

Leistungsermittlung im zyklischen Vortrieb

Masterarbeit

zum Erwerb des akademischen Grades
Master of Science
der Studienrichtung Rohstoffingenieurwesen

ausgeführt am
Lehrstuhl für Subsurface Engineering
an der Montanuniversität Leoben

von Reinhard Pankratz, BSc
Leoben

Leoben, im Februar 2013

Eidesstattliche Erklärung:

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angeführten Quellen verwendet und die wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Leoben, im Februar 2013

Reinhard Pankratz

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei der Firma ÖSTU-STETTIN, im speziellen bei Dipl. Ing. Stefan Auderer welcher mich betreute und mit Rat und Tat zur Seite stand, bedanken.

Für die Betreuung seitens des Lehrstuhles Subsurface Engineering möchte ich mich bei Professor Galler bedanken.

Des Weiteren danke ich meinen Eltern, welche mir die intensive Forschungszeit in Leoben und somit das Studium ermöglichten.

„Keine Schuld ist dringender, als die, Dank zu sagen.“

Marcus Tullius Cicero (106-43), röm. Redner u. Schriftsteller

Kurzfassung

Die genaue terminliche Koordination auf Tunnelbaustellen wird im Hochleistungstunnelvortrieb immer wichtiger. Daher ist es von großer Bedeutung, die Dauer von Arbeitsschritten im Voraus zu berechnen um eine realistische Personal-, Kosten- und Bauablaufplanung durchzuführen.

Im Rahmen der Diplomarbeit sind Richtwerte und Formeln zur Erstellung eines Berechnungsdatenblattes für Zykluszeiten dargestellt. Die Rechenwerte sind der Literatur entnommen und nur im Einzelfall durch praxiserprobte Werte ersetzt, sofern die Literaturwerte als nicht realistisch angesehen werden mussten.

Die Erstellung und Auswertung der Rechenblätter wird in Microsoft Excel durchgeführt.

Abschließend wird ein Vergleich mit dem bereits fertiggestellten Tunnel „Roppen“ durchgeführt, um die Ergebnisse auf ihre Praxistauglichkeit zu überprüfen. Die benötigten Werte wie Vortriebsklasse, Stützmittel oder Abschlagslänge sind den originalen Ausschreibungsunterlagen der ASFiNAG entnommen.

Abstract

The calculation of cycle times in high performance tunneling is a very important part during the calculation stage. It is important to calculate the duration of steps in advance in order to develop a realistic personnel, cost and constructability performance.

As part of the thesis, guidelines and formulas for creating a data sheet for calculating cycle times are shown. The values for the calculations, like the time for bolting or building a support core, are found in the literature. In some cases it was necessary to replace that data by field values, as the literature data were considered not to be realistic.

The calculation sheets were generated in Microsoft Excel.

Finally, the calculated cycle times were verified with the real data from the already completed tunnel "Roppen". The needed values, like excavation length or supporting, were taken from the original tender documents from the ASFiNAG.

Inhalt

1.	Einleitung	1
2.	Zusammenfassung	2
3.	Der Vortrieb	4
3.1.	Abtrennung des zyklischen vom kontinuierlichen Vortrieb ...	4
3.2.	Der zyklische Vortrieb	4
3.2.1.	Bohren	5
3.2.2.	Laden und Besetzen	7
3.2.3.	Sprengen	8
3.2.4.	Baggervortrieb	9
3.2.5.	Bewettern	10
3.2.6.	Schuttern	11
3.2.7.	Sichern	13
3.2.8.	Vermessen	17
4.	Ermittlung der vortriebsbeeinflussenden Faktoren	19
4.1.	Einflussfaktoren Bohren	19
4.1.1.	Bohrtiefe	19
4.1.2.	Nettobohrleistung	19
4.1.3.	Ausfallzeit	19
4.1.4.	Rückziehen und Umsetzen	19
4.1.5.	Muffen	19
4.1.6.	Einaxiale Druckfestigkeit	19
4.1.7.	Bohrergerädefaktor k_1	20
4.1.8.	Leistungseinflussfaktor k_2	20
4.1.9.	Betriebsbeiwert k_3	20
4.1.10.	Schneiden-/Zahnzustandsfaktor f_4	20
4.1.11.	Verfügbarkeits- / Gerätenutzungsfaktor f_5	20
4.1.12.	Bedienungsfaktor η_1	21
4.1.13.	Betriebsbedingungen η_2	21
4.1.14.	Berechnung der Bohrleistung	22
4.2.	Sprengen	24
4.2.1.	Laden	24
4.2.2.	Verdrahten	26
4.3.	Einflussfaktoren Schuttern	26
4.3.1.	Radlader	26
4.3.2.	Berechnung der Ladeleistung für Radlader	40
4.3.3.	Hydraulikbagger	44

4.3.4.	Berechnen der Ladeleistung für Bagger	49
4.3.5.	Knickgelenkter Muldenkipper	51
4.4.	Einbauzeiten der Stützmittel	54
4.4.1.	Anker.....	55
4.4.2.	Bögen	55
4.4.3.	Spritzbeton.....	56
4.4.4.	Baustahlgitter	57
4.4.5.	Spieße	58
4.5.	Leistungsminderungen	59
4.5.1.	Beeinflussung durch Bergwässer	59
4.5.2.	Beeinflussung durch Personal.....	59
4.6.	Objektabhängige Variablen	60
4.7.	Rüstzeiten/Festzeiten.....	60
5.	Betrachtung des kritischen Weges	61
6.	Ermittlung der Zykluszeit.....	64
6.1.	Bohren und Sprengen	64
6.1.1.	Ermittlung der Bohrlochanzahl	64
6.1.2.	Ermittlung der Bruttobohrgeschwindigkeit	64
6.1.3.	Ermittlung der Bohrzeit	65
6.1.4.	Besetzzeit.....	65
6.2.	Lösen.....	65
6.2.1.	Rüstzeit.....	66
6.2.2.	Lösezeit	66
6.3.	Schüttern	66
6.4.	Sichern	67
6.4.1.	Anker.....	67
6.4.2.	Baustahlgitter	68
6.4.3.	Bogen	68
6.4.4.	Spieße	68
6.4.5.	Spritzbeton.....	68
6.5.	Zusatzleistungen	69
6.5.1.	Ausbruch zusätzlicher Teilflächen	69
6.5.2.	Kalottenfuß.....	69
6.5.3.	Stützkern	69
6.5.4.	Stauchelemente	69
6.5.5.	Sohlauffüllung.....	70
6.6.	Gesamtzeit Ausbruch	70
6.7.	Erschwernisse	70

6.8.	Gesamtzeit Zyklus	71
7.	Praktische Beispiele	72
7.1.	Kalotte	72
7.1.1.	Vortrieb West.....	72
7.1.2.	Vortrieb Ost.....	74
7.2.	Strosse	76
7.2.1.	Vortrieb West.....	76
7.2.2.	Vortrieb Ost.....	78
7.3.	Sohle	80
7.4.	Vergleich	80
7.4.1.	Kalotte West	81
7.4.2.	Kalotte Ost	81
7.4.3.	Strosse West	82
7.4.4.	Strosse Ost.....	82
7.4.5.	Sohle	82
8.	Literaturverzeichnis.....	84
9.	Tabellenverzeichnis.....	86
10.	Abbildungsverzeichnis	89
11.	Abkürzungsverzeichnis	91
12.	Anhang 1.....	92
13.	Anhang 2 – Berechnungstabellen.....	93
13.1.	Berechnungstabellen Vortrieb West.....	93
13.1.1.	Kalotte	93
13.1.2.	Strosse.....	96
13.1.3.	Sohle	99
13.2.	Berechnungstabellen Vortrieb Ost.....	100
13.2.1.	Kalotte	100
13.2.2.	Strosse.....	103

1. Einleitung

Die Berechnung von Zykluszeiten anhand der ausgeschriebenen Vortriebsklassen ist ein wesentlicher Teil der Angebotserstellung. Die hier errechneten Zeiten werden anschließend als vertraglich vereinbarte Vortriebsgeschwindigkeiten in das Angebot eingegliedert. Aus den Vortriebsgeschwindigkeiten je Vortriebsklasse und der prognostizierten Verteilung der Vortriebsklassen lassen sich nun die prognostizierte Gesamtbauzeit sowie die erforderlichen Kosten für den Ausbruch errechnen. Daher ist es für eine ausführende Firma von elementarer Bedeutung Zykluszeiten und die daraus resultierende Vortriebsgeschwindigkeit schon im Vorfeld so genau als möglich zu berechnen, um das Angebot möglichst genau zu kalkulieren.

Da jedoch die Angebotsfristen zeitlich begrenzt sind und Baufirmen mehr als ein Projekt bearbeiten, gilt es nun die Kalkulation mit möglichst geringem Zeit- und Personalaufwand hinreichend genau durchzuführen. Ziel dieser Arbeit ist es, die Anzahl der einfließenden Faktoren und die Zusammenhänge zwischen den Faktoren in der Berechnung so zusammenzustellen, dass die durchgeführte Berechnung die Zykluszeit ausreichend genau darstellt.

Zu diesem Zwecke wird im Kapitel 3 zuerst eine allgemeine Beschreibung des zyklischen Vortriebes durchgeführt, um anschließend im Kapitel 4 festzustellen, welche Werte berechnet werden können und welche Methoden dazu angewendet werden. In Kapitel 5 wird eine Beschreibung des kritischen Weges durchgeführt, um daraus die für die Berechnung wichtigen Gleichzeitigkeitsfaktoren zu ermitteln. Die in den Kapiteln 4 und 5 bestimmten Werte und Formeln werden in Kapitel 6 zu einem praxistauglichem Rechenmodell zusammengeführt. Das Ergebnis wird in Excel - Dateien übertragen und anhand der realen Zeiten des bereits fertig gebauten Tunnel „Roppen“ verifiziert.

2. Zusammenfassung

Während der Literaturrecherche mussten schon einige Werte, mehrheitlich im Bereich der Stützmittel, von der weiteren Verwendung ausgeschlossen werden. Aus nachfolgend angeführten Gründen konnten sie als nicht praxisnah angesehen werden. Einerseits konnten zu große Unterschiede zu anderen in der Literatur verwendeten Werten festgestellt werden, andererseits wurde nicht erklärt, wie diese Werte zustande kamen. An dieser Stelle sei im Besonderen auf Kapitel 4.4 verwiesen. In diesen Fällen wurden die betroffenen Werte durch bereits praxiserprobte Werte ersetzt.

Durch die Aktualisierung von Leistungsangaben im maschinellen Bereich auf den aktuellen Stand der Technik und die Verwendung alternativer Rechenwege konnte eine Genauigkeitssteigerung der Vorausberechnung der Zykluszeit erreicht werden. Die Vergleichswerte wurden den bisherigen Kalkulationstabellen der Firma ÖSTU-STETTIN entnommen.

Es wird festgestellt, dass trotz Anpassung der Rechenwerte auf den aktuellen Stand der Technik und Veränderung der Rechenwege Ungenauigkeiten in den Berechnungen vorherrschen und auch weiterhin vorherrschen werden. Grund dafür ist, dass zu viele veränderliche Parameter einfließen. Die veränderlichen Parameter können menschlicher, maschineller oder geologischer Natur sein. Dies ist sehr gut im direkten Vergleich der Strossenvortriebe zu sehen. Im Westvortrieb konnten in der Vortriebsklasse F 1/0,52 im Schnitt 33,95m erzielt werden. In derselben Vortriebsklasse wurde im Ostvortrieb ein Schnitt von 43,01m erzielt. Rechnerisch wäre eine Erhöhung der Vortriebsgeschwindigkeit von 29,12m im Westvortrieb auf 32,39 im Ostvortrieb im Bereich des Möglichen.

Vorrausschauend muss gesagt werden, dass eine ständige Überprüfung und notwendigerweise auch eine Aktualisierung von Zeiten, welche zur Erstellung einer Zykluszeitberechnung dienen, durch Baufirmen unerlässlich ist. Auch eine genauere Betrachtung von Arbeitsabläufen und den Möglichkeiten diese gleichzeitig durchzuführen, ist in der Nachbereitung von Projekten unerlässlich. Dies bedeutet natürlich einen erhöhten Aufwand in der Abschlussphase eines Projektes, dient jedoch dazu, die Bauzeiten und somit die Kosten zukünftiger Projekte genauer zu kalkulieren. Weiters gilt es, im Hochleistungstunnelbau die Mechanisierung von Arbeitsschritten voranzutreiben, um eine effektivere und damit zeitsparendere Durchführung zu gewährleisten.

Ungenauigkeiten in der Berechnung von Zykluszeiten können jedoch auf Dauer nicht endgültig beseitigt werden, da zu viele veränderliche Parameter vorliegen, welche im Vorfeld nicht immer genau bestimmbar sind.

3. Der Vortrieb

3.1. Abtrennung des zyklischen vom kontinuierlichen Vortrieb

Im untertägigen Hohlraumbau für Verkehrstunnel existieren derzeit zwei unterschiedliche Vortriebsarten:

- der zyklische oder konventionelle Vortrieb
- der kontinuierliche oder maschinelle Vortrieb.

Der zyklische Vortrieb unterscheidet sich vom kontinuierlichen Vortrieb dadurch, dass *„die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen zeitlich nacheinander und mit Hilfe von Einzelgeräten ausgeführt werden. Das Lösen erfolgt in der Regel durch Sprengen, Bagger oder TSM“* (2203-1, 2001 S. 8).

Beim kontinuierlichen Vortrieb wird der *„Vortrieb mit Hilfe einer Tunnelvortriebsmaschine (Tunnelbohrmaschine, Schildmaschine usw.), bei der die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt“* (2203-1, 2001 S. 8).

3.2. Der zyklische Vortrieb

Kennzeichnend für den zyklischen Vortrieb ist die zeitliche Aneinanderreihung von Lösen, Laden, Sichern und Vermessen. Diese Tätigkeiten definieren hier im Wesentlichen auch den kritischen Weg. Alle anderen Tätigkeiten werden als baubegleitende Maßnahmen durchgeführt.

Der zyklische Vortrieb besteht aus einzelnen Abschlügen. Ein Abschlag ist in folgende Arbeitsschritte unterteilt:

- Bohren
- Laden
- Sprengen
- Bewettern
- Schüttern
- Beräumen
- Sichern
- Vermessen

Diese sind schematisch in Abbildung 3-1 dargestellt.

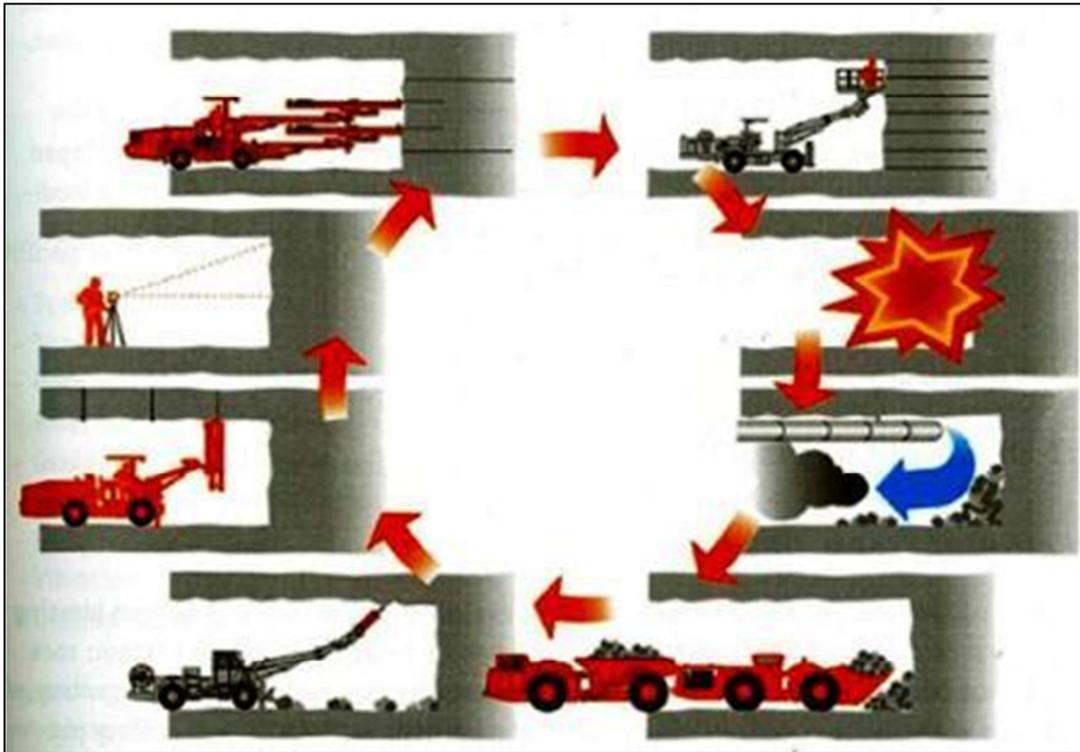


Abbildung 3-1: Der zyklische Vortrieb (HOCHTIEF-ODEN-TUNNELLING, 2012)

3.2.1. Bohren

Unter Bohren wird im Allgemeinen das Herstellen von Löchern mittels Bohrgeräten verstanden. Die Eigenschaften der Bohrgeräte sind bestimmt durch die Eigenschaften des zu bearbeitenden Materials. Im Tunnelbau werden die so geschaffenen Bohrlöcher verschiedenen Anwendungen zugeführt:

Sprengbohrung	Bohrlöcher zur Aufnahme der Sprengstoffladung, Leerbohrungen zur Begrenzung der Sprengwirkung
Ankerbohrung	Bohrlöcher zur Aufnahme von Felsankern zur Gebirgsverbesserung und Sicherung, Montageanker zu Befestigungszwecken für den Baubetrieb
Entlastungsbohrung	Bohrung zur Druckwasserentlastung bzw. -entspannung
Erkundungsbohrung	Vorausbohrung in das den Hohlraum umgebende Gebirge zur Feststellung von Fehlstellen (Tastbohrung) und wasserführenden Schichten
Geotechnische Bohrung	Bohrlöcher zur Aufnahme von geotechnischen Messeinrichtungen

Tabelle 3-1: Arten von Bohrlöchern im Tunnelbau (Maidl, et al., 1997 S. 27)

Die oben genannten Bohrlöcher unterscheiden sich in der Herstellung durch Länge und Lochdurchmesser und somit in der Herstellzeit.

3.2.1.1. Bohrverfahren

Bei den angewendeten Bohrverfahren wird zwischen schlagenden, drehenden und drehschlagenden Bohrverfahren unterschieden. Beim schlagenden Bohrverfahren wird das Gestein durch die Kerbschlag-

wirkung zerstört. Im Gegensatz dazu wird beim drehenden Bohren im Bohrloch tiefsten das Gestein durch den Anpressdruck spanend abgeschert. Neue Hydraulikhämmer verwenden das dreh-schlagende Verfahren, bei dem auch während des Rückzuges des Bohrkopfes der Kontakt mit dem Fels durch den Vorschub gewährleistet wird (Girmscheid, 2008 S. 73 ff.).

3.2.1.2. Bohrgeräte

Im zyklischen Tunnelbau werden heutzutage überwiegend Bohrwägen mit mehreren Bohrlafetten verwendet. Auch der Einbau eines Ladekorbes für begleitende Tätigkeiten, z.B. Ankern, ist nicht unüblich. Die Lafetten sind hierbei entweder auf radgebundenen Trägergeräten oder Kettenfahrgestellen montiert.

Moderne Bohrwägen sind mit einem computergestützten Bohrsystem ausgerüstet, welches die Lafetten automatisiert steuert und somit die Leistung erhöht.

Beim Einsatz eines Bohrwagens ist auf alle Fälle darauf zu achten, dass der Wirkungsbereich die gesamte Ortsbrust abdeckt.

(s. Abbildung 3-2)

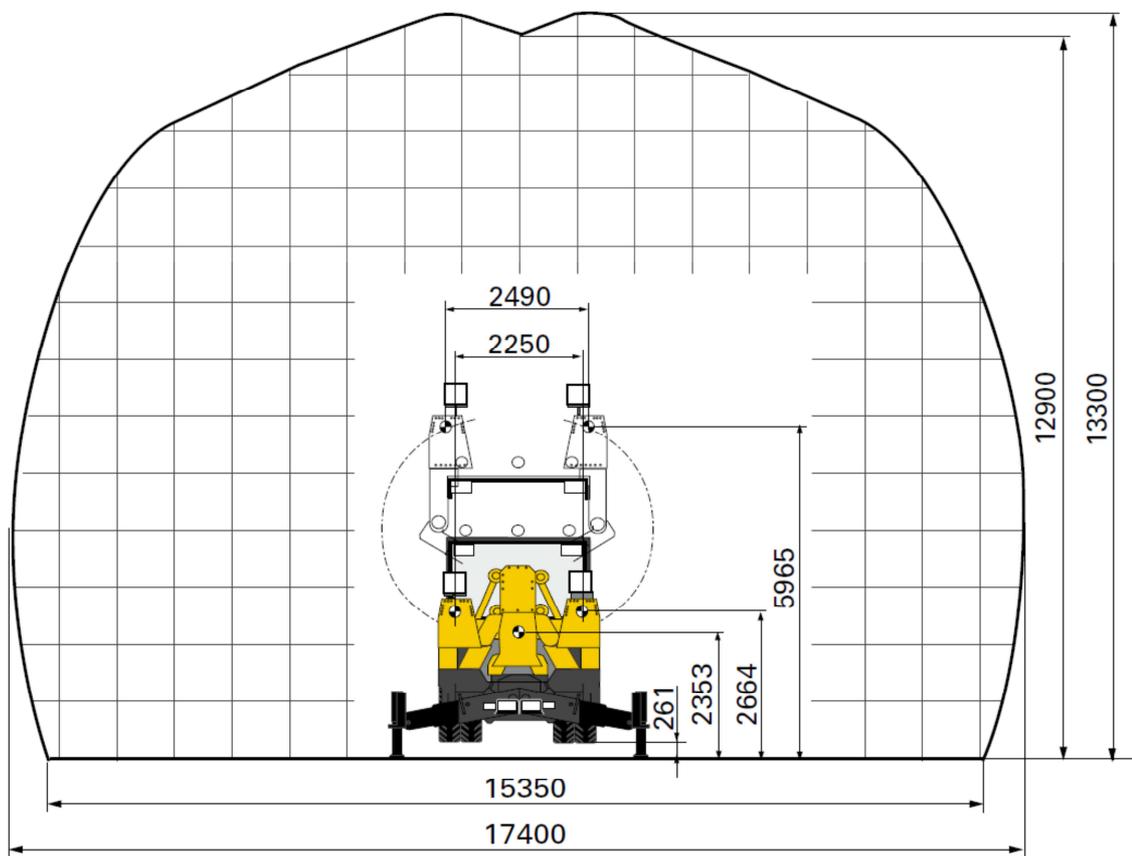


Abbildung 3-2: Wirkbereich eines modernen Bohrwagens (Atlas Copco, 2010)

3.2.2. Laden und Besetzen

Das Laden der Bohrlöcher mit Sprengstoff ist abhängig von der Art des gewählten Sprengstoffes. Folgende Möglichkeiten stehen hierbei zur Verfügung:

3.2.2.1. Einblasen

Das Einblasen des Sprengstoffes wird für pulverförmige Sprengstoffe verwendet. Hierbei wird das Bohrloch mittels eines Kunststoffschlauches, vom Bohrlochtiefsten beginnend, gefüllt.

3.2.2.2. Pumpen

Pumpfähige Emulsionssprengstoffe werden mittels Mischpumpenfahrzeugen direkt vor Ort hergestellt und anschließend in die Bohrlöcher gepumpt.

3.2.2.3. Ladepistole

Ladepistolen werden zum Einbringen von Emulsions- oder patronierten gelatinösen Sprengstoffen verwendet, finden jedoch nur selten Einsatz. Der Sprengstoff wird mittels Druckluft durch ein Kunststoffrohr in das Bohrloch eingeschossen.

3.2.2.4. Ladestock

Die technisch einfachste Art des Ladens ist, sofern Sprengstoffpatronen verwendet werden, das Laden mittels Ladestock. Bei diesem Verfahren wird der patronierte Sprengstoff mit einem Ladestock in das Bohrloch geschoben und durch Andrücken verdichtet. Es ist darauf zu achten, dass der Ladestock aus Holz oder Plastik besteht, damit eine statische Aufladung und ein daraus resultierender Funkenflug vermieden wird.

3.2.2.5. Der Ladevorgang

Vor dem Einbringen des Sprengstoffes sind die Bohrlöcher zu reinigen. Dies kann entweder mittels Druckluft oder mittels einer Räumkratze durchgeführt werden. Anschließend wird eine Schlagpatrone hergestellt und ins Bohrlochtiefste geschoben. Dabei ist zu beachten, dass der Zünddraht möglichst straff gehalten wird, um Beschädigungen desselben zu vermeiden.

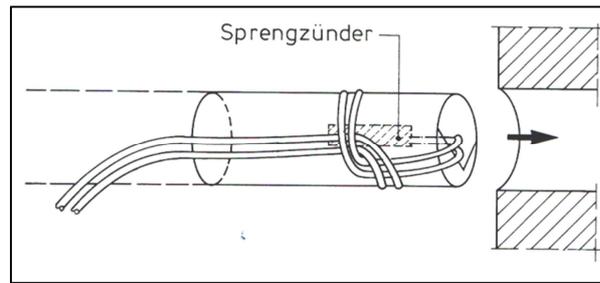


Abbildung 3-3: Schlagpatrone (Maidl, et al., 1997 S. 80)

Das restliche Bohrloch wird anschließend je nach Bedarf mit dem verwendeten Sprengstoff gefüllt, jedoch nicht bis zum Bohrlochmund da hier der Besatz eingebracht wird. Das Befüllen des Bohrloches mit gelatinösen und pulverförmigen Sprengstoffen wird maschinell durchgeführt.

