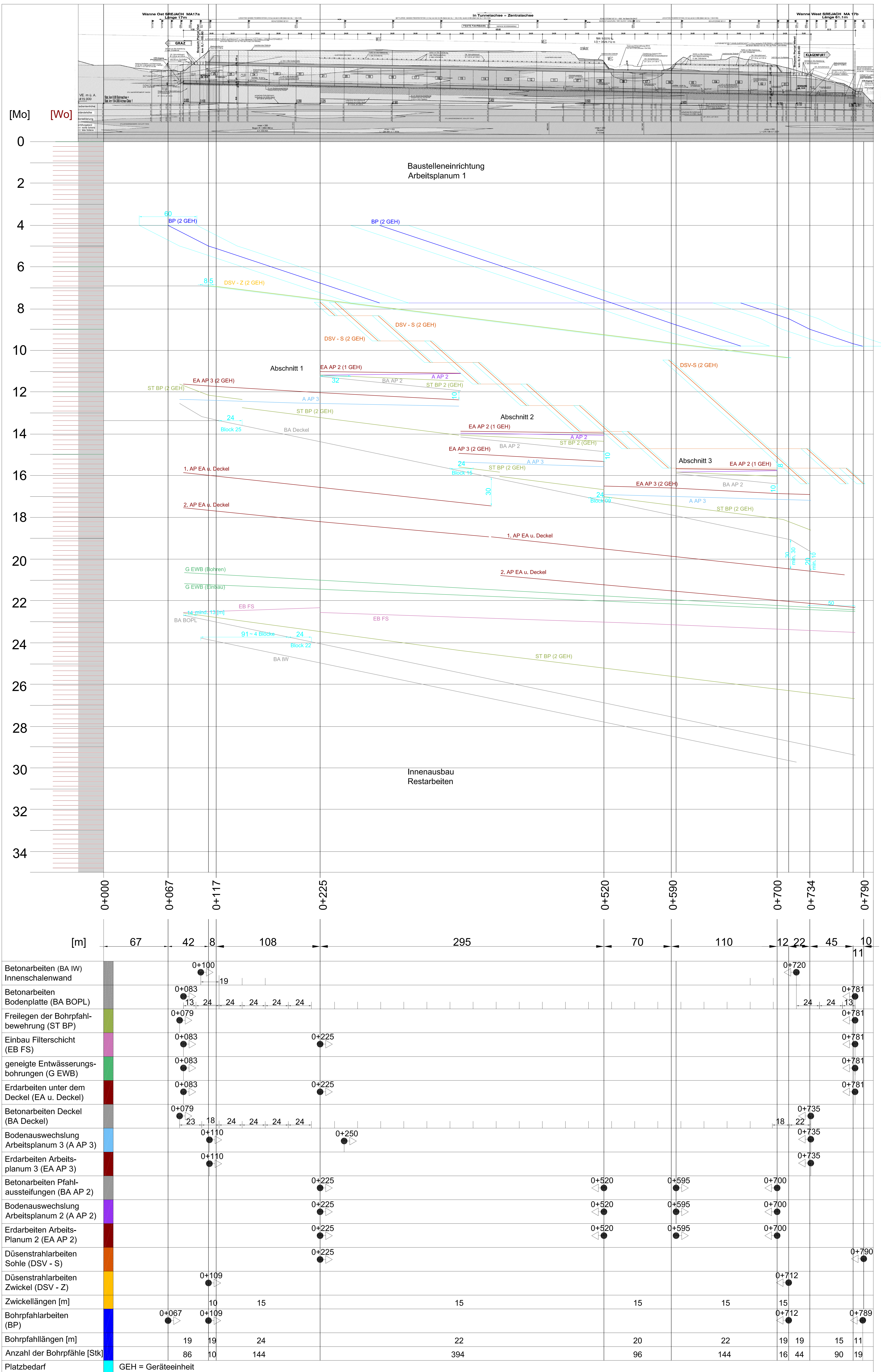


A.12 Diagramme

A.12.1 Zeit-Wege-Diagramm

A.12.2 Balkendiagramm

Bauablauf Srejach Zeit-Wege-Diagramm



Bauablauf Srejach Balkendiagramm