3.2.3. Sprengen

3.2.3.1. Zündmittel und -systeme

Nach dem Abgleiten der Zündschnur in die Bedeutungslosigkeit werden heutzutage im Tunnelbau drei Zündarten unterschieden:

- die nichtelektrische Zündung
- die elektrische Zündung
- die elektronische Zündung.

3.2.3.2. Die nichtelektrische Zündung

Die Einleitung der Zündenergie in den Zünder erfolgt über einen Zündschlauch. Der Zündvorgang im Zündschlauch wird mittels einer Zündpistole, einem elektrischen Funken aus einem elektrischen Startgerät oder einer Sprengkapsel eingeleitet. Der Detonationsvorgang zündet bei Erreichen des Zünders zuerst das Verzögerungselement und anschließend die Primärladung. Diese wiederum initialisiert den Zündvorgang in der Sekundärladung.

Beim Gebrauch des Zündschlauches ist darauf zu achten, dass dieser nicht beschädigt wird, da eintretende Feuchtigkeit den Zündvorgang unterbricht.

3.2.3.3. Die elektrische Zündung

Bei der elektrischen Zündung wird mittels einer Zündmaschine ein elektrischer Impuls erzeugt. Dieser bringt die Zünder, welche über isolierte Kupferzünddrähte miteinander verbunden sind, zur Detonation (Girmscheid, 2000 S. 88 f). Als Zündmaschinen kommen im Tunnelbau ausschließlich Kondensator-Zündmaschinen vor. Der Kondensator-

sator wird mittels einer Kurbel oder einer Batterie geladen, welche aus Sicherheitsgründen abnehmbar sein muss.

Im Tunnelbau werden HU (**H**och **U**nempfindlich)-Zünder verwendet, um die Gefahr einer Selbstzündung zu minimieren.

Für die zeitliche Verzögerung in verschiedenen Sprengschemata sorgen entweder Momentan- oder Zeitzünder. Während der Momentanzünder im Moment des Stromdurchganges in der Glühbrücke detoniert, geschieht dies beim Zeitzünder erst nach dem Abbrennen des Verzögerungssatzes.

Vor jeder Sprengung wird mittels eines speziellen Ohmmeters, dem Zündkreisprüfer, der Zündkreis letztmalig einer Überprüfung unterzogen. (Maidl, et al., 1997 S. 80) (Girmscheid, 2000 S. 90)

3.2.3.4. Die elektronische Zündung

Eine Abwandlung der elektrischen Zündung durch Weiterentwicklung ist der elektronische Zünder. Hier wurden die bisher zur Verzögerung verwendeten pyrotechnischen Verzögerungssätze durch Mikrochips ersetzt. Diese sind einzeln und auf 1 Millisekunde genau, mittels spezieller Programmier- und Steuergeräte, programmierbar. Diese senden neben der zur Sprengung benötigten Spannung zusätzliche elektronische Informationen aus, ohne die ein Zünder nicht detoniert. Dies macht dieses Zündsystem sicherer als die erwähnten HU-Zünder. (Maidl, et al., 1997 S. 80) (Girmscheid, 2000 S. 90 f)

3.2.4. Baggervortrieb

Eine andere Möglichkeit des Abbaus der Ortsbrust ist das Lösen mit Hilfe eines Tunnelbaggers. Dabei werden hydraulische Tunnelbagger eingesetzt, welche die weichen und lockeren Böden lösen können. Nach Maidl ist der wirtschaftliche Einsatz von Tunnelbaggern nur bei Gebirgen mit einer Festigkeit bis zu 50 N/mm² möglich. (Maidl, 2004 S. 345)

Die verwendeten Tunnelbagger besitzen in der Regel verkürzte Ausleger, schwere Raupenfahrwerke sowie eine Kippmöglichkeit der Arbeitsausrüstung.

Eine Sonderform des Tunnelbaggers ist der Tunnelvortriebsbagger. Dabei wird auf eine Teilschnittmaschine anstatt eines Fräskopfes ein Baggerarm samt Schaufel montiert. Diese kann bei Bedarf durch einen Hydraulikhammer ersetzt werden, um eventuelle Hartgesteinschlüsse zu lösen. Wie in Abbildung 3-4 zu sehen ist, können Tunnelvortriebsbagger aber auch gleichzeitig mit einem Hydraulik-

likhammer und einer Ladeschaufel ausgerüstet sein. Dadurch entfallen Stehzeiten aufgrund des Lösegerätewechsels.



Abbildung 3-4: Tunnelvortriebsbagger Terex - Schaeff ITC 120 (Bauforum 24)

Der Ausbruch wird mit der Schaufel direkt auf die - meist hydraulisch verstellbare - Ladeschurre geladen und mittels eines Kettenkratzförderers durch das Gerät entweder direkt in das Transportgerät, auf ein nachgeschaltetes Förderband oder auf eine Halde hinter dem Gerät gefördert.

3.2.5. Bewettern

Durch den Bohr- und Sprengvortrieb wird eine große Menge an Stäuben und Gasen erzeugt. Dadurch wird die ohnehin schon feuchte und warme Luft zusätzlich belastet und stellt ein gesundheitliches Risiko für die im Tunnelbau arbeitenden Menschen dar. Jedoch wird nicht nur die menschliche Gesundheit, sondern auch die menschliche Handlungsweise durch schadstoffbehaftete Luft beeinflusst, was wiederum zu Schäden an Menschen, Maschinen und Material führen kann. Daher ist es wichtig eine ausreichende Frischluftzufuhr nach Untertage sicherzustellen. Die ausreichende Frischluftzufuhr wird derzeit mit 2 m³/min pro Person und 4 m³/min und kW für Fahrzeuge mit Dieselmotor beziffert. Die Wettergeschwindigkeit sollte zumindest 0,2 m/s betragen. Die grundsätzliche Wartezeit für das Betreten eines Tunnels

beträgt mindestens 15 Minuten nach erfolgtem Sprengen (Girmscheid, 2002 S. 168).

Der Betrieb des Lüftungssystems kann drückend, saugend oder als Kombination durchgeführt werden. Für längere Tunnel können Umluftsysteme verwendet werden.

3.2.6. Schuttern

Unter Schuttern wird im Allgemeinen der Abtransport des Ausbruchmaterials verstanden. Es umfasst die Tätigkeiten des Ladens, des Transportes sowie des Abladens. Während beim Laden bzw. beim Freiräumen der Ortsbrust kaum zeitliche Verkürzungen möglich sind, ist es möglich, die Transportzeit durch Zwischendeponien zu verkürzen. Daher ist es von großer Bedeutung sich ein geeignetes Schutterkonzept zu überlegen. Hierfür gibt es hinsichtlich der Gerätewahl zahlreiche Kriterien (Maidl, et al., 1997 S. 89):

- der zur Verfügung stehende Lichtraum im Quer- sowie Längsschnitt sowie dessen Einschränkung durch Ver- und Entsorgungsinstitutionen
- die Transportentfernungen
- die Steigungsverhältnisse
- die Ausbruchskubaturen pro Ausbruchquerschnitt und
- die Kennwerte des ausgebrochenen Materials (Korngröße, Kornform und die Kornverteilung des Schuttermaterials).

Da die Möglichkeit besteht, dass Geräte mehrere Funktionen übernehmen, muss bereits hier zwischen reinen Ladegeräten, kombinierten Lade- und Transportgeräten sowie reinen Transportgeräten unterschieden werden.

3.2.6.1. Das Laden

Für den Ladevorgang stehen im Tunnelbau je nach Anforderung verschiedene Ladegeräte zur Verfügung. Je nach Kombination aus Ladeeinrichtung, Fahrwerk und Übergabesystem kann in folgende Großgruppen unterschieden werden (Moser, 2004):

- Flachbahnschaufellader
 - Schaufellader (Untergliederung nach Art des Fahrwerkes)
 - Radlader (Rad (Reifen) – Fahrwerk)
 - Raupenlader (Kettenfahrwerk)
 - Hydraulikbagger
- Hochbahnschaufellader
 - Wurfschaufellader

- Schwenkgreiflader
 - Ladeeinrichtung mit „Hummerscheren“
 - Ladeeinrichtung mit „Ladesternen“
 - Häggloader

3.2.6.2. Der Transport

Für den Sprengvortrieb stehen folgende Fördersysteme zur Auswahl: Stetigförderer, gleisgebundener und gleisloser Transport.

Erstere umfassen Förderbänder und Schnecken und sind für sehr gleichmäßige Kornverteilungen im unteren Korngrößenbereich geeignet. Sie eignen sich für die Förderung über große Distanzen mit wenigen Übergabestellen, da diese die Staubbildung begünstigen. Vorteile hiervon sind günstige Betriebskosten sowie ein geringerer Lüftungsbedarf. Auch können sie an der Firste befestigt werden, um den Sohlbereich als Arbeitsbereich freizuhalten.

Der gleisgebundene Transport wird üblicherweise in Kleinquerschnitten bis zu 20m² verwendet, da im eingleisigen Betrieb höhere Förderleistungen als im gleislosen Förderbetrieb erzielt werden können. Ein anderes Einsatzgebiet ist der Tunnelvortriebsmaschinenbetrieb, wobei hier, wenn möglich, zweigleisig gefördert wird. (Maidl, et al., 1997 S. 101)

Der Antrieb der verwendeten Lokomotiven kann entweder mit Elektro- oder mit Dieselmotor erfolgen, welcher einen Abgaswäscher integriert haben muss.

Die Förderung des Haufwerkes mittels Lokomotiven ist generell sehr energie günstig bezüglich der geförderten Tonne pro Kilometer.

Die unstetige Förderung mit dieselbetriebenen Radfahrzeugen kann in allen Querschnitten verwendet werden. Für kürzere Strecken können als Transportfahrzeuge Fahrlader genommen werden. Als Beispiel wäre hier ein kleiner Querschnitt mit einer Zwischendeponie anzuführen. Sie besitzen neben einer niedrigen Bauhöhe eine hohe Nutzlast.

Bei längeren Förderdistanzen werden nach Möglichkeit Dumper verwendet, die für den Untertagebetrieb in Größen bis rund 40t gebaut werden. Sie sind selten bis gar nicht Sonderanfertigungen und können meist ohne großen Aufwand von einem Baulos zum nächsten gebracht werden. Die Anzahl der - üblicherweise mit einem Knickgelenk ausgestatteten - Dumper kann bei Bedarf einfach aufgestockt werden. Bei der Verwendung von Dumpfern sollte darauf geachtet wer-

den, dass zwei Transportfahrzeuge ungehindert einander passieren können und dass eine Wendemöglichkeit im Tunnel besteht.

Bei Verwendung der gleislosen Förderung muss im Vergleich zur gleisgebundenen Förderung weniger Zeit in den Trassenbau bzw. in die Instandhaltung der Fahrbahn investiert werden, und es können bis zu 15 % Steigung überwunden werden. (Geotechnik, 1994 S. 68)

3.2.7. Sichern

Unter Sichern wird im Allgemeinen das Einbringen von Stützmitteln verstanden. Es soll eine weitere Auflockerung des umgebenden Gebirges verhindern und somit die Gebirgsqualität weitestgehend erhalten. Hierbei ist es wichtig unter der angegebenen Standzeit des Gebirges zu bleiben. Dies verhindert ungewollte Setzungen und Verbrüche. Temporäre Sicherungen dienen auch dazu, den Mineuren Schutz vor herabfallendem Gestein zu bieten.

3.2.7.1. Anker

Anker sind „zur Hohlraumstützung und Verbesserung der Gebirgs Eigenschaften eingebaute Stäbe, Rohre oder Litzen.“ (2203-1, 2001 S. 5) Sie sind eingebaute Zuelemente, welche die Tragwirkung des Gebirges durch Kohäsionserhöhung verstärken. Eine weitere Verwendung liegt darin, andere Sicherungselemente kraftschlüssig mit dem Gebirge zu verbinden. Anker werden radial um den Tunnelquerschnitt oder zur Voraussicherung und Stabilisierung der Ortsbrust als Ortsbrustanker eingebaut. Das Verbundsystem Spritzbeton-Anker-Gebirge ist von der Anwendung her sehr flexibel und kann durch einfache Änderungen der Anzahl oder der Ankerart an beinahe alle Gebirgsverhältnisse angepasst werden.

Das Herstellen der Bohrlöcher, welche für Anker verwendet werden, erfolgt mittels Bohrwagen. Der Einbau von Ankern im zyklischen Vortrieb erfolgt von Hand oder mit speziell dafür ausgerüsteten Bohrwagen.

Im Tunnelbau stehen zahlreiche Ankerarten zur Verfügung (Galler, 2006):

- Mörtelgebetetter SN-Anker
- Selbstbohranker
- Swellex Anker (Aufweitungsstahlrohranker)
- Injektionsanker
- Injektionsrohranker
- Kunstharzklebeanker
- Litzenanker
- Split-Set Anker (Reibrohranker)
- Spreizhülsenanker
- Vollvermörtelter, vorgespannter Anker

Diese unterscheiden sich neben dem Aufbau und der Gebirgsart in der sie verwendet werden, vor allem in den Einbauvorgängen und in der daraus resultierenden Einbauzeit. Während beim Selbstbohranker der Anker selbst die Bohrstange ist und mitsamt Krone im Bohrloch verbleibt, muss beim Kunstharzklebeanker erst das Bohrloch hergestellt werden. Anschließend werden die Kunstharzpatronen eingeführt und erst danach wird mit einer Drehbewegung der Anker eingeführt. Ortsbrustanker werden anstatt eines oder zusätzlich zu einem Stützkern zur Stabilisierung der Ortsbrust eingebaut. Die Länge beträgt üblicherweise zwischen 6 und 16 m. Im Sprengvortrieb kommen hier Selbstbohr-, SN – sowie GFK – Anker zur Verwendung.

3.2.7.2. Baustahlgitter

Baustahlgitter, oder wie in der DIN 488-4 Betonstahlmatte genannt, bestehen aus gitterförmig angeordneten und danach geschweißten Stäben aus profiliertem Bewehrungsstahl. Baustahlgitter können in mehreren Größen und Stärken bestellt und nachträglich angepasst werden.

Sie werden zur Bewehrung von Spritzbeton und zum Schutz vor herabfallendem Gestein verwendet und können mit oder ohne Bögen eingebracht werden.



Abbildung 3-5: Baustahlgitter (Monster Haus)

Die Bewehrung im Tunnelbau wird schlaff eingebaut.

3.2.7.3. Bögen

Bögen dienen zur sofortigen Abstützung des Gebirges und werden unmittelbar nach dem Ausbruch und dem Ablauten eingebracht. Sie haben, sofern richtig eingebaut, sofortige Tragfähigkeit bei Gebirgskontakt. Die Verwendung von Bögen liegt im Bereich des nachbrüchigen, nicht standfesten und/oder druckhaften Gebirges. Der Einbau der Bögen kann mit folgenden Hilfsmitteln erfolgen (Girmscheid, 2000 S. 222):

- von Hand
- Hebebühne
- Pneulader/Raupenlader
- Bagger
- spezielle Versetzvorrichtungen

3.2.7.4. Spieße

Spieße sind „*Stäbe oder Rohre, die zur Stützung des Hohlraumrandes dem Vortrieb vorauseilend eingebaut werden*“ (2203-1, 2001 S. 7). Sie werden im nachbrüchigen, wenig standfesten Festgestein angewendet. Der Einbau der Spieße erfolgt mit einer Neigung von 10-15° gegenüber der Tunnelachse. Das Setzen der Spieße erfolgt immer in Kombination mit dem Setzen von Bögen, da diese als Widerlager dienen. Die Länge der verwendeten Spieße sollte zumindest den dreifachen Bogenabstand betragen.

Der Einbau der Spieße ist abhängig von der auf der Baustelle angebotenen Geologie, und erfolgt entweder in gebohrte Spießlöcher oder sie werden direkt eingerammt. Das Herstellen der Spießlöcher erfolgt mit dem bereits auf der Baustelle vorhandenen Bohrwagen (Girmscheid, 2000 S. 225 f.). Nach erfolgtem Einbau können Spieße noch vermörtelt werden.

3.2.7.5. Spritzbeton

Spritzbeton wird als temporärer und endgültiger Ausbau im Tunnelbau verwendet. Er gewährleistet ein hohlraumloses, kraftübertragendes Anschließen anderer Sicherungsmaßnahmen. Der Spritzbeton wird mit hoher Geschwindigkeit aufgetragen und somit gleichzeitig verdichtet. Die Dicke der Spritzbetonschale richtet sich nach den geologischen Verhältnissen und kann sehr leicht variiert werden.

Als temporärer Ausbau dient Spritzbeton dazu, die Gebirgsoberfläche teilweise oder vollständig zu versiegeln. Als tragfähige Schicht wird der Spritzbeton mit Baustahlgittermatten bewehrt und dicker aufgetragen. Zur Verstärkung der Tragwirkung kann Stahlfaserspritzbeton verwendet werden (Geotechnik, 1994 S. 73). Ebenso kann ein nachträglicher Ankereinbau erfolgen.

Es wird aktuell zwischen dem Trockenspritzverfahren und dem Nassspritzverfahren unterschieden.

Trockenspritzverfahren

Beim Trockenspritzverfahren wird ein trockenes Gemisch aus Zement, Zuschlägen und Erstarrungsbeschleunigern mit Druckluft zur Düse gepumpt. Dort wird das Gemisch mit Wasser vermischt. Die Qualität des Spritzbetons hängt hier vom Düsenführer ab, da dieser die Wassermenge und somit den Wasser/Zement – Wert manuell kontrolliert. Das Trockenspritzverfahren wird überwiegend bei kleinen Querschnitten mit häufigen, kurzen Unterbrechungen eingesetzt. Die Förderleistung liegt unter den Werten des Nassspritzverfahrens, jedoch ist die Reinigung der Spritzmaschine samt Zubehör leichter und schneller durchzuführen als beim Nassspritzverfahren. (Girmscheid, 2008 S. 170)

Nassspritzverfahren

Beim Nassspritzverfahren wird der bereits fertig abgemischte Spritzbeton zur Spritzdüse gepumpt. Dort wird der Spritzbeton mittels Druckluft nochmal beschleunigt und mit Abbindebeschleuniger vermischt (Girmscheid, 2000 S. 161 ff.). Die Spritzbetonqualität ist somit durch einen konstanten Wasser/Zement Wert gleichbleibend, da der Spritzdüsenführer nicht mehr selbst das Wasser begeben muss. Es gilt jedoch zu beachten, dass bei Spritzunterbrechungen die gesamte Spritzrüstung gereinigt werden muss, um Verklebungen zu verhindern. Daher wird das Nassspritzverfahren bei hohen Förderleistun-

gen und hohen Gesamtmengen eingesetzt. Hierbei sind Unterbrechungen nach Möglichkeit zu vermeiden.

Neben hohen erzielbaren Förderleistungen, bis 25 m³/h, gelten als weitere Vorteile der deutlich geringere Rückprall (bis zu einem Viertel gegenüber dem Trockenspritzverfahren (Höfler, et al., 2004 S. 36)) sowie die geringere Staubentwicklung.

Beide Varianten können auf Spritzbüffel montiert werden. Somit kann das Spritzen automatisiert und mit mehreren Spritzdüsen gleichzeitig durchgeführt werden.

3.2.8. Vermessen

Die geodätische Vermessung und deren Auswertung ist ein integraler Bestandteil des zyklischen Vortriebes. Einerseits wird sie als baubegleitende Maßnahme durchgeführt, beispielsweise bei den täglichen frei stationierten Routinemessungen zur Positionierung sowie zur Fortführung des Referenznetzes. Andererseits wird sie zur Überprüfung des Ausbruchprofils sowie, nach dem Spritzbetonauftrag, zur Überprüfung der Dicke der Spritzbetonschicht herangezogen. Hierbei rückt die Vermessung allerdings in den kritischen Weg des Vortriebes, da hier keine Arbeiten an der Ortsbrust möglich sind.

3.2.8.1. Optische Verformungsmessung

Die optische Verformungsmessung wird mittels einer Totalstation und Reflektoren durchgeführt. Die Reflektoren werden in Messquerschnitten, welche Abstände von 5 m bis 25 m besitzen, eingebaut. Unmittelbar nach dem Einbau sollte bereits die erste Messung durchgeführt werden. Weitere Messungen sind täglich und nach Bedarf durchzuführen. Die Anzahl der Messungen kann mit dem Abstand zur Ortsbrust und mit dem Rückgang der Setzungen und Verformungen reduziert werden (Geomechanik, 2010 S. 42).

Ergebnisse dieser Messungen sind:

- Zeit-Setzungsdiagramm
- Einflussliniendiagramme
- Darstellung der Verschiebungsvektoren
- Trendlinien
- Lagekugelprojektionen

3.2.8.2. Scanneraufnahmen

Tunnelscanner liefern „*ein geometrisches und visuelles Abbild der aufgenommenen Tunneloberfläche*“ (dibit, 2012). Durch die Anwendung

in verschiedenen Bauphasen eines Tunnels kann eine sehr gute Bau-dokumentation sichergestellt werden.

Während der Ausbruchphase können mit Scanneraufnahmen geologische Dokumentationen durchgeführt werden. Über die Profilkontrolle mit Hilfe des Scanners können Informationen über die Spritzbetondicke sowie die Menge an Ausbruchsmaterial berechnet werden.

Nach dem Auftragen des Spritzbetons kann die Menge des tatsächlich verbrauchten Spritzbetons sowie die Spritzbetondicke berechnet werden. Ebenso kann die Profilkontrolle durchgeführt und eventuelle Unterprofile festgestellt werden.

Nach dem Einbau der Innenschale kann abermals eine Profilkontrolle durchgeführt werden. Daraus kann die Dicke der Innenschale sowie der Verbrauch an Beton berechnet werden.

Der Tunnelscanner wird mittels freier Stationierung im Tunnel nahe der zu vermessenden Stelle stationiert.

Anschließend wählt der Benutzer den zu scannenden Bereich und die Punktdichte aus. Je größer diese gewählt wird, desto länger ist die Scandauer. Eine höhere Punktdichte liefert aber auch eine bessere Qualität. Die Messung selbst wird nach dem Polarmessverfahren durchgeführt und mittels Computer in kartesische Koordinaten umgerechnet. Die Messgeschwindigkeit beträgt bis zu 10000 Punkte pro Sekunde. Aktuelle Geräte können mit einer Digitalkamera versehen werden, um auch eine rein optische Aufnahme des zu scannenden Bereiches durchzuführen. Diese Aufnahme kann mit dem Scanergebnis kombiniert werden. Anschließend wird mittels Computersoftware die Auswertung durchgeführt.

3.2.8.3. Vortriebssteuerung

Eine weitere Verwendung der Vermessung untertage ist die Vortriebssteuerung. In der Vortriebssteuerung wird die Vermessung verwendet für

- das Abstecken von Bohrpunkten
- das Anzeigen und Abstecken des Tunnelprofils
- das Anzeigen und Abstecken der Ausbaubögen
- die Profilkontrolle
- die Gerätepositionierung und Maschinensteuerung. (dibit, 2012)

4. Ermittlung der vortriebsbeeinflussenden Faktoren

Die Ermittlung der Zahlenwerte der vortriebsbeeinflussenden Faktoren muss konsequenterweise für jedes Bauprojekt erneut durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass die im Kapitel 4 angegebenen Werte nur als Richtwert zu verstehen sind. Grund dafür ist die recht hohe Streuung der Werte sowie die Tatsache, dass bei den der Literatur entnommenen Werten, Herkunft und weitere Verwendung nicht eindeutig geklärt werden konnten.

4.1. Einflussfaktoren Bohren

Für die Ermittlung der Bohrgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Bohrzeit, sind folgende Faktoren von maßgeblicher Bedeutung:

4.1.1. Bohrtiefe

Die Bohrtiefe ergibt sich aus der Summe der Abschlagslänge und dem Überbohren und wird in Metern angegeben.

4.1.2. Nettobohrleistung

Die Nettobohrleistung gibt die Penetrationsrate in m/min an. Sie setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen und kann entweder berechnet oder aus Diagrammen entnommen werden.

4.1.3. Ausfallzeit

Hier wird jene Zeit berücksichtigt, in welcher der Bohrwagen während des gesamten Bohrvorganges nicht zur Verfügung steht, z.B. Kronenwechsel. Sie wird in Minuten angegeben.

4.1.4. Rückziehen und Umsetzen

Für das Rückziehen und Umsetzen zwischen zwei Bohrlöchern wird ein Wert zwischen 0,5 und 1,0 Minuten je Bohrlafette angenommen (Galler, 2007).

4.1.5. Muffen

Als Einbauzeit für Muffen wird 0,5 – 1,0 min je Muffe angegeben (Galler, 2007).

4.1.6. Einaxiale Druckfestigkeit

Die einaxiale Druckfestigkeit als bestimmender Faktor der Bohrgeschwindigkeit wurde von Girmscheid und Thuro unabhängig vonei-

inander erforscht. In Tabelle 4-1 wird beispielhaft die Grundpenetration für eine 20kW Atlas Copco Drehschlagbohrmaschine in Abhängigkeit von der einaxialen Druckfestigkeit nach Girmscheid dargestellt:

Geisteinsart	einaxiale Druckfestigkeit [N/mm²]	typische Grundpenetration $v_{Bohr,0}$ [m/min]
Granit / Gneis	150 - 220	2,8 - 3,5
Kieselkalk	200 - 270	2,5 - 3,5
Molasse / Mergel / Sandstein	10 - 40 (flache Lagerung) 80 - 110 (aufgerichtete Molasse)	3,0 - 3,8

Tabelle 4-1: Die Grundpenetration in Abhängigkeit von der Gesteinsart und einaxialen Druckfestigkeit (Girmscheid, 2002 S. 166)

4.1.7. Bohrgerätefaktor k_1

Der Bohrgerätefaktor wird von Girmscheid mit 1 angegeben und ist dimensionslos (Girmscheid, 2002 S. 163).

4.1.8. Leistungseinflussfaktor k_2

Der Leistungseinflussfaktor k_2 ist das Produkt aus dem Schneiden- / Zahnzustandsfaktor f_4 und dem Verfügbarkeits- / Gerätezustandsfaktor f_5 und ist dimensionslos (Girmscheid, 2002 S. 163).

4.1.9. Betriebsbeiwert k_3

Der Betriebsbeiwert k_3 ist das Produkt aus dem Bedienungsfaktor η_1 und dem Faktor für Betriebsbedingungen η_2 und ist dimensionslos (Girmscheid, 2002 S. 163).

4.1.10. Schneiden-/Zahnzustandsfaktor f_4

Nach Girmscheid beeinflusst auch der Zustand der (Löffel-) Zähne die Bohrzeit. Jedoch wird hier der Zahnzustandsfaktor dem Bohrkronenverschleiß gleichgesetzt.

Zahnzustand	Zahnzustandsfaktor
Neuzustand	1,00
mittlerer Verschleiß	0,90
hoher Verschleiß	0,80

Tabelle 4-2: Zahnzustandsfaktor f_4 (Girmscheid, 2002 S. 235)

4.1.11. Verfügbarkeits- / Gerätenutzungsfaktor f_5

Der dimensionslose Verfügbarkeitsfaktor spiegelt die Anzahl der bereits geleisteten Betriebsstunden einer Maschine und die dadurch resultierende Ausfallszeit wieder. Sollten diese Werte nicht bereits in

einer Maschinenkartei erfasst sein, gibt Tabelle 4-3 folgende Richtwerte vor:

Anzahl der Einsatzstunden	Verfügbarkeits-/Gerätezustandsfaktor
- 1000	1,00
1000 – 1500	0,93
1500 – 2000	0,85
2000 – 3500	0,75
3500 - 5000	0,65

Tabelle 4-3: Verfügbarkeits-/Gerätezustandsfaktor (Girmscheid, 2002 S. 236)

4.1.12. Bedienungsfaktor η_1

Da sich hinsichtlich der Erfahrung und der Fähigkeiten der Maschinenführer geringe Unterschiede ergeben, sind diese unter dem Bedienungsfaktor wie folgt zu berücksichtigen:

Maschinenführer	Bedienungsfaktor η_1
Vorführer	1,10
geübter Fahrer	1,00
durchschnittlicher Fahrer	0,80
ungeübter Fahrer	0,65

Tabelle 4-4: Bedienungsfaktoren (Girmscheid, 2002 S. 227)

4.1.13. Betriebsbedingungen η_2

Die Betriebsbedingungen, auch Betriebsfaktor genannt, umfassen die Einsatzbedingungen der Geräte auf der Baustelle.

Baustellenbedingungen	Betriebsbedingungen η_2
Sehr gut	1,00
Gut	0,95
Mittel	0,85
Schlecht	0,70 – 0,80

Tabelle 4-5: Betriebsbedingungen (Girmscheid, 2002 S. 228)

Die Betriebsbedingungen hängen von mehreren Faktoren ab. Nennenswert wären hier die optimale Abstimmung der Prozesskette, die Fahrbahnbeschaffenheit im Tunnel sowie die vorhandenen Platzverhältnisse im Tunnel, um einen reibungslosen Arbeitsablauf zu gewährleisten (Girmscheid, 2002 S. 228).

4.1.14. Berechnung der Bohrleistung

4.1.14.1. Berechnen der Bohrleistung in Barre Granit

Eine einfache Art der Berechnung liefert die Formel für den Netto-bohrfortschritt in m/min in Barre Granit (Lopez Jimeno, et al., 1995 S. 30):

$$V_{Netto} = 31 \frac{P}{d^{1,4}}$$

wobei,

P ... Kinetische Ausgangsleistung des Bohrhammers [kW]

d ... Bohrlochdurchmesser [mm]

Diese muss jedoch noch mit einem, dem Gestein angepassten, Faktor auf- bzw. abgemindert werden. Diese stammen jedoch zum Großteil aus dem amerikanischen Raum. (Moser, 2004)

4.1.14.2. Diagramm nach Thuro

Thuro hat in seiner Dissertation festgestellt, dass die Nettobohrgeschwindigkeit über die einaxiale Druckfestigkeit in Abhängigkeit der Leistung des Bohrhammers berechnet werden kann:

$$BG = 5,42 - 0,7 * \ln(UCS)$$

wobei,

BG ... Nettobohrgeschwindigkeit [m/min]

UCS ... einaxiale Druckfestigkeit [MPa]

Die Formel gilt jedoch nur für COP 1440 Bohrhämmer mit einer Leistung von 20 kW. (siehe Abbildung 4-1)

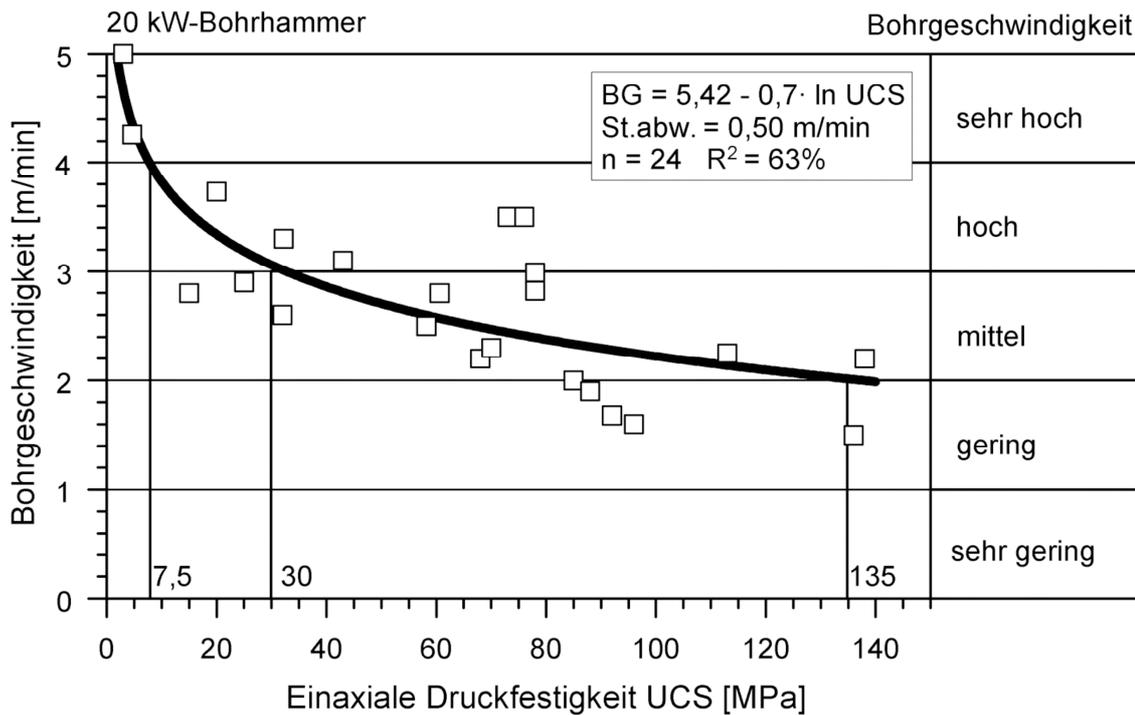


Abbildung 4-1: Bohrgeschwindigkeit und einaxiale Druckfestigkeit (Kurosch, 1995 S. 139)

Analog gilt für einen COP 1238 ME Bohrhammer mit einer Leistung von 15 kW folgende Formel (Kurosch, 1995 S. 139):

$$BG = 4,58 - 0,65 \cdot \ln(UCS)$$

4.1.14.3. Skriptum Bauvertrag und Baubetrieb

Für die Ermittlung der Bruttobohrgeschwindigkeit kann folgende Formel verwendet werden (Galler, 2007):

$$BBL = \frac{BT}{\frac{BT}{NBL \cdot (1 - AZ)} + UZ + MZ}$$

wobei,

BBL ... Bruttobohrleistung	[m/min]
BT ... Bohrtiefe	[m]
NBL ... Nettobohrleistung	[m/min]
AZ ... Ausfallzeit	[%]
UZ ... Umsetzen	[min]
MZ ... Muffen	[min]

Richtwerte für die Nettobohrleistung können aus Tabelle 4-6 entnommen werden.

Bohrbarkeit	Netto Bm/min
leicht	4,0 – 6,0
normal	3,0 – 4,0
schwer	2,0 – 3,0
sehr schwer	1,0 – 2,0
extrem schwer	< 1,0

Tabelle 4-6: Nettobohrleistung (Galler, 2007)

4.1.14.4. Berechnung nach Girmscheid

Girmscheid gibt nachstehende Formeln für die Berechnung der bereits abgeminderten Nettobohrgeschwindigkeit, von Girmscheid Nutzpenetration genannt, an (Girmscheid, 2002 S. 163):

$$v_{Bohr,N} = v_{Bohr,0} * k_1 * k_2 * k_3 * \eta_G$$

$$k_2 = f_4 * f_5$$

$$k_3 = \eta_1 * \eta_2$$

wobei,

$v_{Bohr,N}$... Nutzpenetration	[m/min]
k_1 ... Bohrgerätefaktor	[-]
k_2 ... Leistungseinflussfaktor	[-]
k_3 ... Betriebsbeiwert	[-]
f_4 ... Bohrstift- / Bohrkronenzustandsfaktor	[-]
f_5 ... Verfügbarkeits- / Gerätenutzungsfaktor	[-]
η_1 ... Bedienungsfaktor	[-]
η_2 ... Betriebsbedingungen	[-]

4.2. Sprengen

4.2.1. Laden

Die benötigte Zeit für das Laden T_L von Sprenglöchern ist von der Anzahl der Sprenglöcher, deren Tiefe sowie von der Anzahl der Arbeiter und deren Ladeleistung abhängig und wird in Minuten angegeben. Girmscheid gibt hier folgende Formel an (Girmscheid, 2002 S. 167):

$$T_L = \frac{n * l_B}{m_A * q_A}$$

wobei,

n ... Anzahl der Bohrlöcher	[-]
l_B ... Bohrlochtiefe	[m]
m_A ... Anzahl der Arbeiter	[-]
q_A ... Ladeleistung pro Arbeiter (1-2m/min)	[m/min]

Maidl teilt die Ladezeit in zwei Bereiche auf. Einerseits einen fixen Anteil von 0,35 Minuten je Bohrloch und in einen variablen Teil von 0,25 Minuten je Meter Bohrloch bei Langpatronen oder 0,35 Minuten je Meter Bohrloch bei Normalpatronen. Diese beiden Anteile werden anschließend addiert und führen zu einer Gesamtladezeit in Minuten.

$$T_l = 0,35 * n + 0,25 * l_B$$

Die Ladezeit kann jedoch auch über die Gesamtlademenge und die Ladezeit pro kg und Person bestimmt werden.

Zuerst wird die Gesamtlademenge pro Abschlag ermittelt. Diese kann über eine von Langefors/Kihlström ermittelte und auf deren Erfahrungswerten basierende Formel berechnet werden (Girmscheid, 2000 S. 119):

$$q = \frac{14}{A} + 0,8$$

wobei,

q ... spezifische Lademenge [kg/m³]

A ... Ausbruch- bzw. Streckenquerschnitt [m²]

Das Zentrum für Geotechnik gibt für den Wert 0,8 noch andere, dem zu sprengenden Gestein angepasste Werte an:

Gesteinsart	a
leicht sprengbar: Mergel, Tonstein, Gips, Kreide	0,4
mittelschwer sprengbar: Sandstein, Kalkstein, Schiefer	0,6
schwer bis sehr schwer sprengbar: Dolomit, Granit, Gneis, Basalt, Quarz	0,8 – 1,0

Tabelle 4-7: Werte für den Parameter a (Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau S. 5.13)

Thuro und Plinninger haben folgendes Diagramm für den spezifischen Sprengstoffverbrauch für einen Keileinbruch in Abhängigkeit der einaxialen Druckfestigkeit ermittelt:

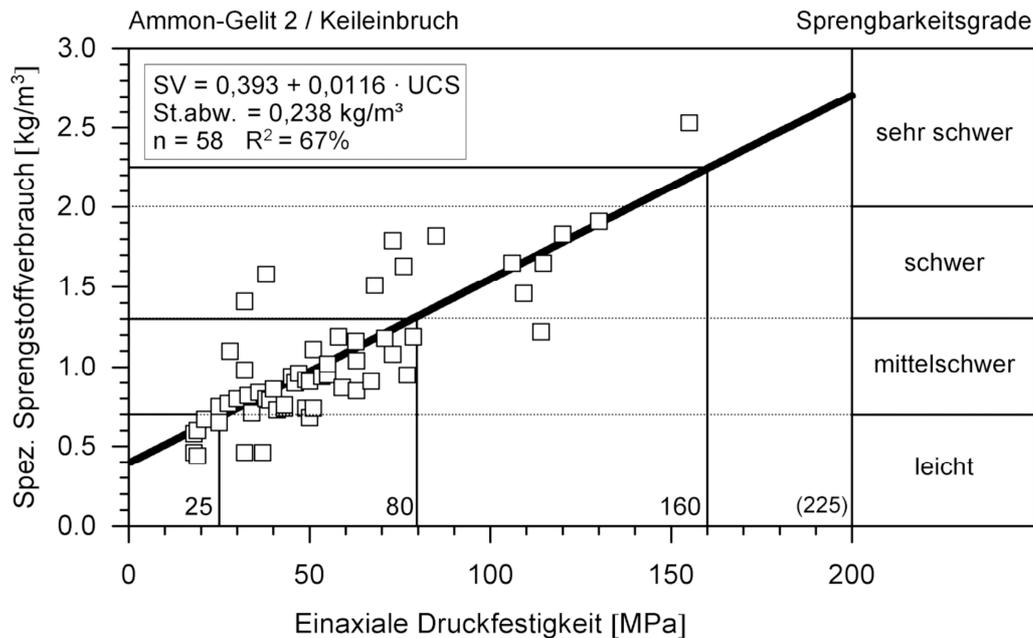


Abbildung 4-2: Spezifischer Sprengstoffverbrauch und einaxiale Druckfestigkeit (Plinninger, et al., 2006 S. 11)

Anschließend wird dieser Wert mit 0,4 - 0,5 min/kg multipliziert (Galler, 2007).

4.2.2. Verdrahten

Die Zeit zum Verdrahten der Zündkabel T_V wird in Minuten angegeben und nach Girmscheid wie folgt berechnet (Girmscheid, 2002 S. 168):

$$T_V = n * t_{Verd}$$

wobei,

- n ... Anzahl der Bohrlöcher [-]
- t_{Verd} ... Zeit zum Verdrahten pro Loch (0,2 - 0,5 min)

Maidl schlägt hier 0,15 Minuten je Bohrloch vor.

4.3. Einflussfaktoren Schuttern

4.3.1. Radlader

4.3.1.1. Auflockerungsfaktor α

Der Auflockerungsfaktor α , in einigen Büchern auch als Lösefaktor bezeichnet, ist das Verhältnis des Volumens des Materiales vor dem Lösen und des Volumens nach dem Lösen, wobei die Art des Lösens nicht definiert ist. Die angegebenen Bodenarten entsprechen, sofern nicht anders angegeben, der DIN 18300.

Aus Abbildung 4-3 lässt sich erkennen, dass der Auflockerungsfaktor für gelösten Fels Werte zwischen 0,55 und 0,67 annehmen kann.

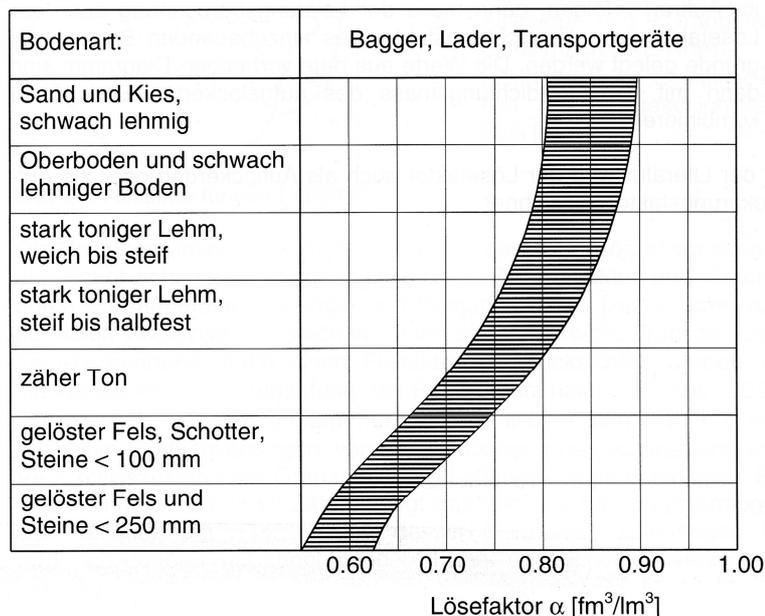


Abbildung 4-3: Der Lösefaktor einzelner Bodenarten (Girmscheid, 2002 S. 221)

Der Bundesausschuss Leistungslohn Bau – Fachgruppe Erdbau gibt folgende Auflockerungsfaktoren an:

Bodenklasse		3	4	5	6 und 7	
		Lagerung	lose	1,00	1,00	1,00
		mittel	0,88	0,79	0,84	
		fest	0,81	0,7	0,69	0,6

Tabelle 4-8: Auflockerungsfaktor f_A (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.44)

Maidl gibt für den Auflockerungsfaktor folgende Werte an:

Material	α
Ton, trocken	0,80
Ton, dicht, zäh oder feucht	0,75
Boden, trocken	0,80
Boden, nass	0,80
Boden, mit Sand und Kies	0,85
Boden, mit Fels vermischt	0,77
Kies, trocken	0,89
Kies, nass	0,88
Lehm	0,83
Fels, fest, gut gesprengt	0,67
Fels und Steine, gebrochen	0,74
Fels, weich oder geschichtet	0,75

Abbildung 4-4: Auflockerungsfaktor nach Maidl (Maidl, 2004 S. 248)

4.3.1.2. Füllfaktor φ

Der Füllfaktor ist das Verhältnis von effektivem Inhalt zu SAE Inhalt. Aus Abbildung 4-5 lässt sich ein Füllfaktor für gelösten Fels und Stei-

ne mit Werten zwischen 0,75 und 0,87 herauslesen. Dieser gilt für Hochlöffel und Ladeschaufeln.

Die angegebenen Bodenarten entsprechen der DIN 18300.

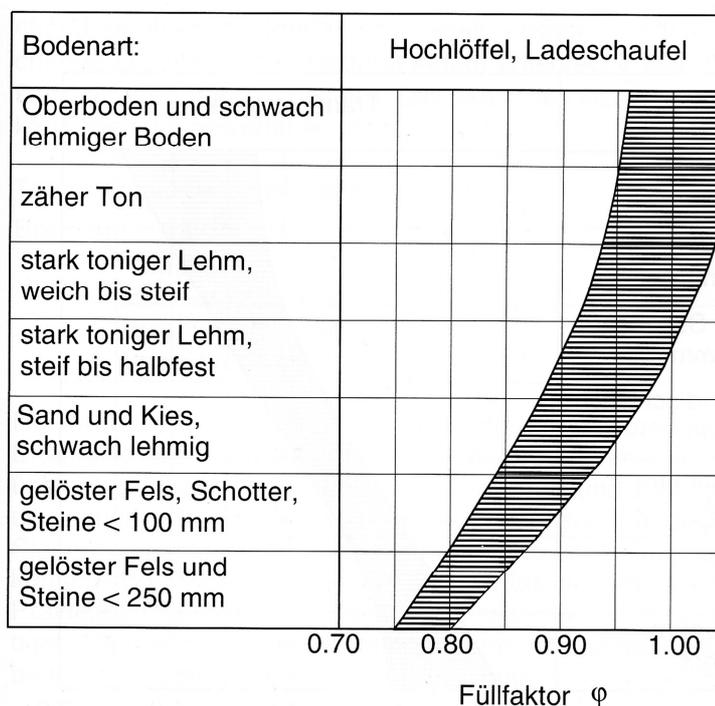


Abbildung 4-5: Füllfaktor für Hochlöffel und Ladeschaufeln (Girmscheid, 2002 S. 225)

Der Bundesausschuss Leistungslohn Bau – Fachgruppe Erdbau gibt folgende Füllfaktoren an:

Bodenklasse		trocken	erdfeucht	feucht
6 und 7	feinstückiger Fels	0,80		
	grobstückiger Fels	0,72		

Tabelle 4-9: Füllungsfaktor f_F (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.45)

Maidl gibt für den Füllfaktor folgende Werte an:

Material	φ
Leichter Boden	1,2
Mittelschwerer Boden	1,0
Schwerer Boden	0,75 bis 0,9
Fels, gut gesprengt	0,55 bis 0,8
Fels, schlecht gesprengt	0,25 bis 0,6

Abbildung 4-6: Füllfaktor nach Maidl (Maidl, 2004 S. 248)

4.3.1.3. Bedienungsfaktor η_1

Die Werte für den Bedienungsfaktor können dem Kapitel 4.1.12 entnommen werden.

4.3.1.4. Betriebsbedingungen η_2

Die Werte für die Betriebsbedingungen können dem Kapitel 4.1.13 entnommen werden.

4.3.1.5. Entleerungsgenauigkeitsfaktor f_3

Der Entleerungsgenauigkeitsfaktor spiegelt das Verhältnis des Volumens des Transportgerätes zum Volumen des Ladegerätes wieder (Girmscheid, 2002 S. 233).

$$\text{Volumenverhältnis} = \frac{\text{Volumen des Transportgerätes}}{\text{Volumen der Löffelgrösse}} = \frac{V_{FSAE}}{V_{SAE}}$$

Der Entleerungsgenauigkeitsfaktor kann über das Volumenverhältnis aus Abbildung 4-7 abgelesen werden.

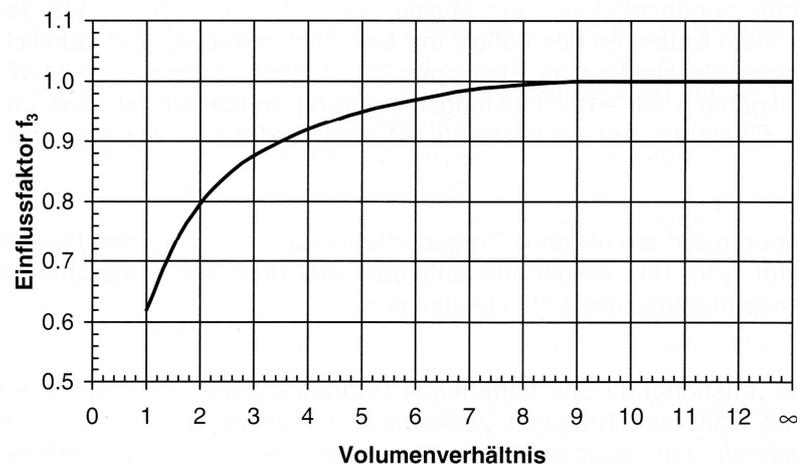


Abbildung 4-7: Entleerungsgenauigkeitsfaktor (Girmscheid, 2002 S. 234)

4.3.1.6. Schneiden-/Zahnzustandsfaktor f_4

Nach Girmscheid beeinflusst auch der Zustand der (Löffel-) Zähne die Ladespielzeit. Girmscheid gibt hier Werte aus Tabelle 4-10 an.

Zahnzustand	Zahnzustandsfaktor
Neuzustand	1,00
mittlerer Verschleiß	0,90
hoher Verschleiß	0,80

Tabelle 4-10: Zahnzustandsfaktor f_4 (Girmscheid, 2002 S. 235)

4.3.1.7. Ladefaktor k_1

Der Ladefaktor k_1 ist das Produkt aus dem Lösefaktor α und dem Füllfaktor φ und ist dimensionslos.

4.3.1.8. Leistungseinflussfaktor k_2

Der Leistungseinflussfaktor k_2 ist das Produkt aus dem Entleerungs-genauigkeitsfaktor f_3 , dem Schneiden-/Zahnzustandsfaktor f_4 sowie dem Verfügbarkeits-/Gerätezustandsfaktor f_5 und ist dimensionslos.

4.3.1.9. Betriebsbeiwert k_3

Der Betriebsbeiwert k_3 ist das Produkt aus dem Bedienungsfaktor η_1 und dem Faktor für Betriebsbedingungen η_2 und ist dimensionslos.

4.3.1.10. Geräteausnutzungsgrad η_6

Der Geräteausnutzungsgrad dient dazu, die Bedienungsvorgänge, bzw. die Umwelteinflüsse auf den Maschinenführer auszudrücken. Er wird fallen, je konzentrierter und vorsichtiger der Maschinenführer arbeiten muss.

Art des Aushubes	Geräteausnutzungsgrad
offene Baugrube und Entleeren auf Fahrzeug	0,75 – 0,80
Grabenaushub und Entleeren auf Fahrzeug	0,60 – 0,75

Tabelle 4-11: Geräteausnutzungsgrad (Girmscheid, 2002 S. 237)

Die Geräteausnutzung der Ladegeräte nach Maidl wird in Tabelle 4-12 angeführt.

Bezogen auf	Praktischer Höchstwert	Betriebsbedingungen sind		
		Gut	Mittel	Schlecht
Arbeitsspiel	1,0			
Betriebsstunde	0,9	0,82	0,7	0,5
Schicht	0,75	0,7	0,6	0,4
Woche	0,7	0,65	0,5	0,35
Monat	0,65	0,6	0,45	0,3

Tabelle 4-12: Geräteausnutzung nach (Maidl, et al., 1997 S. 110)

4.3.1.11. Basis - Ladespielzeit

Die Werte für die Basis – Ladespielzeit können aus Tabelle 4-13 entnommen werden:

Schaufelinhalt [m³]	Basis – Ladenspielzeit [min]
1-3	0,5 – 0,55
3,5-5,5	0,5 – 0,6
6-9,5	0,6 – 0,65
10-20	0,65 – 0,7

Tabelle 4-13: Hilfstabelle zur Ermittlung der Basis-Ladenspielzeit (Moser, 2004)

4.3.1.12. Faktor Material

Der Faktor Material wird in Minuten angegeben. Er beschreibt Zuschläge aufgrund der Korngrößenverteilung des zu schütternden Materiales und kann aus Tabelle 4-14 entnommen werden.

Maximale Korngröße	
Gemischt	+0,02 min
bis 3 mm Korngröße	+0,02 min
3 mm bis 20 mm	-0,02 min
20 mm -150 mm	0 min
150 mm und größer	+0,03 min
gewachsene Wand und gebrochenes Gestein	+0,04 min

Tabelle 4-14: Hilfstabelle zur Ermittlung des Faktors „Material“ (Moser, 2004)

4.3.1.13. Faktor Verschiedenes

Unter dem Faktor Verschiedenes finden sich Aufschläge bzw. Abminderungen welche die Arbeitsbedingungen widerspiegeln. Diese werden in Minuten angegeben. Richtwerte sind in Tabelle 4-15 ersichtlich.

SLKW und Lader im gleichen Besitz	bis -0,04 min
SLKW im Fremdbesitz	bis +0,04 min
Konstanter Einsatz	bis -0,04 min
Unterbrochener Einsatz	bis +0,04 min
kleine Abkipfstelle	bis +0,04 min
Empfindliche Abkipfstelle	bis +0,05 min

Tabelle 4-15: Hilfstabelle zur Ermittlung des Faktors „Verschiedenes“ (Moser, 2004)

4.3.1.14. Faktor Ladegefäßfüllung

Material	Ladegefäßfüllfaktor [%]
gut gesprengt	85 – 95
mittelmäßig gesprengt	75 – 90
schlecht gesprengt	60 - 75

Tabelle 4-16: Hilfstabelle zur Ermittlung des Faktors „Ladegefäßfüllfaktor“ (Moser, 2004)

4.3.1.15. Grundspielzeit T_0

Die Grundspielzeit, welche in der Berechnung nach Hüster verwendet wird, bezieht sich auf einen sogenannten V-Betrieb und wird in Sekunden angegeben. Hierbei wird nur eine kurze, V-förmige Ladebewegung mit dem Ladegerät durchgeführt. Die in Tabelle 4-17 angegebenen Werte gelten nur für Lader mit einer Motorleistung zwischen 50 und 60 kW pro m^3 Nenninhalt der Schaufel.

Volumen [m³]	Bodenklassen					
	3 und 4			5 und evtl. 6		
	lose	mittel	fest	lose	mittel	fest
1	17	18	21	18	22	26
2	17	19	23	18	23	27
3	18	20	24	19	24	28
4	18	22	26	19	24	30
5	19	23	27	20	25	31
6	19	24	29	20	26	32

Tabelle 4-17: Grundspielzeiten in Sekunden des Radladers (Hüster, 2003 S. 54)

Nachdem die Entleerung auf ein Fahrzeug durchgeführt wird, muss zur Grundspielzeit noch ein prozentualer Aufschlag hinzugefügt werden. Dieser beträgt bei LKW 3% und bei Muldenkippern 6% (Hüster, 2003 S. 55).

4.3.1.16. Grundspielzeit t_{s0} nach Girmscheid

Die Grundspielzeit t_{s0} nach Girmscheid beinhaltet das Laden, das Auskippen, vier Fahrtrichtungswechsel und die kleinste zu fahrende Strecke. Sie kann, je nach Größe des Radladers mit Knicklenkung, zwischen 27 und 33 Sekunden betragen. (Girmscheid, 2002 S. 59)

4.3.1.17. Fahrzeit t_f

Die Fahrzeit nach Girmscheid beinhaltet jene Zeiten, welche für die Fahrtstrecken von Lade- zu Entladeort und wieder zurück benötigt werden. (Girmscheid, 2002 S. 59)

4.3.1.18. Änderungen der Spielzeit Δt

Änderungen der Spielzeit entstehen durch Abweichungen von den Normbedingungen der Normspielzeit und sind in Tabelle 4-18 dargestellt.

Gerät	Δt [s]
mit Materialumschlag-ausrüstung	- 3.0
Material	
gemischt	+ 1.2
< 3 mm	+ 1.2
3 mm – 20 mm	- 1.2
20 mm – 150 mm	0.0
> 150 mm	+ 1.8 und mehr
gewachsene Wand oder gebrochenes Gestein	+ 2.4 und mehr
Haufwerk	
mit Förderband oder Dozer auf min. 3 m angehäuft	0.0 und mehr
mit Förderband oder Dozer auf max. 3 m angehäuft	+ 0.6 und mehr
mit LKW geschüttet	+ 1.2 und mehr
Verschiedenes	
LKW und Lader im gleichen Besitz	bis zu - 2.4
LKW im Fremdbesitz	bis zu + 2.4
ständiger Betrieb	bis zu - 2.4
zeitweiliger Betrieb	bis zu + 2.4
kleine Abladefläche	bis zu + 2.4
besondere Sorgfalt beim Abladen	bis zu + 3.0

Tabelle 4-18: Änderungen der Spielzeit (Girmscheid, 2002 S. 60)

4.3.1.19. Zeit für zusätzliche Nutzung t_z

Die Zeit für die zusätzliche Nutzung wird in Minuten angegeben und muss direkt vor Ort oder im Vorfeld durch einen erfahrenen Mitarbeiter geschätzt werden. (Hüster, 2003 S. 44)

4.3.1.20. Zeit für ablaufbedingte Unterbrechungen t_a

Die Zeit für ablaufbedingte Unterbrechungen gibt die Unterbrechung bei Wagenwechsel an. Diese ist nach Hüster entweder fix anzunehmen, mit 0,2 bis 0,3 Minuten pro Fahrzeug, oder in Abhängigkeit des Volumenverhältnisses $V_{\text{Transportgerät}}$ zu $V_{\text{Grabgefäß}}$. Als Richtwerte gelten hier die Werte aus Tabelle 4-19.

$V_{\text{Transportgerät}} [m^3]$ $V_{\text{Grabgefäß}} [m^3]$	2	3	4	5	6
t_a [min/h]	11	8	5	3	2

Tabelle 4-19: Ablaufbedingte Unterbrechungen infolge Fahrzeugwechsel (Hüster, 2003 S. 44)

4.3.1.21. Zeit für persönlich bedingte Unterbrechungen t_p

Die Zeit für persönlich bedingte Unterbrechungen umfasst alle jene Stillstände, welche aus persönlich bedingten Pausen des Maschinenführers resultieren. Hierzu zählen auch jene Pausen, in denen der Maschinenführer Anweisungen bekommt. Sie liegt je nach Erfahrungswert mit dem Maschinenführer zwischen 3 und 5 Minuten pro Stunde (Hüster, 2003 S. 36).

4.3.1.22. Zeit für störungsbedingte Unterbrechungen t_s

Die Zeit für störungsbedingte Unterbrechungen umfasst jene Zeiten, welche für Reparatur und Wartungsarbeiten anfallen. Sie ist geräteabhängig abzuschätzen und in Minuten anzugeben. (Hüster, 2003 S. 37)

4.3.1.23. Zuschlagsfaktor für die Spielzeit

Der Bundesausschuss Leistungslohn Bau – Fachgruppe Erdbau gibt für die Bodenklassen der DIN18300 folgende Zuschlagsfaktoren an:

Art der Entleerung	Einsatzart	Spielzahlabhängiger Zeitanteil Δt [min]	Arbeitszeitabhängiger Zuschlagsfaktor Z
Auf Transportfahrzeuge	Materialgewinnung im Steinbruch	0,12	1,15
auf Halde oder Übergabeeinrichtung	Materialgewinnung im Steinbruch	0,07	1,07

Tabelle 4-20: Zuschlagsfaktor Z (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.46)

4.3.1.24. Spielzeiten

Die durchschnittliche Anzahl an Ladespielen pro Stunde von gebräuchlichen Ladegeräten zur Leistungsberechnung nach Maidl wird wie folgt angegeben:

Ladegerät	Spielanzahl bei Betrieb ohne aufgezwungene Wartezeiten	Bemerkungen
Hydraulikbagger		
Tieflöffel	60 bis 80	Die Spielanzahl sinkt mit größer werdendem Löffel
Hochlöffel	40 bis 60	
Frontlader		
Radlader	50 bis 70	Spielanzahl ohne längere Fahrwege bis zum Fördergerät
Raupenlader	40 bis 60	

Tabelle 4-21: Ladespiele pro Stunde nach Maidl (Maidl, 2004 S. 247)

4.3.1.25. Füll- und Entleerzeiten

Durchschnittliche Füll- und Entleerzeiten der Bodenklassen 3 bis 6 nach Berechnungen des Bundesausschusses Leistungslohn Bau – Fachgruppe Erdbau können den Abbildungen Abbildung 4-8, Abbildung 4-9 sowie Abbildung 4-10 entnommen werden.

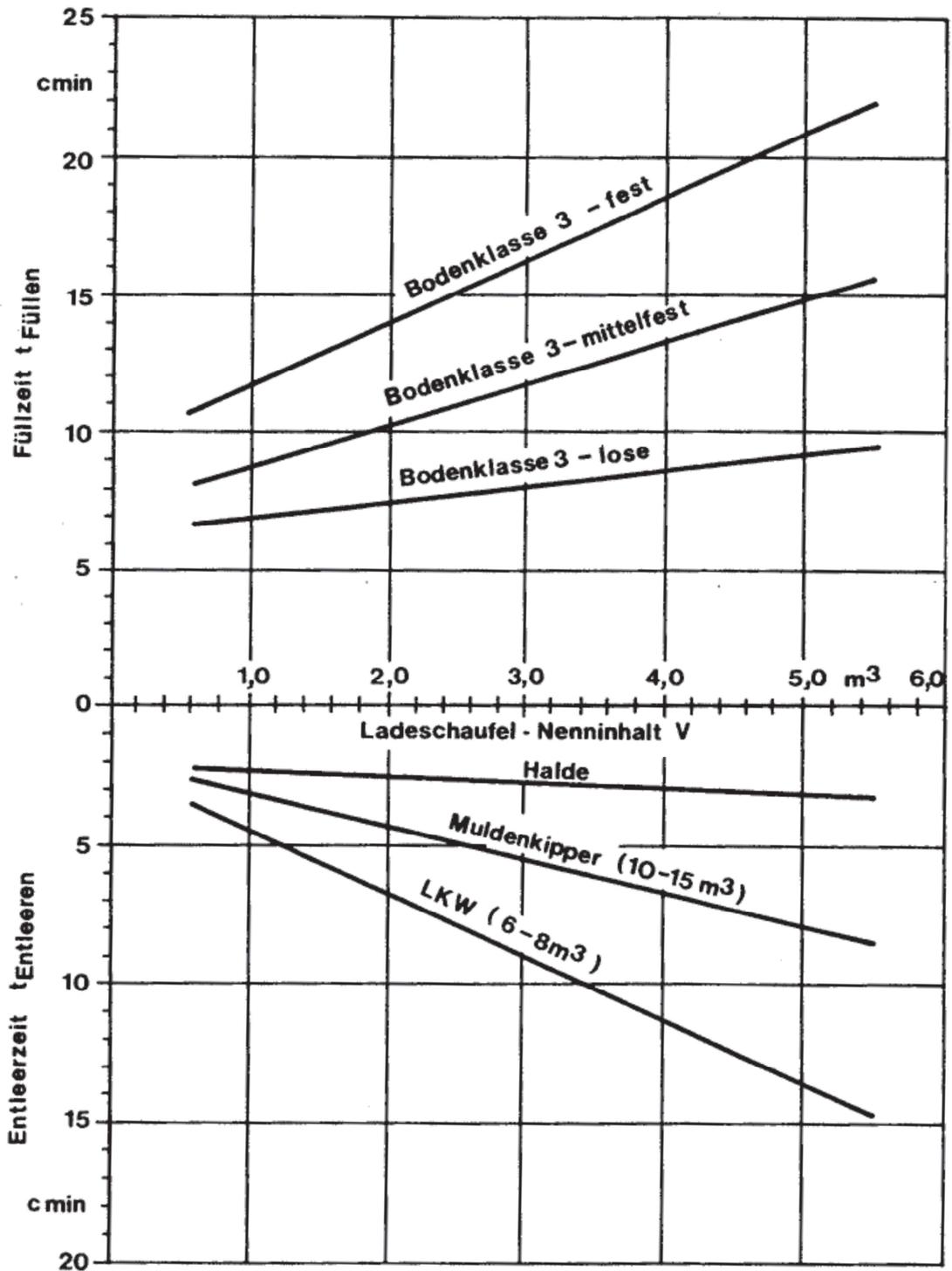


Abbildung 4-8: Füll- und Entleerzeiten für Böden der Klasse 3 nach DIN 18300 (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.47)

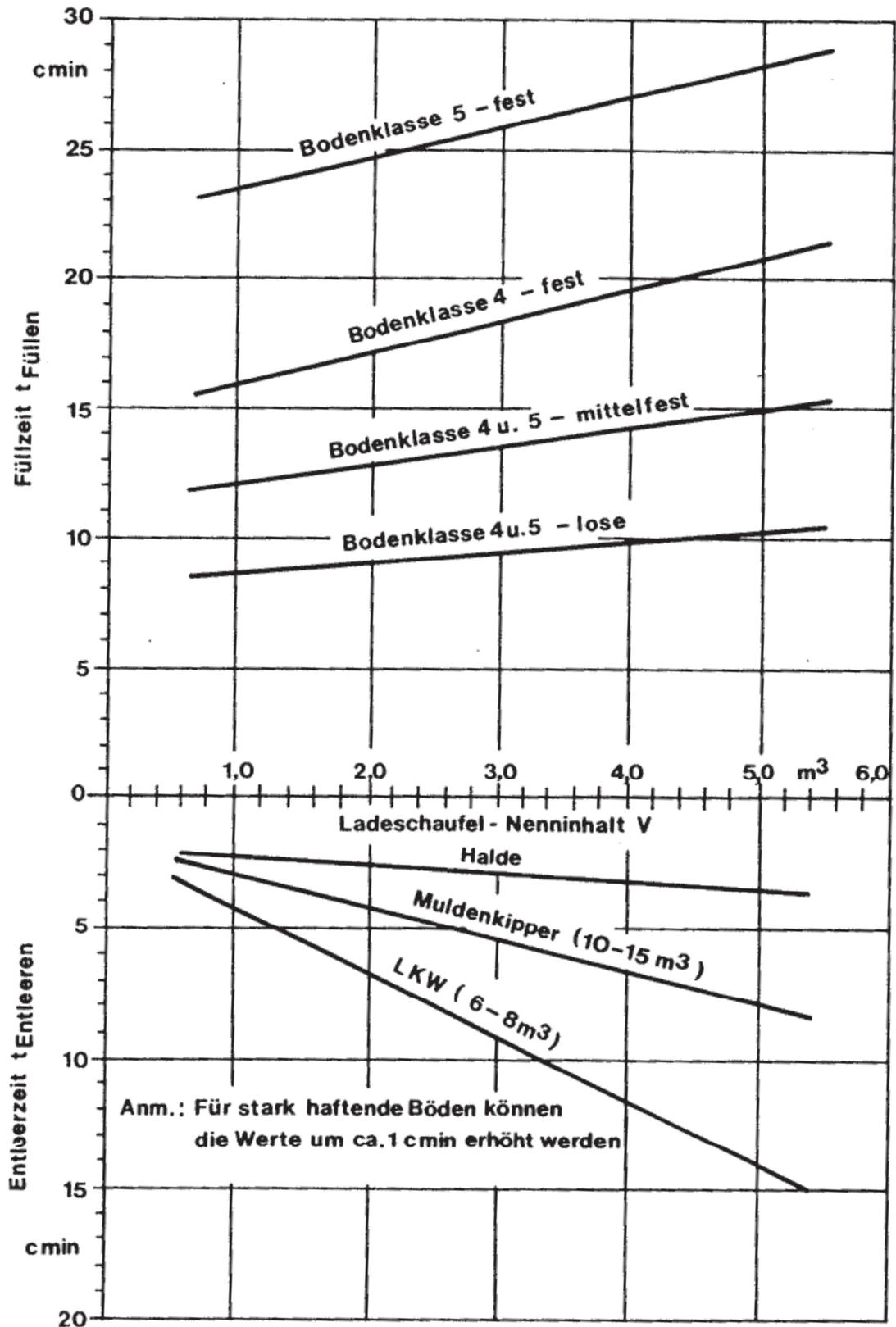


Abbildung 4-9: Füll- und Entleerzeiten für Böden der Klassen 4 und 5 nach DIN 18300 (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.48)

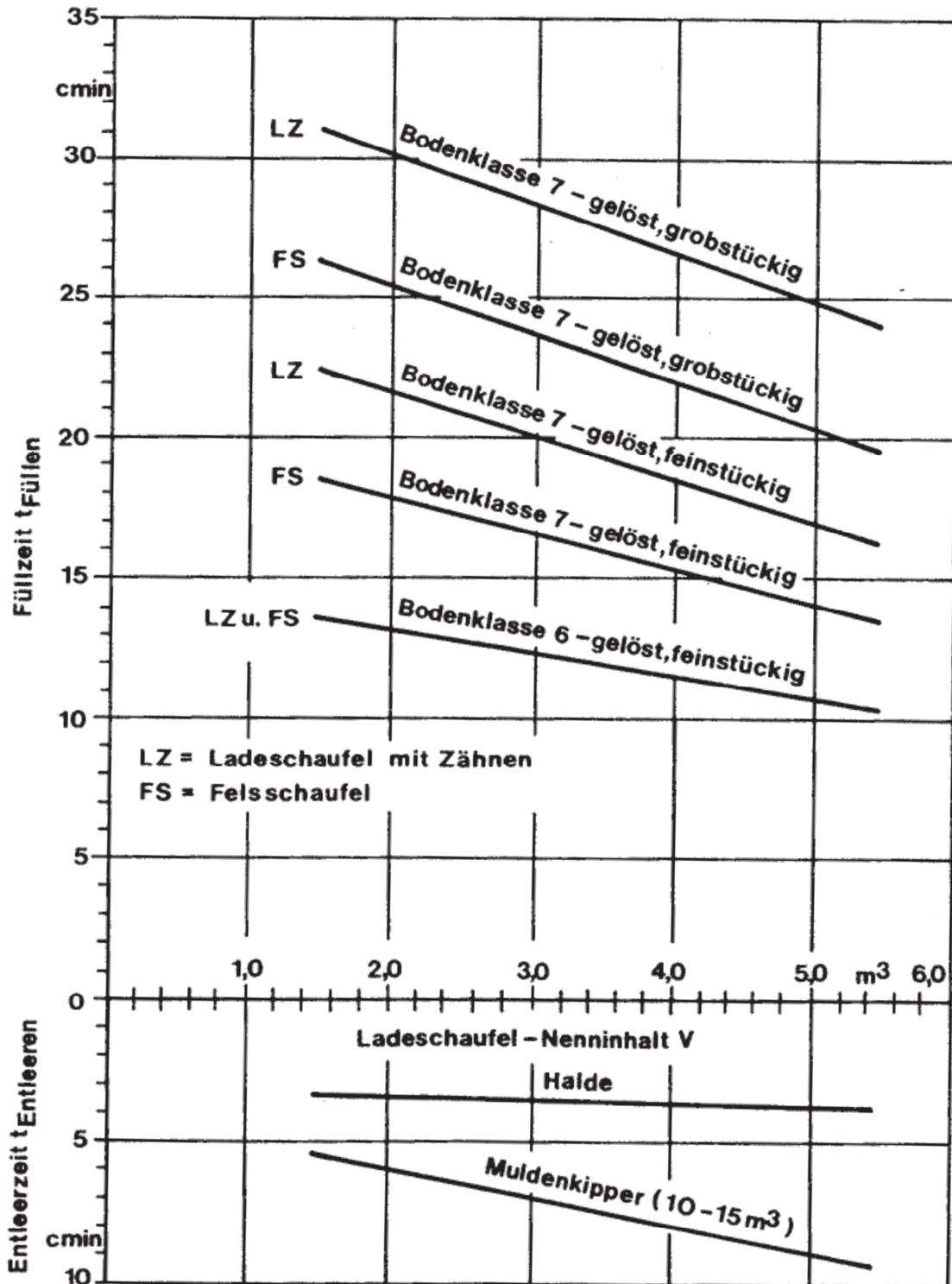


Abbildung 4-10: Füll- und Entleerzeiten für Böden der Klassen 6 und 7 nach DIN 18300 (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.49)

4.3.1.26. Fahrzeiten nach Bundesausschuß Leistungslohn Bau

Die Fahrzeiten nach dem Bundesausschuß Leistungslohn Bau sind in Abbildung 4-11: Gesamtfahrzeit Abbildung 4-11 dargestellt.

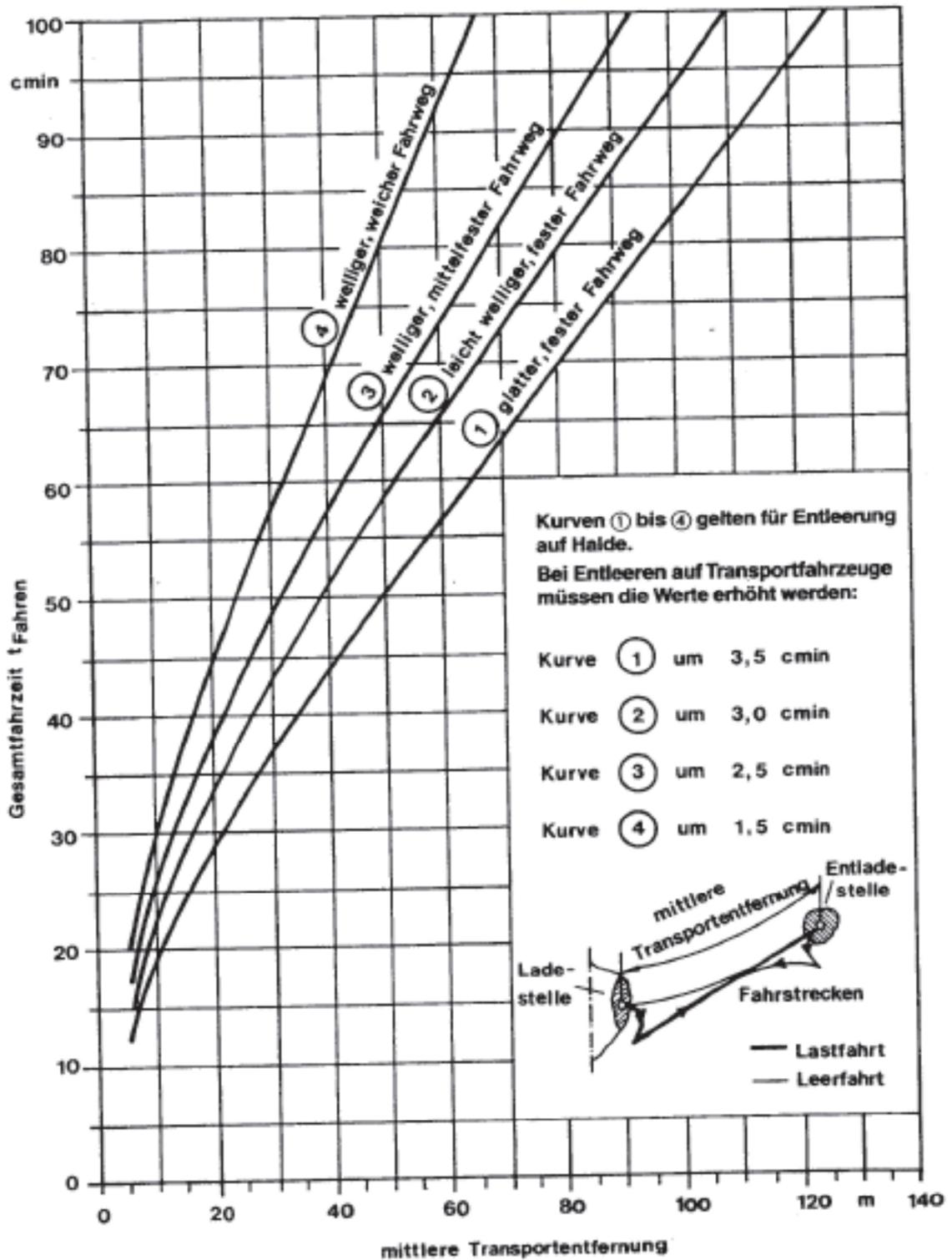


Abbildung 4-11: Gesamtfahrzeit (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.50)

4.3.2. Berechnung der Ladeleistung für Radlader

4.3.2.1. Berechnung nach Girmscheid

Die Nutzleistung eines Radladers kann mit der angeführten Formel berechnet werden (Girmscheid, 2002 S. 58):

$$Q_N = \frac{V_{SAE}}{t_S} * 3600 * k_1 * k_2 * k_3 * \eta_G$$

$$t_S = t_{S0} + t_F + \Delta t$$

$$k_1 = \alpha * \varphi$$

$$k_2 = f_3 * f_4 * f_5$$

$$k_3 = \eta_1 * \eta_2$$

wobei,

Q_N	...	Nutzleistung	[m ³ /h]	
t_S	...	Spielzeit		
t_{S0}	...	Grundspielzeit		(4.3.1.16)
t_F	...	Fahrzeit		(4.3.1.17)
Δt	...	Änderung der Spielzeit		(4.3.1.18)
k_1	...	Ladefaktor		(4.3.1.7)
k_2	...	Leistungseinflussfaktor		(4.3.1.8)
k_3	...	Betriebsbeiwert		(4.3.1.9)
η_G	...	Geräteausnutzungsgrad		(4.3.1.10)
α	...	Auflockerungsfaktor		(4.3.1.1)
φ	...	Füllfaktor		(4.3.1.2)
f_3	...	Entleerungsgenauigkeitsfaktor		(4.3.1.5)
f_4	...	Schneiden- / Zahnzustandsfaktor		(4.3.1.6)
f_5	...	Verfügbarkeits- / Gerätenutzungsfaktor		(4.1.11)
η_1	...	Bedienungsfaktor		(4.1.12)
η_2	...	Betriebsbedingungen		(4.1.13)

4.3.2.2. Berechnung nach Skriptum „Bergtechnische Grundverfahren“

Einen weiteren Ansatz zur Berechnung der theoretischen Nutzleistung in m³/h liefert folgende Formel (Moser, 2004):

$$Q_{RLtheo} = \frac{V * f * \rho * \alpha * 3600}{T_B}$$

wobei,

V	... Nenninhalt des Ladegefäßes gemäß SAE	[m ³]
F	... Ladegefäßfüllfaktor nach Goergen	[%]
ρ.	... Rohdichte	[t/m ³]
α	... Auflockerungsfaktor	[-] (4.3.1.1)
T _B	... Basisspielzeit	[min]

Die Basisspielzeit ergibt sich aus der Summe der Ladespielzeitfaktoren:

- Basis – Ladespielzeit (4.3.1.11)
- Material (4.3.1.12)
- Verschiedenes (4.3.1.13)
- Fahrzeit (im LHD Betrieb)

4.3.2.3. Berechnung nach Hüster

Die Nutzleistung eines Radladers wird nach Hüster wie nachfolgend dargestellt, berechnet (Hüster, 2003 S. 55 ff.):

Grundleistung Q₀ des Radladers [m³/h]

$$Q_0 = V * \left(\frac{3600}{T_0}\right) * f_A * f_F$$

V	... Nenninhalt	[m ³]
T ₀	... Grundspielzeit	(4.3.1.15)
f _A	... Auflockerungsfaktor	(4.3.1.1)
f _F	... Füllungsfaktor	(4.3.1.2)

Daraus lässt sich die Nutzleistung berechnen:

$$Q_N = Q_0 * \frac{t_N}{60 * f_T} * f_Z$$

wobei

t _N	... Hauptnutzungszeit	[min]
f _Z	... Zeitfaktor	[-]
f _T	... Spielzeitfaktor	[-]

Die Hauptnutzungszeit setzt sich wie folgt zusammen:

$$t_N = 60 - (t_n + t_z + t_a)$$

wobei

t _n	... Nebennutzungszeit, bei Schaufelladern i.A. vernachlässigbar	
t _z	... Zeit für zusätzliche Nutzung	(4.3.1.19)

t_a ... Zeit für ablaufbedingte Unterbrechungen (4.3.1.20)

Der Zeitfaktor f_z wird unter Berücksichtigung der Zeit für persönliche Unterbrechungen, t_p (4.3.1.21), sowie der Zeit für störungsbedingte Unterbrechungen, t_s (4.3.1.22), berechnet und ist dimensionslos.

$$t_z = \left(1 - \frac{t_p}{60}\right) * \left(1 - \frac{t_s}{60}\right)$$

Der ebenfalls dimensionslose Spielzeitfaktor f_T wird unter Berücksichtigung des Maschineneinflusses p_M [%], des Personaleinflusses p_P [%], des Einflusses des Raupenfahrwerkes p_R [%], welcher hier Null ist, sowie mit dem Einfluss des Entleerens p_E [%] berechnet:

$$f_T = 1 + \frac{(p_M + p_P + p_R + p_E)}{100}$$

Nach Hüster ergibt sich daraus ein, von den Bodenarten abhängiges, Diagramm der Nutzleistung. Dies ist in Abbildung 4-12 dargestellt.

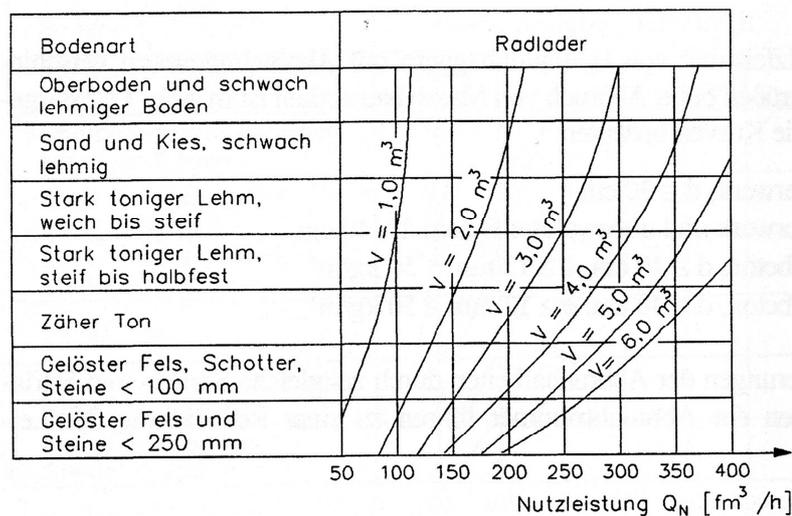


Abbildung 4-12: Nutzleistung eines Radladers (Hüster, 2003 S. 152)

4.3.2.4. Berechnung nach Bundesausschuß Leistungslohn Bau

Die Grundleistung Q_G lässt aus folgender Formel berechnen (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.43):

$$Q_G = V * f_L * \frac{6000}{T_H} [m^3 \text{ fest/h}]$$

Der Ladefaktor f_L besteht aus dem Auflockerungsfaktor f_A (4.3.1.1) sowie dem Füllungsfaktor f_F (4.3.1.2).

Die Hauptspielzeit T_H ergibt sich aus der Summe der Füllzeit $t_{\text{Füllen}}$, der Entleerzeit $t_{\text{Entleeren}}$ sowie der Gesamtfahrzeit t_{Fahren} (4.3.1.25).

Die Formel für die Nutzleistung berücksichtigt alle Tätigkeiten während der Gesamteinsatzzeit (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.44):

$$Q_N = V * f_L * \frac{6000}{T} [m^3 \text{est}/h]$$

Hier fließt die Gesamtspielzeit T ein, welche sich wie folgt zusammensetzt (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.44):

$$T = Z * (T_H + \Delta t) [cmin]$$

T	...	Gesamtspielzeit	
T _H	...	Hauptspielzeit	
Z	...	Arbeitszeitabhängiger Zuschlagsfaktor	(4.3.1.23)
Δt	...	Spieldahlabhängiger Zeitanteil	(4.3.1.23)

Die Hauptspielzeit T_H [cmin] setzt sich wie folgt zusammen:

$$T_H = t_{\text{Füllen}} + t_{\text{Entleeren}} + t_{\text{Fahren}}$$

t _{Füllen}	...	Füllzeit	(4.3.1.25)
t _{Entleeren}	...	Entleerzeit	(4.3.1.25)
t _{Fahren}	...	Gesamtfahrzeit	(4.3.1.26)

4.3.2.5. Berechnung nach Maidl

Die Nutzladung pro Ladespiel ergibt sich nach Maidl (Maidl, et al., 1997 S. 110) aus

$$C = F_{100} * \varphi * \alpha [fm^3]$$

C	...	Nutzladung pro Ladespiel	
F ₁₀₀	...	Löffelinhalt [m ³]	
φ	...	Füllfaktor des Ladegefäßes (siehe Abbildung 4-6)	
α	...	Auflockerungsfaktor des gesprengten Haufwerkes (siehe Abbildung 4-4)	

Mit der berechneten Nutzladung pro Ladespiel, der Anzahl an Ladespielen X pro Stunde aus Tabelle 4-21 sowie der Geräteausnutzung η_G aus Tabelle 4-12 ergibt sich für die Dauerleistung (Maidl, et al., 1997 S. 110):

$$Q_L = C * X * \eta_G \left[\frac{fm^3}{h} \right]$$

4.3.2.6. Berechnung der Transportleistung eines Radladers

Radlader können, gerade im Stollenvortrieb, auch als Transportgerät des Haufwerkes von der Ortsbrust zu einer Zwischendeponie genutzt werden. In diesem Falle muss die unter Kapitel 4.3.1.15 genannte

Spielzeit T_0 um die Zeit t_F für die Hin- und Rückfahrt erhöht werden. Zur Abschätzung der Zeit t_F dient Abbildung 4-13.

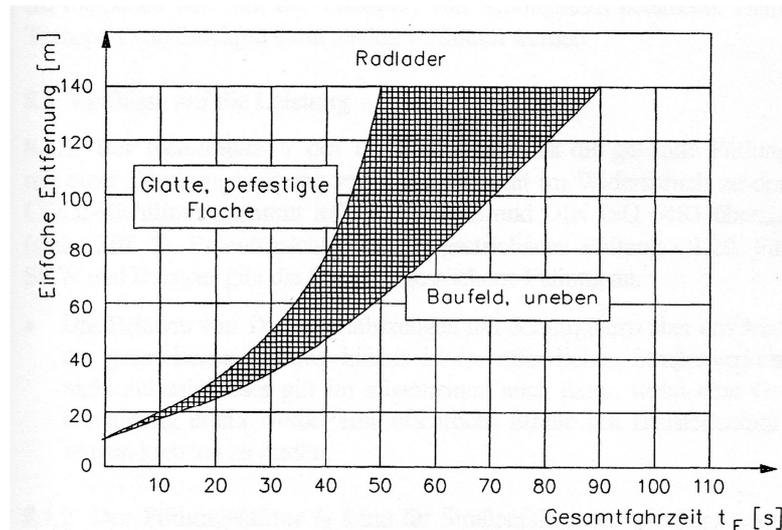


Abbildung 4-13: Gesamtfahrzeit Radlader (Hüster, 2003 S. 57)

Als Richtwerte für die Nutzleistung bei gleichzeitigem Transport des Haufwerkes können die in Abbildung 4-14 dargestellten Werte verwendet werden.

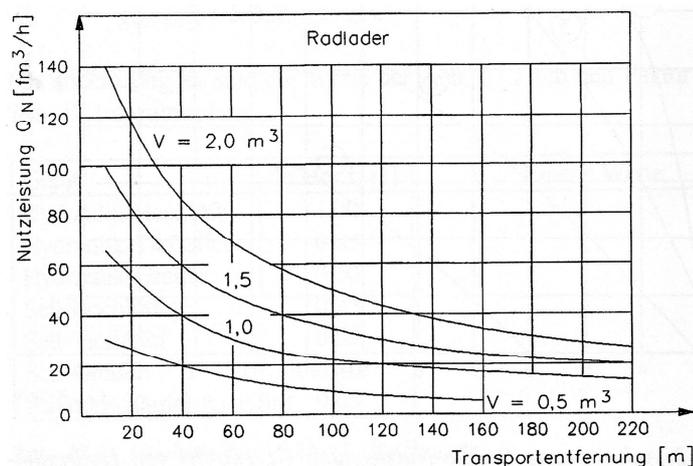


Abbildung 4-14: Nutzleistung in Abhängigkeit von der Transportentfernung (Hüster, 2003 S. 152)

4.3.3. Hydraulikbagger

4.3.3.1. Spielzeit t_s

Die Spielzeit eines Hydraulikbaggers setzt sich aus den Zeiten folgenden Einzeltätigkeiten zusammen:

- Rückschwenken
- Senken
- Füllen
- Heben
- Schwenken
- Entleeren

Diese müssen jedoch nicht zwangsweise nacheinander durchgeführt werden. So kann beispielsweise schon beim Rückschwenken mit dem Senken begonnen werden.



Abbildung 4-15: Spielzeit eines Hydraulikbaggers (Girmscheid, 2002 S. 53)

Da die Einzelzeiten jedoch von mehreren Faktoren abhängen und richtigerweise bei jedem Hydraulikbaggereinsatz neu aufgenommen werden müssten, können aus den Abbildungen Abbildung 4-16 und Abbildung 4-17 Richtwerte abgelesen werden.

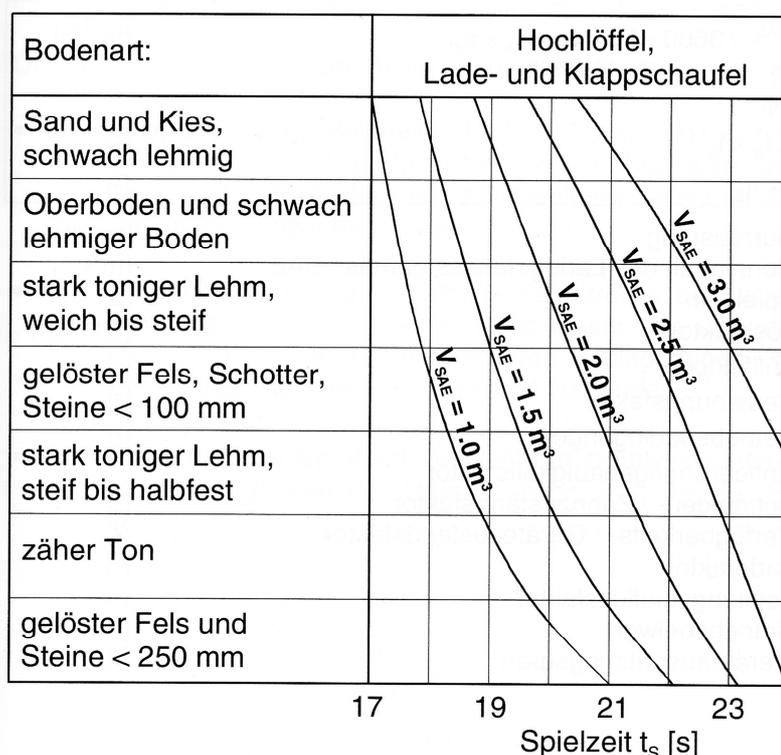


Abbildung 4-16: Spielzeit eines Tieflöffels (Girmscheid, 2002 S. 56)

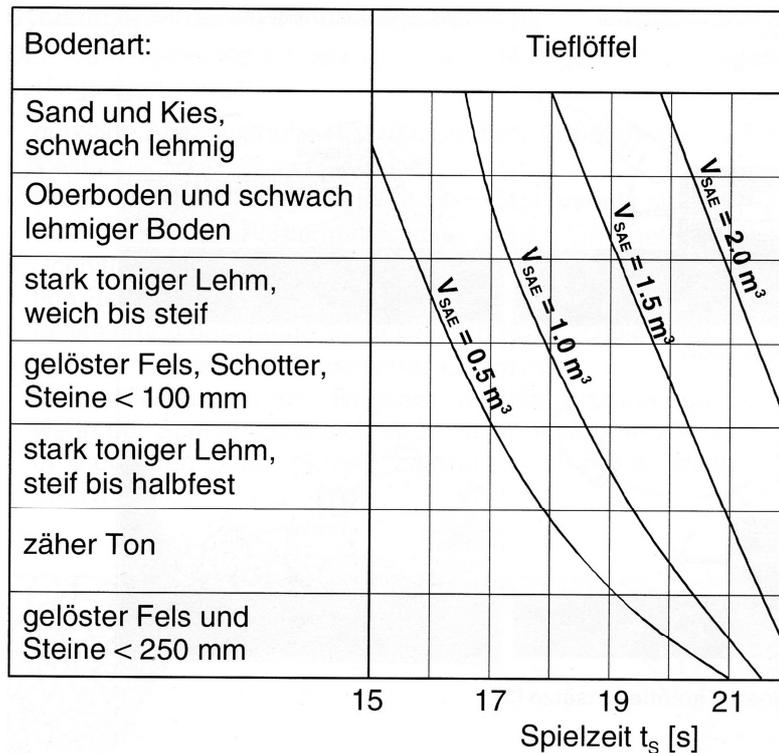


Abbildung 4-17: Spielzeit eines Hochlöffels (Girmscheid, 2002 S. 57)

4.3.3.2. Abbau-/Grabtiefenfaktor f_1

Der Abbau-/ Grabtiefenfaktor spiegelt das Verhältnis von optimaler Grabentiefe zu vorhandener Grabentiefe wieder.

Die optimale Abbauhöhe bei bestimmter Löffelgröße gibt Tabelle 4-22 wieder.

Optimale Wandhöhe [m] bei	Löffelinhalt [m³]						
	0,8	1,0	1,5	2,00	2,5	3,0	4,0
Rolligem Material	1,9	2,0	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5
Schüttfähigem Material	2,4	2,6	3,2	3,5	3,8	4,2	4,9
Stark bindigem Material	2,8	3,0	3,8	4,1	4,5	5,0	6,2

Tabelle 4-22: Optimale Wandhöhen (Girmscheid, 2002 S. 229)

Diese Werte werden nun mit den realen Werten in ein Verhältnis gesetzt. Mit diesem Verhältnis und mit Hilfe des untenstehenden Diagrammes wird anschließend der Abbau-/ Grabtiefenfaktor bestimmt.

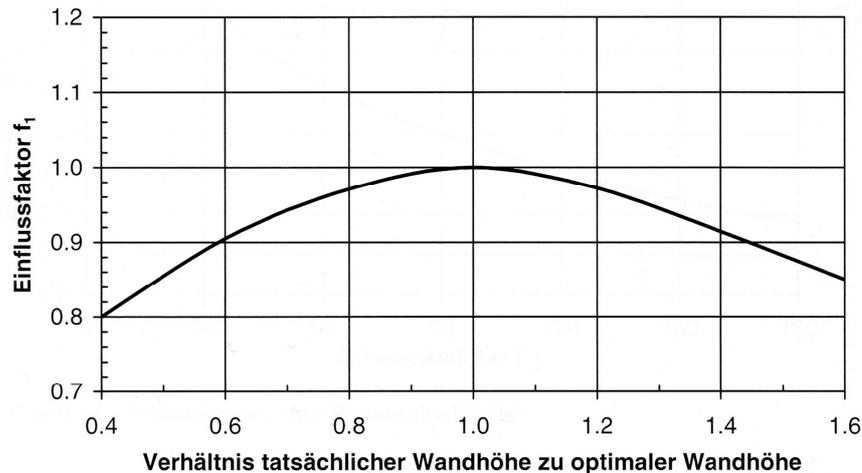


Abbildung 4-18: Verhältnis tatsächlicher Wandhöhe zu optimaler Wandhöhe (Girmscheid, 2002 S. 229)

4.3.3.3. Schwenkwinkeleinflussfaktor f_2

Der Schwenkwinkeleinflussfaktor spiegelt die Abweichung von 90° des Schwenkwinkels vom Füllen bis zum Entleeren wieder. Aus Abbildung 4-19 ist ersichtlich, dass eine Verkleinerung des Winkels eine Erhöhung des Schwenkwinkeleinflussfaktors herbeiführt.

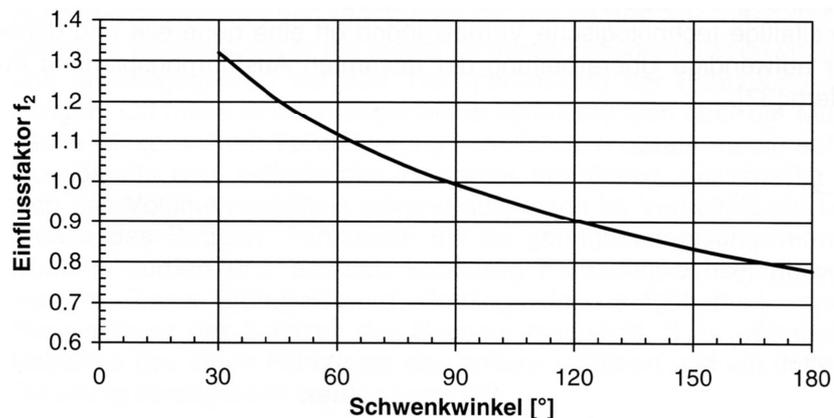


Abbildung 4-19: Einflussfaktor Schwenkwinkel (Girmscheid, 2002 S. 231)

4.3.3.4. Füllfaktor φ

Der Füllfaktor für den Hochlöffel wurde bereits in Abschnitt 4.3.1.2 behandelt. Der Füllfaktor für Tieflöffelbagger kann aus Abbildung 4-20 abgelesen werden und liegt für gelösten Fels zwischen 0,5 und 0,7.

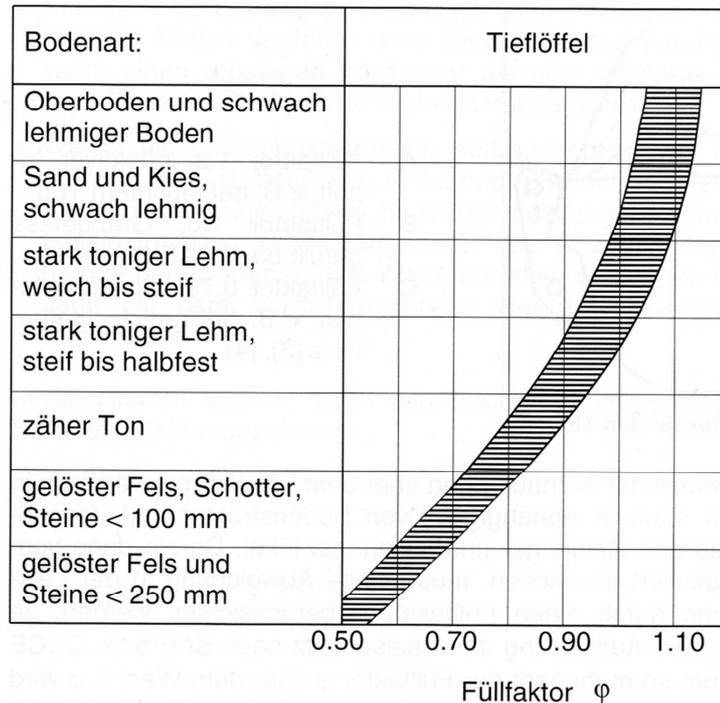


Abbildung 4-20: Füllfaktor Tieflöffel (Girmscheid, 2002 S. 224)

4.3.3.5. Nebennutzungszeit t_n

Die Nebennutzungszeit umfasst jene Zeiten, welche zum Rangieren oder Weiterrücken benötigt werden. Diese liegt zwischen 2 und 4 Minuten/h in Abhängigkeit der Platzverhältnisse und der Beschaffenheit des Erdkörpers (Hüster, 2003 S. 43).

4.3.3.6. Der Einfluss des Schwenkwinkels p_s

Der Einfluss des Schwenkwinkels beschreibt nach Hüster „die Veränderung der Spielzeit infolge unterschiedlicher Schwenkwinkel des Oberwagens zwischen dem Füll- und Entleerungsvorgang.“ (Hüster, 2003 S. 45)

Dieser ist in Tabelle 4-23 dargestellt.

Schwenkwinkel °	30	45	60	75	90	105	120	150	180
Zuschlag p_s [%]	-11	-7	-5	-2	0	2	4	8	12

Tabelle 4-23: Zuschlag für den Schwenkwinkel (Hüster, 2003 S. 45)

4.3.3.7. Beeinflussung durch Grabhöhe

Nach Hüster wird als günstige Grabhöhe oder -tiefe das 1,5 -fache des Volumens des Grabgefäßes angesehen. Die Spielzeit ungünstiger Grabhöhen oder -tiefen ist mit einem Zuschlag zu versehen.

Grabhöhe über oder unter günstig	[m]	-1	0	1	2	3	4
Zuschlag	[%]	-3	0	3	6	9	12

Tabelle 4-24: Zuschlag auf die Spielzeit durch ungünstige Grabhöhe und -tiefe (Hüster, 2003 S. 45)

4.3.3.8. Einfluss des Entleerens p_E

Dieser ist nur dann nicht vorhanden, wenn das Grabgefäß unkontrolliert auf eine Halde entladen wird. Andernfalls ist die Spielzeit zu erhöhen.

Vorgang	p_E [%]
Entleeren auf Muldenkipper	4
Entleeren auf LKW	8

Tabelle 4-25: Einfluss des Entleerens (Hüster, 2003 S. 46)

Alle anderen, die Leistung eines Hydraulikbaggers beeinflussenden Faktoren nach Girmscheid und Hüster, wurden bereits im Abschnitt Radlader 4.3.1 behandelt.

4.3.4. Berechnen der Ladeleistung für Bagger

4.3.4.1. Berechnung nach Girmscheid

Die Nutzleistung eines Hydraulikbaggers berechnet Girmscheid nach der unten angegebenen Formel (Girmscheid, 2002 S. 52):

$$Q_N = \frac{V_{SAE}}{t_S} * 3600 * k_1 * k_2 * k_3 * \eta_G$$

$$t_S = t_{S0} + t_F + \Delta t$$

$$k_1 = \alpha * \varphi$$

$$k_2 = f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_5$$

$$k_3 = \eta_1 * \eta_2$$

wobei,

Q_N	...	Nutzleistung	[m ³ /h]	
t_S	...	Spielzeit		
t_{S0}	...	Grundspielzeit		(4.3.1.16)
t_F	...	Fahrzeit		(4.3.1.17)
Δt	...	Änderung der Spielzeit		(4.3.1.18)
k_1	...	Ladefaktor		(4.3.1.7)
k_2	...	Leistungseinflussfaktor		(4.3.1.8)
k_3	...	Betriebsbeiwert		(4.3.1.9)
η_G	...	Geräteausnutzungsgrad		(4.3.1.10)
α	...	Auflockerungsfaktor		(4.3.1.1)
φ	...	Füllfaktor		(4.3.3.4)
f_1	...	Abbau- /Grabtieffaktor		(4.3.3.2)
f_2	...	Schwenkwinkелеinflussfaktor		(4.3.3.3)
f_3	...	Entleerungsgenauigkeitsfaktor		(4.3.1.5)
f_4	...	Schneiden- / Zahnzustandsfaktor		(4.3.1.6)

f ₅	...	Verfügbarkeits- / Gerätenutzungsfaktor	(4.1.11)
η ₁	...	Bedienungsfaktor	(4.1.12)
η ₂	...	Betriebsbedingungen	(4.1.13)

4.3.4.2. Berechnung nach Hüster

Nach Hüster wird die Nutzleistung des Hydraulikbaggers analog der Nutzleistung des Radladers berechnet:

Grundleistung Q₀ des Hydraulikbaggers [m³/h] (Hüster, 2003 S. 46 ff.):

$$Q_0 = V * \left(\frac{3600}{T_0}\right) * f_A * f_F$$

wobei,

V	...	Nenninhalt	[m ³]	
f _A	...	Auflockerungsfaktor	[-]	(4.3.1.1)
f _F	...	Füllfaktor	[-]	(4.3.3.4)
T ₀	...	Grundspielzeit	[min]	(4.3.1.15)

Daraus lässt sich dann die Nutzleistung berechnen:

$$Q_N = Q_0 * \frac{t_N}{60 * f_T} * f_Z$$

wobei,

t _N	...	Hauptnutzungszeit	[min/h]	
f _Z	...	Zeitfaktor	[-]	
f _T	...	Spielzeitfaktor	[-]	

Die Hauptnutzungszeit setzt sich wie folgt zusammen:

$$t_N = 60 - (t_n + t_z + t_a)$$

t _n	...	Nebennutzungszeit	(4.3.3.5)
t _z	...	Zeit für zusätzliche Nutzung	(4.3.1.19)
t _a	...	Zeit für ablaufbedingte Unterbrechungen	(4.3.1.20)

Der Zeitfaktor f_Z wird unter Berücksichtigung der Zeit für persönliche Unterbrechungen, t_p (4.3.1.21), sowie der Zeit für störungsbedingte Unterbrechungen, t_s (4.3.1.22), berechnet und ist dimensionslos.

$$t_z = \left(1 - \frac{t_p}{60}\right) * \left(1 - \frac{t_s}{60}\right)$$

Der ebenfalls dimensionslose Spielzeitfaktor f_T wird unter Berücksichtigung des Maschineneinflusses p_M [%], des Personaleinflusses p_P

[%], des Einflusses des Raupenfahrwerkes p_R [%], sowie mit dem Einfluss des Entleerens p_E [%] berechnet:

$$f_T = 1 + \frac{(p_M + p_P + p_S + p_R + p_E)}{100}$$

4.3.5. Knickgelenkter Muldenkipper

4.3.5.1. Die Entladezeit t_E

Die Entladezeit wird als fixer Wert angenommen.

Entladezeit	Quelle
1 min	(Girmscheid, 2000 S. 282)
0,5 min	(Hüster, 2003 S. 63)

Tabelle 4-26: Richtwerte der Entladezeit

4.3.5.2. Wagenwechselzeit t_W

Die Größe der Wagenwechselzeit ist abhängig davon, wie das Transportfahrzeug sich dem Ladegerät nähert, entweder vorstoßend oder rückstoßend.

Art der Annäherung	Wagenwechselzeit [min]	Quelle
vorstoßend	0,0	(Girmscheid, 2000 S. 282)
rückstoßend	0,4 – 0,6	(Girmscheid, 2000 S. 282)
vorstoßend	0,2	(Hüster, 2003 S. 60)
rückstoßend	0,5	(Hüster, 2003 S. 60)

Tabelle 4-27: Wagenwechselzeiten t_W

4.3.5.3. Wagenfolgezeit t_F

Die Wagenfolgezeit ist die Summe aus Beladezeit und Wagenwechselzeit und gibt somit die Verweildauer des Transportgerätes am Ladeort an. (Girmscheid, 2000 S. 282)

4.3.5.4. Berechnen der Nutzleistung Q_N

Die Nutzleistung eines knickgelenkten Muldenkippers, nachfolgend Dumper genannt, wird von Girmscheid nach folgender Formel berechnet (Girmscheid, 2002 S. 88):

$$Q_N = \frac{V_{F100}}{t_U} * 60 * k_1 * k_2 * k_3 * \eta_G [\text{fm}^3/\text{h}]$$

t_U	...	Umlaufzeit	
k_1	...	Ladefaktor	(4.3.1.7)
k_2	...	Leistungseinflussfaktor	(4.3.1.8)
k_3	...	Betriebsbeiwert	(4.3.1.9)
η_G	...	Geräteausnutzungsgrad	(4.3.1.10)

Die Umlaufzeit t_U ergibt sich aus der Summe

- der Beladezeit t_L
- der Fahrzeit im vollbeladenen Zustand t_{FV}
- der Entladezeit t_E
- der Fahrzeit im entladenen Zustand t_{FI}
- der Wartezeit t_W beim Füllen bzw. der Wagenwechselzeit t_{WZ} .

4.3.5.5. Berechnen der Beladezeit t_L

Die Beladezeit eines Dumpers ist nach Girmscheid abhängig von der Spielzeit des Ladegerätes t_S , sowie vom Verhältnis Muldeninhalt V_{F100} zu Inhalt Grabgefäß V_{SAE} (Girmscheid, 2002 S. 90). Da jedoch bereits in der Wagenwechselphase vom Ladegerät eine weitere Ladefäßfüllung durchgeführt werden kann, ist eine Spielzeit weniger anzusetzen.

$$t_L = \left(\frac{V_{F100}}{V_{SAE}} - 1 \right) * \frac{t_S}{60} [\text{min}]$$

4.3.5.6. Berechnen der Fahrzeit t_F

Die Gesamtfahrzeit setzt sich aus der Fahrzeit im vollbeladenen Zustand und der Fahrzeit im entleerten Zustand zusammen. Die maximalen Geschwindigkeiten im vollen sowie im leeren Zustand sind aus den Nomogrammen der Hersteller zu entnehmen und sind abhängig von Steigung, Rollwiderstand, der Streckenlänge sowie dem Fahrzeugtypen.

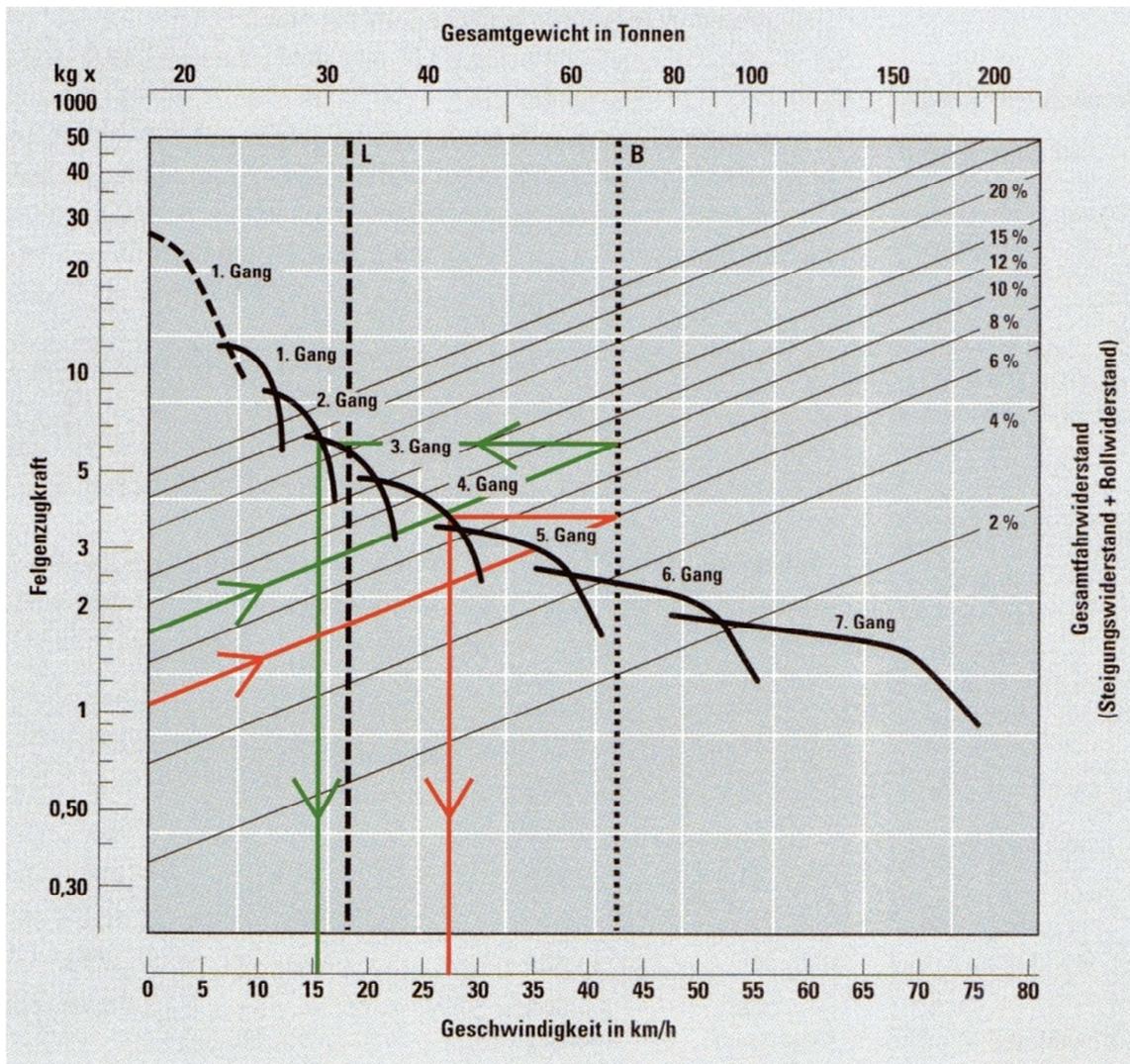


Abbildung 4-21: Felgenzug-Geschwindigkeitsdiagramm CAT 769D (Cat)

Aus Abbildung 4-21 lässt sich ablesen, dass ein beladener Dumper bei 6% Gesamtfahrwiderstand im 4. Gang eine Höchstgeschwindigkeit von rund 27 km/h erreichen kann. Ändert sich der Gesamtfahrwiderstand auf 10%, können nur noch rund 16 km/h erreicht werden.

Da im Tunnelbau während des Schutterbetriebes ein Dauerbetrieb vorliegt, müsste noch wie folgt abgemindert werden (Cat):

Wegstrecke	Abminderung der Geschwindigkeit
< 500m	60% der max. Geschwindigkeit
> 500m	75% der max. Geschwindigkeit

Tabelle 4-28: Abminderungsfaktoren bezogen auf die Fahrstrecke

Für die Fahrzeit lautet daher der formelmäßige Zusammenhang (Girmscheid, 2000 S. 281):

$$t_F = t_{Fv} + t_{Fl} = \sum \frac{l_{i,v}}{v_{i,v}} + \sum \frac{l_{i,l}}{v_{i,l}} [min]$$

- $l_{i,v}$... Teilstrecke i bei vollem Fahrzeug [m]
- $l_{i,l}$... Teilstrecke i bei leerem Fahrzeug [m]
- $v_{i,v}$... Geschwindigkeit der Teilstrecke i bei vollem Fahrzeug [m/min]
- $v_{i,l}$... Geschwindigkeit der Teilstrecke i bei leerem Fahrzeug [m/min]

Nach Girmscheid müssen die maximalen Geschwindigkeiten noch mittels eines Geschwindigkeitskorrekturfaktors korrigiert werden, da beim Anfahren sowie beim Bremsen nicht mit der vollen Geschwindigkeit gerechnet werden kann (Girmscheid, 2000 S. 282).

Streckenabschnittslänge l_i [m]	Geschwindigkeitskorrekturfaktor k_G [-]	
	stehender Start	fliegender Start
0-100	0,20 - 0,50	0,5
100-250	0,30 - 0,60	0,60 - 0,75
250-500	0,50 - 0,65	0,70 - 0,80
500-800	0,60 - 0,70	0,75 - 0,80
800-1200	0,65 - 0,75	0,80 - 0,85
1200 und mehr	0,70 - 0,85	0,80 - 0,90

Tabelle 4-29: Geschwindigkeitskorrekturfaktor k_G

4.3.5.7. Berechnen der Anzahl der Transportfahrzeuge

Die erforderliche Anzahl an Transportfahrzeugen ergibt sich für den laufenden Betrieb wie folgt (Girmscheid, 2000 S. 282):

$$n = \frac{t_U}{t_f} = \frac{t_L + t_{Fv} + t_E + t_{Fl} + t_w}{t_f}$$

- t_L ... Beladezeit (4.3.5.5)
- t_{Fv} ... Fahrzeit beladen (4.3.5.6)
- t_E ... Entladezeit (4.3.5.1)
- t_{Fl} ... Fahrzeit leer (4.3.5.6)
- t_w ... Wagenwechselzeit (4.3.5.2)
- t_f ... Wagenfolgezeit (4.3.5.3)

Nach Maidl (Maidl, 2004 S. 252) ergibt sich die Anzahl an Transportfahrzeugen für den laufenden Betrieb:

$$n = \frac{T_{UML}}{t_B}$$

- T_{UML} ... Umlaufzeit eines Muldenkippers
- t_B ... Beladezeit eines Muldenkippers (4.3.5.5)

4.4. Einbauzeiten der Stützmittel

Die Einbauzeiten für Stützmittel welche der Literatur zu entnehmen sind, stellen in dieser Arbeit nur einen Überblick dar.

4.4.1. Anker

Die Einbau- oder Setzzeiten von Ankern sind empirisch ermittelte Größen und können nur durch Stoppen mittels Stoppuhr ermittelt werden. Nicht miteingerechnet sind hier die Zeiten für das Herstellen der Bohrlöcher sowie die Fahrzeiten einer eventuell benötigten Bühne. Die Zeiten werden je nach Quellenangabe in unterschiedlichen Formaten angegeben. Auf die Umrechnung in ein einheitliches Format wird an dieser Stelle verzichtet.

Ankertyp	Setzzeit in min/lfm	Quelle
Anker allgemein	3 - 4,2	(Galler, 2007)

Tabelle 4-30: Ankersetzzeiten

Alternativ zu den Setzzeiten pro Laufmeter Anker, kann auch mit einer Fixzeit von 2 min pro Anker gerechnet werden (Galler, 2007).

Ankertyp	Zeit in h/Stk.	Quelle
4m vermörtelt	0,4 - 0,6	(Siding, 1987 S. 202)
6m vermörtelt	0,6 - 1,2	(Siding, 1987 S. 202)
8m vermörtelt	1,0 - 1,5	(Siding, 1987 S. 202)
10m vermörtelt	1,2 - 2,0	(Siding, 1987 S. 202)

Tabelle 4-31: Ankersetzzeiten nach Siding

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass Tabelle 4-31 nur aus Gründen der Vollständigkeit angeführt wurde. Grund dafür ist, dass die der Literatur entnommen Werte als unrealistisch anzusehen sind.

4.4.2. Bögen

Für das Berechnen der Erstellzeit von Bögen werden je nach verwendeter Quelle folgende Zeiten vorgeschlagen:

Bogentyp	Stellzeit min/lfm Bogen	Quelle
nicht definiert	2,4 - 3	(Galler, 2007)
nicht definert	12	(Maidl, et al., 1997 S. 142)
nicht definert	1,46	(Weinhardt, 2005 S. 26)

Tabelle 4-32: Setzzeiten für Ausbaubögen

4.4.3. Spritzbeton

Die Einbauzeit für den Spritzbeton wird berechnet und hängt von folgenden Faktoren ab:

- Maschinenleistung/Spritzdüse [m³/h]
- Dicke der Spritzbetonschale [m]
- Tunnelumfang [m]
- Abschlagslänge [m]
- Mehrstärke Spritzbetonschale [m]
- Anzahl der Spritzdüsen [Stück]
- Rückprall und Überprofil [%]

Für die Ortsbrustversiegelung muss angegeben werden, wie groß die zu versiegelnde Fläche in m² sowie die Dicke der Ortsbrustversiegelung ist.

Beim Auftragen des Spritzbetons muss auch der anfallende Rückprall miteinberechnet werden. Hierbei muss berücksichtigt werden, ob die Kalotte, die Strosse oder die Sohle gespritzt wird oder ob es sich um eine Ortsbrustversiegelung handelt. Typische Werte für den Rückprall sind aus Tabelle 4-33 zu entnehmen.

Einbauort	Rückprall in %	Verfahren	Quelle
Firste	20 - 40	beide	(Girmscheid, 2000 S. 185)
	20 - 30	trocken	(Höfler, et al., 2004 S. 54)
	5 - 15	nass	(Höfler, et al., 2004 S. 54)
Ulme	10 - 30	beide	(Girmscheid, 2000 S. 185)
Sohle	0	beide	(Girmscheid, 2000 S. 185)
unabhängig	15 - 25	trocken	(Girmscheid, 2000 S. 189)
unabhängig	12 - 15	nass - Dünnstrom	(Girmscheid, 2000 S. 189)
unabhängig	10	nass - Dichtstrom	(Girmscheid, 2000 S. 189)

Tabelle 4-33: Rückprall beim Spritzbeton

Für den Rückprall in der Sohle sei angemerkt, dass dieser, obwohl mit null Prozent angegeben, sehr wohl existiert. In der Baupraxis wird der Rückprall in der Sohle jedoch nicht entfernt sondern mit verarbeitet. Siding gibt folgende Richtwerte für den Spritzbetonausbau in Abhängigkeit von der Maschinenleistung an (Siding, 1987 S. 202):

Maschinenleistung	Bruttoeinbauzeit min/m³
ca. 16 m ³ / Stunde	30 – 42
ca. 12 m ³ / Stunde	42 – 54
ca. 8 m ³ / Stunde	54 – 84
ca. 4 m ³ / Stunde	60 – 150

Tabelle 4-34: Spritzbetonleistung nach Siding

Auch hier sei angemerkt, dass Tabelle 4-34 nur der Vollständigkeit wegen angeführt ist und keine praxisnahen Werte liefert.

Als Durchschnittswert über mehrere Baustellen wird als Bruttoleistung 1-10m³/h angegeben. (Galler, 2007)

Je nach Maschinenhersteller und Spritzschlauchdurchmesser werden theoretische Förderleistungen in m³/h angegeben welche im Anhang ersichtlich sind.

4.4.4. Baustahlgitter

Zu der in Tabelle 4-35 angegebenen Einbauzeit müssen noch 1,2 – 1,5 min/m² für die Einbauzeit addiert werden (Galler, 2007).

Einbauzeit	Einheit der Einbauzeit	Quelle
4,2 - 6	min/m ²	(Galler, 2007)

Tabelle 4-35: Einbauzeit von Baustahlgitter

Siding gibt die Einbauzeit mit 0,025 – 0,05 Std/kg an (Siding, 1987 S. 202). Dies entspricht 1,5 – 3 min/kg. Die verwendeten Mattentypen dienen nur exemplarisch.

Mattentyp	Gewicht je m² [kg/m²]	Einbauzeit [min/m²]
Q 188 A	3,02	4,53 – 9,06
Q 257 A	4,12	6,18 – 12,36
Q 335 A	5,38	8,07 – 16,14
Q 424 A	6,12	9,18 – 18,36

Tabelle 4-36: Einbauzeiten von Baustahlgitter nach Siding

Auch Maidl gibt die Einbauzeit bezogen auf das Gewicht an und zwar mit 0,5 Std/t (Maidl, et al., 1997 S. 142). Dies entspricht 0,03 min/kg.

Mattentyp	Gewicht je m² [kg/m²] (Stahlbetonbewehrung, 2012)	Einbauzeit [min/m²]
Q 188 A	3,02	0,09
Q 257 A	4,12	0,12
Q 335 A	5,38	0,16
Q 424 A	6,12	0,18

Tabelle 4-37: Einbauzeiten von Baustahlgitter nach Maidl

Für Girmscheid liegt die Einbauleistung zwischen 100 und 200 kg/h (Girmscheid, 2008 S. 231). Dies entspricht einer maximalen Einbaudauer von 0,9 min/kg sowie einer minimalen Einbaudauer von 0,45 min/kg.

Mattentyp	Gewicht je m² [kg/m²] (Stahlbetonbewehrung, 2012)	Einbauzeit [min/m²]
Q 188 A	3,02	1,36 - 2,72
Q 257 A	4,12	1,85 - 3,71
Q 335 A	5,38	2,42 - 4,84
Q 424 A	6,12	2,75 - 5,508

Tabelle 4-38: Einbauzeiten von Baustahlgitter nach Girmscheid

Alle Werte gelten unabhängig davon wo die Gitter eingebaut werden, also an Firste, Ulme oder Sohle. Auch das Vorhandensein von Bögen bleibt unberücksichtigt.

Durch die große Streuung der Werte, konnten diese nicht in die Berechnung einfließen, da nicht feststellbar war, welche dieser Werte als praxisnah anzusehen sind.

4.4.5. Spieße

Für Spieße gelten je nach Art des Einbaus unterschiedliche Einbauzeiten. Diese sind in Tabelle 4-39 zusammengefasst:

Art des Einbaus	Einbauzeit [min/lfm]	Quelle
nicht definiert	1,8 – 3,6	(Galler, 2007)
gerammt	3 – 6	(Siding, 1987 S. 202)
vermörtelt (4-10m)	4,5 – 11,5	(Siding, 1987 S. 202)

Tabelle 4-39: Einbauzeiten für Spieße

Bei den Setzzeiten für Spieße wird 1 min pro Spieß angenommen, unabhängig davon ob es sich um gebohrte Spieße, Rammspieße Rohrspieße oder Selbstbohrspieße handelt (Galler, 2007). Die in Tabelle 4-39 angegebenen Einbauzeiten müssen daher zusätzliche Zeiten wie z. B. die Bohrzeit bereits beinhalten.

4.5. Leistungsminderungen

4.5.1. Beeinflussung durch Bergwässer

Die Beeinflussung durch Bergwässer wird in dieser Diplomarbeit nicht berücksichtigt, da dafür keine Literaturwerte vorliegen und die Ermittlung dieses Einflusses den Umfang dieser Arbeit sprengen würde. Für den Fall von Bergwasserzutritt und die Berechnung der Abminderung der Vortriebsleistung durch Bergwasserzutritt, sei an dieser Stelle auf die ÖNORM B 2203 – 1 verwiesen. Diese sieht in Kapitel 4.3.6.1 bei Bergwasserzutritt zusätzliche Vortriebszeiten vor, welche über Abminderungsfaktoren berechnet werden (2203-1, 2001 S. 18-19).

Diese Abminderungsfaktoren werden durch die Baufirmen aus Erfahrungswerten und Nachkalkulationen ermittelt.

4.5.2. Beeinflussung durch Personal

Die Leistungsminderung „Beeinflussung durch Personal“ beinhaltet in erster Linie den Einarbeitungseffekt und kann entweder auf die gesamte Bauzeit aufgeschlagen werden oder aber bei jedem Abschlag hinzuaddiert werden.

Neben der Einarbeitung haben auch Faktoren wie die Erfahrung der eingesetzten Drittel und deren „Eingespeltheit“ massiven Einfluss auf die tatsächliche Vortriebsleistung. Diese Faktoren fließen aber nur indirekt über die verwendeten Aufwandswerte aus der Baupraxis ein, die „durchschnittliche Drittel“ widerspiegeln. Dies zu ermitteln war jedoch nicht Teil dieser Arbeit.

4.6. Objektabhängige Variablen

Als objektabhängige Variable und somit Grundlagen der Berechnung sind folgende Angaben zu ermitteln:

- Tunnellänge [m]
- Entfernung Zwischendeponie – Portal [m]
- Entfernung Ortsbrust – Zwischendeponie [m]
- Fahrgeschwindigkeit Mulde voll [km/h]
- Fahrgeschwindigkeit Mulde leer [km/h]
- Fahrgeschwindigkeit Radlader voll [km/h]
- Fahrgeschwindigkeit Radlader leer [km/h]
- Auflockerungsfaktor Gebirge [-]
- Lochabstand Kranzlöcher [m]
- Lochabstand Kalotten- Strossensohle [m]
- Lochabstand Sohle [m]
- Lochanzahl Innenlöcher [Stk/m²]
- Überbohrlänge [m Bohrloch]

4.7. Rüstzeiten/Festzeiten

Im Zyklischen Vortrieb müssen folgende Rüst- und Festzeiten einberechnet werden:

Art der Tätigkeit	Zeit in Minuten	Quelle
Umsetzen Bohrjumbo	15	(Girmscheid, 2002 S. 167)
Prüfen des Zündkreises und Sprengen	15	(Girmscheid, 2002 S. 168)
Bewetterung nach dem Sprengen	15	(Girmscheid, 2002 S. 168)
Vermessungstätigkeiten	15	
Rüstzeiten im Baggervortrieb	15	
Rüstzeit für Spritzbeton	30	(Girmscheid, 2008 S. 231)
Rüstzeit für Anker und Spieße	10-15	(Girmscheid, 2008 S. 232)

Tabelle 4-40: Rüst- und Festzeiten

Die in Tabelle 4-40 angeführten, nicht korrekt zitierten, Werte wurden aus bereits bestehenden Projekten namhafter österreichischer Tunnelbaufirmen übernommen.

5. Betrachtung des kritischen Weges

Der kritische Weg beschreibt den Zusammenhang der Arbeitsvorgänge im zyklischen Vortrieb. Am kritischen Weg liegen alle Arbeitsvorgänge, welche die Dauer eines Abschlagszyklus bestimmen. Um den Zeitverlust am kritischen Weg so gering wie möglich zu halten, sollten so viele Arbeitsgänge wie möglich parallel durchgeführt werden bzw. ein Teil der Arbeitsvorgänge parallel ablaufen. Für die Berechnung eines Abschlagzyklus ist es daher wichtig zu wissen, welche dieser Arbeitsschritte nur einzeln und welche dieser Arbeitsschritte parallel durchgeführt werden können.

In der Berechnung eines Abschlagszyklus spiegelt sich der kritische Weg in Gleichzeitigkeitsfaktoren wieder. Mit diesen werden zwei parallel geführte Arbeitsvorgänge multipliziert, um die Zeitersparnis zu berechnen. Im Balkendiagramm ist dies dadurch ersichtlich, dass der Startzeitpunkt von Tätigkeit B in den Arbeitsbereich von Tätigkeit A verschoben wird. Gleichzeitigkeitsfaktor von 1 würde im Diagramm also bedeuten, dass mit dem Ende von Arbeitsschritt A Arbeitsschritt B beginnt.

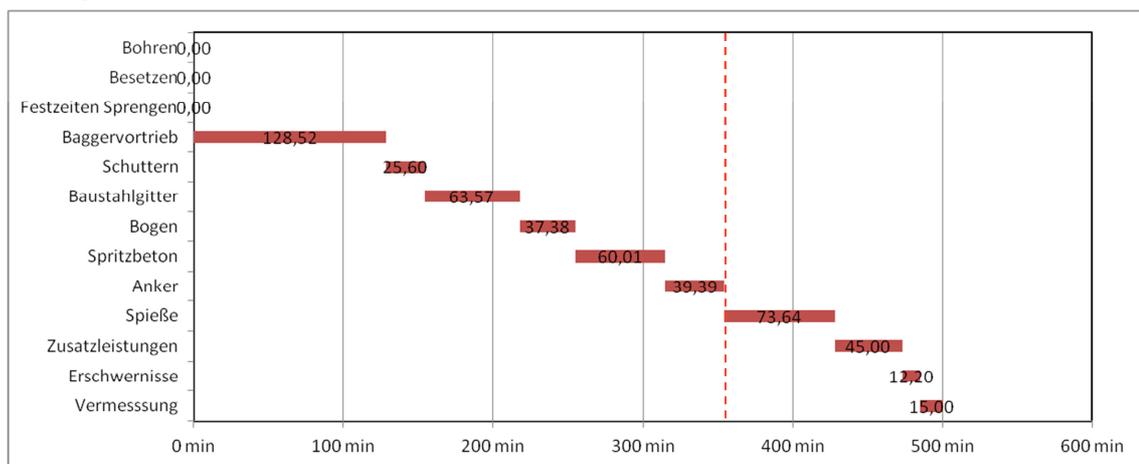


Abbildung 5-1: Zykluszeitdiagramm mit Gleichzeitigkeitsfaktor 1 Anker zu Spieße

Ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0 würde den Startpunkt von Arbeitsschritt B auf den Startpunkt von Arbeitsschritt A verschieben.

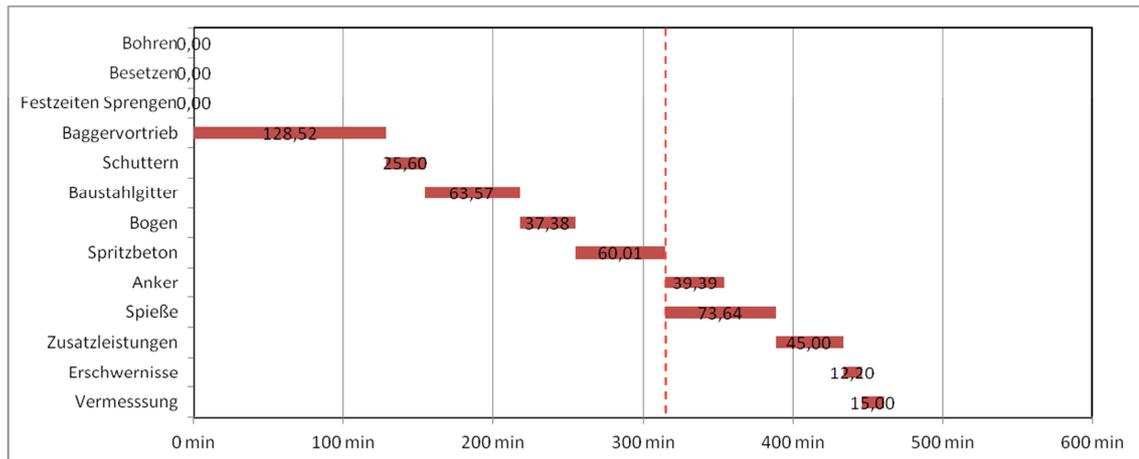


Abbildung 5-2: Zykluszeitdiagramm mit Gleichzeitigkeitsfaktor 0 Anker zu Spieße

Ausgenommen hiervon ist der Gleichzeitigkeitsfaktor „*Bohren und Besetzen*“. Hier wird mit einer Fixzeit festgelegt, wie viele Minuten der Besetzvorgang nach dem Bohrvorgang beendet wird. Diese Fixzeit fließt anschließend in die Zykluszeitberechnung unvermindert ein.

Da die Gleichzeitigkeiten jedoch vom Tunnelquerschnitt abhängig sind, muss jetzt zwischen Kleinquerschnitten und Großprofilen unterschieden werden. Girmscheid unterscheidet hier zwischen Ausbruchsbreiten unter neun Metern und Ausbruchsbreiten über neun Metern (Girmscheid, 2002 S. 273 ff.).

Unter neun Meter sieht Girmscheid keine Möglichkeiten, im Vortriebszyklus Tätigkeiten parallel durchzuführen.

Über neun Meter Ausbruchsbreite schlägt Girmscheid folgenden Arbeitsablauf vor:

- Bohren der Sprenglöcher in der einen Profilhälfte und Setzen der Anker in der anderen
- Bohrlöcher laden und die Zündung vorbereiten
- Herstellen der Sohle während des Schutterns und Sicherns

Im Stollenvortrieb, der Querschnitt ist kleiner als 20 m², gibt es nur geringe Möglichkeiten, zeitbestimmende Arbeitsschritte gleichzeitig durchzuführen, um dadurch die Abschlagszeit zu verkürzen.

Für die Berechnung der Zykluszeit wurden folgende Gleichzeitigkeiten ermittelt und eingefügt:

- Bohren zu Besetzen
- Spritzbeton zu Baustahlgitter
- Baggervortrieb zu Schuttern
- Ankern zu Bohren
- Spieße setzen zu Bohren

Die oben angegebenen Gleichzeitigkeiten müssen von einem erfahrenen Mitarbeiter bewertet und anschließend als Faktor in die Berechnung mit aufgenommen werden.

Für die Berechnung der Bruttohohrgeschwindigkeit wurde zusätzlich der Faktor „Ausnutzung der Bohrarne“ eingeführt. Mit Hilfe dieses Faktors wird die Nettobohrleistung abgemindert und soll dem Umstand Rechnung tragen, dass nicht in jeder Arbeitsphase alle Bohrarne gleichzeitig genutzt werden können. Als Beispiel sei hier angeführt, dass an der Ortsbrust mit 3 Armen gebohrt werden kann, jedoch das Ankerbohren, aufgrund der Tatsache dass sich die Bohrarne gegenseitig im Weg sind, nur mit 2 Armen erfolgen kann.

6. Ermittlung der Zykluszeit

Die nachfolgenden Abschnitte geben Rechenvorschläge, wie eine Zykluszeit im Tunnelbau ermittelt werden kann. Hierfür wurden zahlreiche Vereinfachungen von bereits bekannten Formeln aus Kapitel 4 getroffen, welche es einem Bieter ermöglichen sollen, in einem angemessenen Zeitrahmen eine Zykluszeitkalkulation durchzuführen, um die Bauzeit eines Projekts mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen.

Da die aus der Literatur vorliegenden Formeln und Aufwandswerte zum Teil sehr unrealistisch und praxisfern sind, wurden diese bei der praktischen Ermittlung teilweise durch in der Baupraxis erprobte Ansätze ersetzt. Dies geschah durch Analyse und Vergleich von Tabellen mehrerer österreichischer Baufirmen. Die nun verwendeten Formeln und Aufwandswerte stellen geistiges Eigentum der jeweiligen Firmen dar und können daher hier nicht immer im Detail erläutert werden.

6.1. Bohren und Sprengen

Die Gesamtzeit für den Zyklusabschnitt Bohren und Sprengen ergibt sich aus der Summe der Abschnitte Bohrzeit, Besetzzeit, Prüfen und Zünden sowie der Bewetterungszeit. Um den Berechnungsvorgang zu vereinfachen, wurde Prüfen und Zünden als fixe Zeit angenommen.

6.1.1. Ermittlung der Bohrlochanzahl

Für die Ermittlung der Bohrlochanzahl [Stk/Abschlag] wurden folgende Formeln verwendet:

$$\text{Firste und Ulme} \quad \text{Anzahl Kranzlöcher} = \frac{\text{Abwicklung Firste [m]}}{\text{Abstand Kranzlöcher [m]}}$$

$$\text{Sohle} \quad \text{Anzahl Sohlöcher} = \frac{\text{Abwicklung Sohle [m]}}{\text{Abstand Sohlöcher [m]}}$$

$$\text{Innenlöcher} \quad \text{Innenlöcher} = \frac{\text{Querschnittsfläche [m}^2\text{]}}{\text{Anzahl Innenlöcher} \left[\frac{\text{Stk}}{\text{m}^2} \right]}$$

Da der Abstand der Kranz- und Sohlöcher i.A. unterschiedlich ist, wurden diese auch separat berechnet.

6.1.2. Ermittlung der Bruttobohrgeschwindigkeit

Die Bruttobohrgeschwindigkeit wird für die gesamte, sich im Vortrieb befindende, Bohrleistung berechnet und mit Hilfe der Variablen „Ausnutzung der Arme“ auf den jeweiligen Verwendungszweck abgemindert. Somit ergeben sich für das Bohren von Sprengbohrlöchern, Ankerlöchern und Spießbohrlöchern unterschiedliche Bohrgeschwindigkeiten. Für die derzeit gewählte Berechnung wird die Nettobohrge-

schwindigkeit eingegeben. Dies geschieht entweder in m/min oder min/m und wird automatisch auf m/min umgerechnet.

$$\text{Bruttobohrgeschwindigkeit} = \text{Nettobohrgeschwindigkeit} * \text{AnzahlBohrhämmer} * \text{AusnutzungBohrarme}$$

Die für das jeweilige Projekt angenommene mittlere Nettobohrgeschwindigkeit wird im Vorfeld hinsichtlich der ausgeschriebenen Geologie anteilmäßig berechnet und für die Berechnungen verwendet. Es wird meistens keine vortriebsklassenspezifische Anpassung mehr durchgeführt.

6.1.3. Ermittlung der Bohrzeit

Die Nettoboehrzeit ergibt sich durch

$$\text{Nettoboehrzeit} = \frac{\text{Anzahl Bohrlocher} * (\text{Abschlagslänge}[m] + \text{Überbohren}[m])}{\text{Bruttobohrgeschwindigkeit} \left[\frac{m}{min} \right]} \text{ [min]}$$

Die Umsetzzeit wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Umsetzzeit} = \frac{\text{AnzahlBohrlöcher} * \frac{\text{Umsetzzeit}}{\text{Bohrloch}}}{\text{AnzahlBohrhämmer} * \text{AusnutzungBohrarmeSprengloch}} \text{ [min]}$$

Die Bruttoboehrzeit ist die Summe aus Nettoboehrzeit und Umsetzzeit und wird anschließend mit dem Faktor „Anteil Sprengvortrieb“ multipliziert.

Die Rüstzeit wird als fixe Zeit eingegeben und mit der Bruttoboehrzeit summiert.

6.1.4. Besetzzeit

Die Besetzzeit, welche in Kapitel 4.2.1 von Girmscheid zitiert wird, wurde dahingehend vereinfacht, dass das Verhältnis Bohrlochtiefe zu Ladeleistung pro Arbeiter durch den Faktor Besetzzeit pro Bohrloch ersetzt wurde. Daher wird die Besetzzeit nach unten angegebener Formel berechnet:

$$\text{Besetzzeit} = \frac{\frac{\text{Besetzzeit}}{\text{Bohrloch}} * \text{Anzahl der Bohrlöcher}}{\text{Anzahl Arbeiter}} * \text{AnteilSprengvortrieb}$$

6.2. Lösen

Für die Berechnung des Zyklusabschnittes „Lösen“ im Baggervortrieb wird die Löseleistung in m³/min als fixer Wert eingegeben. Dieser Wert muss von erfahrenen Tunnelbauingenieuren hinsichtlich der anzutreffenden Geologie geschätzt werden. Die gesamte Lösezeit be-

rechnet sich aus der Summe Rüstzeit, Lösezeit und Ausbruch Kalottenfuß.

6.2.1. Rüstzeit

Die Rüstzeit wird anteilmäßig dem Baggervortrieb berechnet.

$$Rüstzeit = RüstzeitBaggervortrieb * AnteilBaggervortrieb$$

6.2.2. Lösezeit

Die Lösezeit wird ebenfalls anteilmäßig dem Baggervortrieb berechnet und ist abhängig von der Ausbruchskubatur sowie der Löseleistung. Da die Literatur keine Vorschläge für die Berechnung der Löseleistung liefert, wurde folgende Formel verwendet:

$$Lösen = \frac{AusbruchskubaturinklÜberprofil}{Löseleistung} * AnteilBaggervortrieb$$

Die hier verwendete Formel wurde auch für den Ausbruch des Kalottenfußes verwendet.

$$Lösen = \frac{AusbruchKalottenfußprolfm}{Löseleistung} * AnteilBaggervortrieb$$

6.3. Schuttern

Im Schutterbetrieb muss unterschieden werden, ob direkt auf einen Dumper oder auf eine Zwischendeponie geschuttert wird. Der hier verwendete Auflockerungsfaktor wird als Kehrwert der in Kapitel 4.3.1.1 bestimmten Werte eingesetzt.

Das Schuttern auf eine Zwischendeponie findet vor Allem in kleineren Querschnitten ohne Möglichkeit auf Gegenverkehr Verwendung. Somit wird die Schutterzeit wie folgt berechnet:

$$Schutterzeit = \frac{Ausbruchskubatur * Auflockerungsfaktor}{LadegerätSchaufelvolumen} * Fahrzeit Zwischendeponie [min] + Entladezeit + Ladezeit$$

Die „Fahrzeit Zwischendeponie“ ist die Summe aus

$$Fahrzeit zur Zwischendeponie = \frac{Geschwindigkeit LHD voll \left[\frac{km}{h} \right] * 1000}{60} * Abstand Ortsbrust Deponie [min]$$

und

$$Fahrzeit von der Zwischendeponie = \frac{Geschwindigkeit LHD leer \left[\frac{km}{h} \right] * 1000}{60} * Abstand Ortsbrust Deponie [min]$$

Die Geschwindigkeiten des Ladegerätes werden als fixe Geschwindigkeiten eingegeben.

Für größere Querschnitte wird zuerst die Ladezeit je Mulde berechnet. Unter Annahme, dass der Wagenwechsel während eines Ladespiels

durchgeführt wird, wird die Ladezeit der Mulde in Minuten nach Girmscheid berechnet:

$$LadezeitjeMulde = \left(\frac{KapazitätMulde}{LadegerätSchaufelvolumen} - 1 \right) * Muldenwechselzeit$$

Unter Berücksichtigung des Auflockerungsfaktors wird die Anzahl der zu tätigen Muldenfahrten berechnet.

$$Muldenfahrten = \frac{AusbruchskubaturinklÜberprofil * Auflockerungsfaktor}{Inhalt der Mulde}$$

Die gesamte Ladezeit berechnet sich nun durch

$$Ladezeit = LadezeitjeMulde * Muldenfahrten$$

Eine Voraussetzung dieser Berechnung ist, dass genügend Mulden zur Verfügung stehen, damit der Ladevorgang maximal durch den Muldenwechsel unterbrochen wird.

6.4. Sichern

6.4.1. Anker

Die Einbauzeit für Anker setzt sich aus der Setzzeit, der Bohrzeit sowie der Umsetzzeit zusammen.

Mithilfe der Variablen Ankerlänge, Ankeranzahl und Setzzeit pro Ankermeter wird die Setzzeit berechnet.

$$Setzzeit = \frac{Einbauzeit}{lfm} * AnzahlAnker * LängeAnker$$

Die Bohrzeit an der Firste und an den Ulmen berechnet sich nach

$$BohrzeitFirsteUlme = \frac{AnzahlAnker * LängeAnker}{BruttobohrgeschwindigkeitAnkerloch}$$

Hierzu wird noch die Umsetzzeit der Lafetten gerechnet. Die Umsetzzeit pro Anker wird nach Kapitel 4.1.4 bestimmt.

$$Umsetzzeit = \frac{AnzahlAnker * UmsetzzeitproAnker}{AusnutzungBohrarmeAnkerloch * AnzahlBohrhämmer}$$

Die Bohrzeit an der Ortsbrust berechnet sich nach

$$BohrzeitOrtsbrust = \frac{AnzahlAnker * LängeAnker}{BruttobohrgeschwindigkeitSprengloch}$$

Hierzu wird noch die Umsetzzeit der Lafetten gerechnet. Die Umsetzzeit pro Anker wird nach Kapitel 4.1.4 bestimmt.

$$Umsetzzeit = \frac{AnzahlAnker * Umsetzzeit}{AusnutzungBohrarmeSprengloch * AnzahlBohrhämmer}$$

Für IBO – Anker werden nur die Setzzeit sowie die Umsetzzeit berechnet.

6.4.2. Baustahlgitter

Die Verlegezeit für Baustahlgitter wird über die Faktoren Fläche, Anzahl der zu verlegenden Lagen, Gewicht der Baustahlgittermatte pro m² sowie der Verlegeleistung in Kilogramm pro Minute berechnet.

$$Verlegezeit = Verlegefläche * AnzahlLagen * \frac{Gewicht}{Flächeneinheit} * Verlegeleistung$$

6.4.3. Bogen

Die Zeit zum Bogenstellen ist abhängig von der Anzahl der zu stellenden Bögen, des Umfanges sowie der Stellzeit pro Meter Bogen.

$$Bogenstellzeit = AnzahlBogen * AbwicklungFirste * Stellzeit$$

6.4.4. Spieße

Die Zeit welche für den Einbau von Spießen benötigt wird, wird analog der Einbauzeit von Ankern berechnet.

Die Bohrzeit berechnet sich nach

$$Bohrzeit = \frac{AnzahlSpieße * LängeSpieße}{Nettobohrgeschwindigkeit * Bohrhammer * AusnutzungBohrarmeSpieß}$$

Hierzu wird noch die Umsetzzeit der Lafetten gerechnet. Die Umsetzzeit pro Anker wird nach Kapitel 4.1.4 bestimmt.

$$Umsetzzeit = \frac{AnzahlAnker * Umsetzzeit}{AnzahlBohrhammer * AusnutzungBohrarmeSpieß}$$

Mithilfe der Faktoren Spießlänge, Spießanzahl und Einbau pro Spießmeter wird die Setzzeit berechnet.

$$Setzzeit = \frac{Einbauzeit}{l_{fm}} * AnzahlSpieße * LängeSpieße$$

Ausgenommen von den angegebenen Formeln sind IBO – Spieße, da hier abermals nur die Setzzeit und die Umsetzzeit berechnet wird.

6.4.5. Spritzbeton

Die Berechnung für die Spritzzeit wird, nachdem die erforderliche Menge Beton in m³ bestimmt ist, nach folgender Formel durchgeführt:

$$t_{SpC} = \frac{V_{SpC} * f_{R+Ü}}{P_{Düse} * n}$$

t_{SpC} ... Spritzzeit pro Düse und Laufmeter [h/m]

V_{SpC} ... Volumen Spritzbeton [m³]

$f_{R+Ü}$... Faktor für Rückprall und Überprofil (Erfahrungswert)

$P_{Düse}$... Leistung pro Düse m³/h

n ... Anzahl der Düsen

6.5. Zusatzleistungen

6.5.1. Ausbruch zusätzlicher Teilflächen

Die Zeit für den Ausbruch zusätzlicher Teilflächen wird als Fixzeit pro Teilfläche eingegeben und anschließend mit der Anzahl der Teilflächen multipliziert.

6.5.2. Kalottenfuß

Die Zeit, welche für einen zusätzlichen Kalottenfuß benötigt wird, ist abhängig von der Abschlagslänge, der Löseleistung sowie der zusätzlichen Ausbruchskubatur pro Tunnelmeter durch den Kalottenfuß und wird anteilmäßig dem Baggervortrieb berechnet.

$$AusbruchKalottenfuß = \frac{Abschlagslänge * Kalottenfuß \left[\frac{m^3}{lfm} \right]}{Löseleistung} * AnteilBaggervortrieb$$

$$SpritzzeitKalottenfuß = \frac{Ausbruchprolfm}{Spritzleistung} * GleichzeitigkeitSpC - BStG$$

Die Zeit für den Ausbruch wird nun mit der Zeit für das Ausspritzen summiert und ergibt die gesamte Einbauzeit für den Kalottenfuß.

6.5.3. Stützkern

Das Herstellen eines Stützkernes pro Abschlag setzt sich zusammen aus einer Fixzeit für die Herstellung des Stützkernes sowie einer zusätzlichen, Zeit welche zusätzliche Tätigkeiten, z.B. Ausrunden, wieder spiegelt.

$$Stützkern = AnzahlStützkern * (ZeitproStützkern + ZusätzlicheZeit)$$

6.5.4. Stauchelemente

Die Zeit, welche für den Einbau von Stauchelementen benötigt wird, ist abhängig von der Anzahl der Stauchelemente pro Abschlag. Diese wird mit der Summe aus Einbauzeit pro Stauchelement und zusätzli-

chen Zeiten, welche im Rahmen des Einbaues anfallen, z.B. Ausspritzen der Stauchelemente, multipliziert.

$$\text{Stauchelemente} = \text{AnzahlStauchelemente} * (\text{ZeitproStauchelement} + \text{ZusätzlicheZeit})$$

6.5.5. Sohlauffüllung

Die Zeit [min], welche für die Sohlauffüllung pro Abschlag benötigt wird, ist das Produkt aus der benötigten Zeit pro m³ und der Anzahl der erforderlichen m³.

$$\text{Sohlauffüllung} = \text{Zeit pro m}^3 \text{ Auffüllung} * \text{Anzahl der m}^3$$

6.6. Gesamtzeit Ausbruch

Die Gesamtzeit welche für den Ausbruch benötigt wird besteht aus folgenden Teilsummen:

- Bohren
- Besetzen
- Festzeiten Sprengen
- Rüstzeit Bagger
- Lösen im Baggervortrieb
- Schuttern
- Ausbruch Kalottenfuß
- Abbruch Kalottensohlgewölbe
- Abbruch Innenulme
- Ausbruch Drainagegräben
- Ausbruch zusätzlicher Teilflächen
- Herstellen des Stützkernes
- Sohlauffüllung der Kalottensohle
- Sohlauffüllung der Sohle
- Rampenumlegung anteilmäßig
- Vermessen

Grund für die separate Berechnung der Ausbruchzeit ist, dass auf die Ausbruchszeit anteilmäßig noch Erschwernisse aufgeschlagen werden. Die hier angeführten Tätigkeiten werden nur in den dafür bestimmten Ausbruchsbereichen (Kalotte, Strosse, Sohle) gerechnet.

6.7. Erschwernisse

Erschwernisse werden auf die Ausbruchzeit anteilmäßig aufgeschlagen. Grund dafür ist, dass Tätigkeiten der Kategorie Erschwernisse nicht in jedem Abschlag durchgeführt werden, jedoch den Ablauf des

Vortriebes verzögern. Unten stehende Erschwernisse wurden in die Berechnung aufgenommen:

$$\text{Inselbetrieb} = \text{Ausbruchzeit} * \text{Leistungsminderung Insel} [\%]$$

$$\text{Strosse Halbseitig} = \text{Ausbruchzeit} * \text{Leistungsminderung Strosse halbseitig} [\%]$$

$$\text{Sohle Brückenlösung} = \text{Ausbruchzeit} * \text{Leistungsminderung Sohle Brückenlösung} [\%]$$

$$\text{Sohle halbseitig} = \text{Ausbruchzeit} * \text{Leistungsminderung Sohle Halbseitig} [\%]$$

Das Umlegen der Strosse wird immer nach einer vorher festgelegten Anzahl von Tunnelmetern durchgeführt. Die Dauer wird vorher von einem erfahrenen Tunnelbauingenieur festgelegt und das gesamte Bauwerk über nicht mehr geändert. Das Umlegen der Strosse wird anteilmäßig auf jeden Tunnelmeter aufgerechnet.

Die Leistungsminderungen müssen ebenfalls vom Angebotsteam geschätzt werden.

6.8. Gesamtzeit Zyklus

Die Gesamtzeit eines Abschlagzyklus wird aus folgenden Teilsummen berechnet:

- Zeit für Bohren und Sprengen
- Zeit für Baggervortrieb
- Zeit zum Schuttern
- Zeit für den Einbau der Bewehrung
- Zeit für den Spritzbetonausbau
- Zeit für den Ankerausbau
- Zeit für Voraussicherung
- Zeit für Zusatzleistungen
- Zeit für Erschwernis
- Zeit für Vermessung

Um eine gute Übersicht über die zeitlichen Abläufe eines Zyklus zu erhalten, werden diese anschließend in einem Balkendiagramm dargestellt.

7. Praktische Beispiele

Um die in Kapitel 6 definierten Rechenschritte auf ihre Richtigkeit zu überprüfen, wurden die erstellten Formeln mit Werten aus der Literatur bzw. aus der Baupraxis geprüft. Die somit berechneten Vortriebsleistungen werden mit jenen des bereits fertiggestellten Tunnel „Roppen“ verglichen. Der Vergleich wird, sofern dies möglich ist, separat für Kalotte, Strosse und Sohle sowie für West- und Ostvortrieb durchgeführt. Die Berechnungsblätter befinden sich im Anhang 2 – Berechnungstabellen.

7.1. Kalotte

7.1.1. Vortrieb West

Um eine repräsentative Menge an Daten zu erhalten, wurden im Westvortrieb folgende 3 Vortriebsklassen ausgewählt:

- TU-K VKL F 3/1,20
- TU-K VKL F 5/2,15
- TU-K VKL L 7/12,48

Die Anzahl an Tagen, an denen ausschließlich mit diesen Vortriebsklassen gearbeitet wurde, ist Tabelle 7-1 zu entnehmen.

Vortriebsklasse	Tage
F 3/1,20	52
F 5/2,15	25
L 7/12,48	9

Tabelle 7-1: Arbeitstage je Vortriebsklasse im Vortrieb West

Die Parameter für die Berechnung stammen aus den Ausschreibungsunterlagen der ASFINAG. Diese sind in den folgenden Kapiteln angeführt.

Die produktive Arbeitszeit für die Berechnung der Vortriebsmeter pro Arbeitstag beträgt 24 Stunden.

7.1.1.1. Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20

Die für die Ermittlung der Zykluszeit den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Parameter sind in Tabelle 7-2 dargestellt.

Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20				Abschlagslänge: >2,2m - 3,0m		
				Überprofil ü_p: 35 cm		
				Übermaß ü_m: 5 cm		
				Bewertungsfläche: 45,97 m ²		
				Linie 1a: 17,175 m		
				Ausbruch Linie 2: 48,560 m ²		
Stützmittel pro Abschlag				Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl
BST-Gitter	AQ 50 bergseitig ohne Bogen 70%	51,53m ²	1 Lage	12,02 m ²	2,0	24,05
Spritzbeton	Kalotte 30%, 7 cm			0,36 m ³	20,0	7,21
	Kalotte 70%, 10 cm			1,20 m ³	20,0	24,05
Summe						55,30
Stützmittelzahl						1,20

Tabelle 7-2: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20 betrug 303,53 Minuten und entspricht 14,23 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.1.1.2. Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15

Die für die Ermittlung der Zykluszeit den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Parameter sind in Tabelle 7-3 dargestellt.

Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15				Abschlagslänge: >1,3m - 1,7m			
				Überprofil ü_p: 25cm			
				Übermaß ü_m: 10cm			
				Bewertungsfläche: 45,97 m ²			
				Linie 1a: 17,332m			
				Ausbruch Linie 2: 50,325 m ²			
Stützmittel pro Abschlag				%	Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl
Anker	gefalteter Rohrreißungsanker 100 kN	5,0 Stk.	à 3,9 m	100%	11,47 m	0,8	9,18
BST-Gitter	AQ 50 bergseitig mit Bogen	29,46m ²	1 Lage	100%	17,33 m ²	1,0	17,33
Tun. Bogen	Stahlgitterbogen 50/20/30	17,33m		100%	10,20 m	2,0	20,39
Spritzbeton	Kalotte	15cm			2,60 m ³	20,0	52,00
Summe							98,90
Stützmittelzahl							2,15

Tabelle 7-3: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15 betrug 261,01 Minuten. Dies entspricht 9,38 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.1.1.3. Vortriebsklasse TU-K VKL L 7/12,48

Die für die Ermittlung der Zykluszeit den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Parameter sind in Tabelle 7-4 dargestellt.

Vortriebsklasse TU-K VKL L 7/12,48				Abschlagslänge: >0,8m - 1,0m			
				Überprofil \bar{u}_p: 30cm			
				Übermaß \bar{u}_m: 15cm			
				Bewertungsfläche: 47,67m ²			
				Linie 1a: 17,798m			
				Ausbruch Linie 2: 53,922 m ²			
Stützmittel pro Abschlag				%	Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl
Anker	Selbstbohranker 250 kN	6 Stk.	á 6,0 m	100%	36,00 m	1,7	61,20
OB-Anker	Ortsbrustanker Selbst. 250 kN,	5 Stk./Absch.	á 12,0 m	100%	5,00 Stk./lfm	8,0	40,00
	Versetzen Ankerpl,OB-Anker o. Vorsp.	5 Stk./Absch.		100%	5,00 Stk./lfm	1,7	8,50
Spieße	Rammspieße	40 Stk.	á 4,0 m	100%	160,00 m	0,5	80,00
BST-Gitter	AQ 60 bergseitig mit Bogen	17,80 m ²		100%	17,80 m ²	1,0	17,80
	AQ 60 hohlraumseitig mit Bogen	17,80 m ²		100%	17,80 m ²	1,5	26,70
	AQ 50 Ortsbrustbewehrung, Zusatzbew.	53,92 m ²		100%	53,92 m ²	2,0	107,84
Bogen	Stahlgitterbogen 70/20/30	17,80 m		100%	17,80 m	2,0	35,60
Spritzbeton	Kalotte	20 cm		100%	3,56 m ³	20,0	71,19
	Ortsbrust	7 cm		30%	1,13 m ³	14,0	15,85
	Ortsbrust	10 cm		70%	3,77 m ³	14,0	52,84
	Auffüllen von Zwickel und Mehrausbruch	0,80 m ³		100%	0,80 m ³	14,0	11,20
Teilflächen		3 Stk.		100%	3,00 Stk.	22,0	66,00
Summe							594,72
Stützmitttelzahl							12,48

Tabelle 7-4: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL L 7/12,48

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Baggervortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-K VKL L 7/12,48 betrug 567,54 Minuten. Dies entspricht 2,54 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.1.2. Vortrieb Ost

Um eine repräsentative Menge an Daten zu erhalten, wurden im Westvortrieb folgende 3 Vortriebsklassen ausgewählt:

- TU-K VKL F 3/1,20
- TU-K VKL F 3/2,05
- TU-K VKL F 5/2,15

Die Anzahl an Tagen, an denen ausschließlich mit diesen Vortriebsklassen gearbeitet wurde, ist Tabelle 7-5 zu entnehmen.

Vortriebsklasse	Tage
F 3/1,20	56
F 3/2,05	57
F 5/2,15	27

Tabelle 7-5: Arbeitstage je Vortriebsklasse im Vortrieb Ost

Die Parameter für die Berechnung stammen aus den Ausschreibungsunterlagen der ASFiNAG. Diese sind in den folgenden Kapiteln angeführt.

Die produktive Arbeitszeit für die Berechnung der Vortriebsmeter pro Arbeitstag beträgt 24 Stunden.

7.1.2.1. Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20

Die für die Ermittlung der Zykluszeit den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Parameter sind in Tabelle 7-6 dargestellt.

Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20				Abschlagslänge: >2,2m - 3,0m			
				Überprofil ü_p: 35 cm			
				Übermaß ü_m: 5 cm			
				Bewertungsfläche: 45,97 m ²			
				Linie 1a: 17,175 m			
				Ausbruch Linie 2: 48,560 m ²			
Stützmittel pro Abschlag				Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl	
BST-Gitter	AQ 50 bergseitig ohne Bogen 70%	51,53m ²	1 Lage	12,02 m ²	2,0	24,05	
Spritzbeton	Kalotte 30%, 7 cm			0,36 m ³	20,0	7,21	
	Kalotte 70%, 10 cm			1,20 m ³	20,0	24,05	
Summe						55,30	
Stützmittelzahl						1,20	

Tabelle 7-6: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20 betrug 276,15 Minuten und entspricht 15,64 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.1.2.2. Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/2,05

Die für die Ermittlung der Zykluszeit den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Parameter sind in Tabelle 7-7 dargestellt.

Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/2,05				Abschlagslänge: >2,2m - 3,0m				
				Überprofil ü_p: 35cm				
				Übermaß ü_m: 5cm				
				Bewertungsfläche: 45,97m ²				
				Linie 1a: 17,175m				
				Ausbruch Linie 2: 49,439 m ²				
Stützmittel pro Abschlag				%	Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl	
Anker	gefalteter Rohrreibungsanker 100 kN	8 Stk.	á 3,90 m	100%	10,40 m	0,8	8,32	
BST-Gitter	AQ 50 bergseitig ohne Bogen	1 Lage	51,53m ³	100%	17,18 m ²	2,0	34,35	
Spritzbeton	Kalotte 15 cm			100%	2,58 m ³	20,0	51,53	
Summe							94,20	
Stützmittelzahl							2,05	

Tabelle 7-7: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/2,05

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/2,05 betrug 321,67 Minuten. Dies entspricht 13,43 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.1.2.3. Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15

Die für die Ermittlung der Zykluszeit den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Parameter sind in Tabelle 7-8 dargestellt.

Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15				Abschlagslänge: >1,3m - 1,7m			
				Überprofil ü _p : 25cm			
				Übermaß ü _m : 10cm			
				Bewertungsfläche: 45,97 m ²			
				Linie 1a: 17,332m			
Ausbruch Linie 2: 50,325 m ²							
Stützmittel pro Abschlag				%	Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl
Anker	gefalteter Rohrreibungsanker 100 kN	5,0 Stk.	á 3,9 m	100%	11,47 m	0,8	9,18
BST-Gitter	AQ 50 bergseitig mit Bogen	29,46m ²	1 Lage	100%	17,33 m ²	1,0	17,33
Tun. Bogen	Stahlgitterbogen 50/20/30	17,33m		100%	10,20 m	2,0	20,39
Spritzbeton	Kalotte	15cm			2,60 m ³	20,0	52,00
Summe							98,90
Stützmittelzahl							2,15

Tabelle 7-8: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15 betrug 244,15 Minuten. Dies entspricht 10,03 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.2. Strosse

7.2.1. Vortrieb West

Um eine repräsentative Menge an Daten zu erhalten, wurde im Westvortrieb neben den Zykluszeiten auch Systemzeiten von Strosse – Sohle - Kombinationen berechnet und anschließend miteinander verglichen.

Für die Berechnung wurden folgende Vortriebsklassen der Strosse ausgewählt:

- TU-St VKL F 1/0,52
- TU-St VKL F 1/1,27
- TU-St VKL F 3/1,60

Die Vortriebstage in der jeweiligen Vortriebsklasse können Tabelle 7-9 entnommen werden.

Vortriebsklasse	Tage
F 1/0,52	25
F 1/1,27	8

Tabelle 7-9: Arbeitstage in der jeweiligen Strossenklasse

Für die Berechnung der Strosse-Sohle-Kombination wurde folgende Kombination gewählt:

Strosse	Sohle	Anzahl Werte
TU-St VKL F 3/1,60	TU-S VKL F 3/3	13

Tabelle 7-10: Arbeitstage in der Kalotte Strosse Kombination

Die Parameter für die Berechnung stammen aus den Ausschreibungsunterlagen der ASFiNAG. Diese sind in den folgenden Kapiteln angeführt.

Die produktive Arbeitszeit für die Berechnung der Vortriebsmeter pro Arbeitstag beträgt 24 Stunden.

7.2.1.1. Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/0,52

Die für die Ermittlung der Zykluszeit den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Parameter sind in Tabelle 7-11 dargestellt.

Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/0,52				Abschlagslänge: >4,4m - 6,0m		
				Überprofil ü _p : 20 cm		
				Übermaß ü _m : 5 cm		
				Bewertungsfläche: 12,50 m ²		
				Linie 1a: 4,652 m		
				Ausbruch Linie 2: 25,261 m ²		
Stützmittel pro Abschlag				Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl
Spritzbeton	Strosse 100%, 7 cm			0,33 m ³	20,0	6,51
Summe						6,51
Stützmittelzahl						0,52

Tabelle 7-11: Parameter TU – St VKL F 1/0,52

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/0,52 betrug 197,83 Minuten. Dies entspricht 29,12 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.2.1.2. Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/1,27

Die für die Ermittlung der Zykluszeit den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Parameter sind in Tabelle 7-12 dargestellt.

Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/1,27				Abschlagslänge: >4,4m - 6,0m			
				Überprofil ü _p : 20cm			
				Übermaß ü _m : 5cm			
				Bewertungsfläche: 12,50m ²			
				Linie 1a: 4,652m			
				Ausbruch Linie 2: 25,261m ²			
Stützmittel pro Abschlag				%	Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl
BST-Gitter	AQ 50 bergseitig ohne Bogen	27,91 m ²	1 Lage	100%	4,65 m ²	2,0	9,30
Spritzbeton	Kalotte und Strosse	7 cm		100%	0,33 m ³	20,0	6,51
Summe							15,82
Stützmittelzahl							1,27

Tabelle 7-12: Parameter TU - St VKL F 1/1,27

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/0,52 betrug 214,47 Minuten. Dies entspricht 26,86 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.2.1.3. Vortriebsklasse TU-St VKL F 3/1,60

Die für die Ermittlung der Zykluszeit den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Parameter sind in Tabelle 7-13 dargestellt.

Vortriebsklasse TU-St VKL F 3/1,60				Abschlagslänge: >2,6m - 3,4m			
				Überprofil \bar{u}_p : 15cm			
				Übermaß \bar{u}_m : 5cm			
				Bewertungsfläche: 12,50 m ²			
				Linie 1a: 4,652m			
				Ausbruch Linie 2: 25,633 m ²			
Stützmittel pro Abschlag				%	Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl
BST-Gitter	AQ50 bergseitig mit Bogen	15,82 m ²	1 Lage	100%	4,65 m	1,0	4,65
Tun. Bogen	Stahlgitterbogen 50/20/30	4,65 m ²		100%	1,37 m ²	1,0	1,37
Spritzbeton	Kalotte und Strosse	15 cm		100%	0,70 m ³	20,0	13,96
Summe							19,98
Stützmittelzahl							1,60

Tabelle 7-13: Parameter TU – St VKL F 3/1,60

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-St VKL F 3/1,60 betrug 205,46 Minuten. Dies entspricht 23,83 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.2.2. Vortrieb Ost

Um eine repräsentative Menge an Daten zu erhalten wurden im Ostvortrieb folgende 3 Vortriebsklassen ausgewählt:

- TU-St VKL F 1/0,52
- TU-St VKL F 1/1,27
- TU-St VKL F 3/1,60

Die Anzahl an Tagen, an denen ausschließlich mit diesen Vortriebsklassen gearbeitet wurde, ist Tabelle 7-14 zu entnehmen.

Vortriebsklasse	Tage
F 1/0,52	21
F 1/1,27	16
F 3/1,60	7

Tabelle 7-14: Arbeitstage je Vortriebsklasse im Vortrieb Ost

Die Parameter für die Berechnung stammen aus den Ausschreibungsunterlagen der ASFiNAG. Diese sind in den folgenden Kapiteln angeführt.

Die produktive Arbeitszeit für die Berechnung der Vortriebsmeter pro Arbeitstag beträgt 24 Stunden.

7.2.2.1. Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/0,52

Die in Tabelle 7-15 dargestellten Parameter wurden aus den Ausschreibungsunterlagen übernommen.

Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/0,52				Abschlagslänge: >4,4m - 6,0m			
				Überprofil ü_p: 20 cm			
				Übermaß ü_m: 5 cm			
				Bewertungsfläche: 12,50 m ²			
				Linie 1a: 4,652 m			
				Ausbruch Linie 2: 25,261 m ²			
Stützmittel pro Abschlag				Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl	
Spritzbeton	Strosse 100%, 7 cm			0,33 m ³	20,0	6,51	
Summe						6,51	
Stützmittelzahl						0,52	

Tabelle 7-15: Parameter TU – St VKL F 1/0,52

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/0,52 betrug 177,82 Minuten. Dies entspricht 32,39 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.2.2.2. Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/1,27

Die in Tabelle 7-16 dargestellten Parameter wurden aus den Ausschreibungsunterlagen übernommen.

Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/1,27				Abschlagslänge: >4,4m - 6,0m			
				Überprofil ü_p: 20cm			
				Übermaß ü_m: 5cm			
				Bewertungsfläche: 12,50m ²			
				Linie 1a: 4,652m			
				Ausbruch Linie 2: 25,261m ²			
Stützmittel pro Abschlag				%	Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl
BST-Gitter	AQ 50 bergseitig ohne Bogen	27,91 m ²	1 Lage	100%	4,65 m ²	2,0	9,30
Spritzbeton	Kalotte und Strosse	7 cm		100%	0,33 m ³	20,0	6,51
Summe						15,82	
Stützmittelzahl						1,27	

Tabelle 7-16: Parameter TU – St VKL F 1/1,27

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-St VKL F 1/1,27 betrug 191,57 Minuten. Dies entspricht 30,07 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.2.2.3. Vortriebsklasse TU-St VKL F 3/1,60

Die in Tabelle 7-17 dargestellten Parameter wurden aus den Ausschreibungsunterlagen übernommen.

Vortriebsklasse TU-St VKL F 3/1,60				Abschlagslänge: >2,6m - 3,4m			
				Überprofil ü_p: 15cm			
				Übermaß ü_m: 5cm			
				Bewertungsfläche: 12,50 m ²			
				Linie 1a: 4,652m			
				Ausbruch Linie 2: 25,633 m ²			
Stützmittel pro Abschlag				%	Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl
BST-Gitter	AQ50 bergseitig mit Bogen	15,82 m ²	1 Lage	100%	4,65 m	1,0	4,65
Tun. Bogen	Stahlgitterbogen 50/20/30	4,65 m ²		100%	1,37 m ²	1,0	1,37
Spritzbeton	Kalotte und Strosse	15 cm		100%	0,70 m ³	20,0	13,96
Summe							19,98
Stützmittelzahl							1,60

Tabelle 7-17: Parameter TU – St VKL F 3/1,60

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-St VKL F 3/1,60 betrug 206,64 Minuten. Dies entspricht 27,87 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.3. Sohle

Die Vortriebsleistung der Sohle wurde für folgende ausgewählte Vortriebsklasse berechnet und für den Gesamtleistungsvergleich herangezogen:

- TU-S VKL F 3/3

Die Vortriebsklasse wurde an 13 Tagen allein vorgetrieben.

Die benötigten Parameter wurden aus den Ausschreibungsunterlagen übernommen.

Vortriebsklasse TU-S VKL F 3/3				Abschlagslänge: < 24,00m			
				Überprofil ü_p: 20cm			
				Übermaß ü_m: 0cm			
				Bewertungsfläche: 53,76 m ²			
				Linie 1a: 11,468 m			
				Ausbruch Linie 2: 14,037 m ²			
				Menge/lfm	Bew.-Fakt.	Teilzahl	
Stützmittel pro Abschlag				%			
BST-Gitter	AQ 50 bergseitig	11,47m ²	1 Lage	100%	14,47 m ²	-	-
Spritzbeton	Sohle	15 cm		100%	1,72 m ³	-	-

Tabelle 7-18: Parameter TU-S VKL F 3/3

Die Vortriebsklasse wurde als reiner Sprengvortrieb durchgeführt. Die berechnete Zykluszeit für die Vortriebsklasse TU-S VKL F 3/3 beträgt 265,8 Minuten. Dies entspricht 21,67 Vortriebsmetern pro Arbeitstag.

7.4. Vergleich

Im Kapitel 7.4 werden nun die in den Kapitel 7.1, 7.2 und 7.3 ermittelten Zykluszeiten mit den real erreichten Zykluszeiten, in der Tabelle unter „Ist“ Wert ersichtlich, verglichen. Des Weiteren wird ein direkter Vergleich der bisherigen Rechenergebnisse, in den Tabellen

unter „Bisher“ Wert angeführt, mit den aus der Diplomarbeit hervorgegangenen Ergebnisse verglichen.

7.4.1. Kalotte West

Die Werte, welche für den Kalottenvortrieb West berechnet wurden, werden in Tabelle 7-19 mit den bisher berechneten sowie den tatsächlich erreichten Werten verglichen. Diese sind Durchschnittswerte von Tagen, an denen 24 Stunden in dieser Klasse vorgetrieben wurde. Die realen Werte stammen aus der Tagesleistungsmeldung.

Vortriebsklasse	Tagesleistung in Vortriebsmetern [m/d]						
	Ist	Bisher	+/-		DA Pankratz	+/-	
F 3/1,20	15,16	16,22	-1,06	93%	14,23	0,92	106%
F 5/2,15	9,88	9,34	0,54	106%	9,38	0,50	105%
L 7/12,48	2,44	3,21	-0,77	76%	2,54	-0,09	96%

Tabelle 7-19: Tagesleistungsvergleich Kalotte West

Aus Tabelle 7-19 lässt sich nun eine deutliche Genauigkeitssteigerung vor allem in schwierigen Klassen herauslesen.

7.4.2. Kalotte Ost

Für den Ostvortrieb werden die berechneten Werte mit den tatsächlich erreichten Werten in Tabelle 7-20 verglichen. Diese sind ebenfalls als Durchschnittswerte zu verstehen. Auch hier wurden nur Werte verwendet, an denen in 24 Stunden in der gleichen Klasse vorgetrieben wurde. Vorausschickend muss gesagt werden, dass im Ostvortrieb ein 3 armiger Bohrwagen verwendet wurde. Dies wurde bereits in der Berechnung der Diplomarbeit berücksichtigt. Daraus resultieren unterschiedliche Vortriebswerte im Vergleich mit den gleichen Vortriebsklassen aus dem Westvortrieb.

Vortriebsklasse	Tagesleistung in Vortriebsmetern [m/d]						
	Ist	Bisher	+/-		DA Pankratz	+/-	
F 3/1,20	16,88	16,22	0,66	104%	15,64	1,24	108%
F 3/2,05	12,80	12,43	0,37	103%	13,43	-0,63	95%
F 5/2,15	8,80	9,34	-0,54	94%	10,03	-1,23	88%

Tabelle 7-20: Tagesleistungsvergleich Kalotte Ost

Hier konnte keine Ergebnisverbesserung, sondern eine Verschlechterung der Ergebnisgenauigkeit festgestellt werden. Grund dafür könnte eine zu hohe Bewertung der Bohrgeschwindigkeit durch den dritten Bohrarm sein.

7.4.3. Strosse West

Für den Westvortrieb werden die berechneten Werte mit den realistisch erreichten Werten in Tabelle 7-21 verglichen. Diese sind ebenfalls als Durchschnittswerte zu verstehen. Auch hier wurden nur Werte verwendet, an denen in 24 Stunden in der gleichen Klasse vorgerieben wurde.

Vortriebsklasse	Tagesleistung in Vortriebsmetern [m/d]						
	Ist	Bisher	+/-		DA Pankratz	+/-	
F 1/0,52	33,95	25,85	8,10	131%	29,12	4,83	117%
F 3/1,6	27,20	22,89	4,31	119%	23,83	3,37	114%
L 7/8,12	9,40	11,53	-2,13	81%	9,40	0,00	100%

Tabelle 7-21: Tagesleistungsvergleich Strosse West

7.4.4. Strosse Ost

Für den Ostvortrieb werden die berechneten Werte mit den realistisch erreichten Werten in Tabelle 7-22 verglichen. Diese sind ebenfalls als Durchschnittswerte zu verstehen. Auch hier wurden nur Werte verwendet, an denen in 24 Stunden in der gleichen Klasse vorgetrieben wurde.

Vortriebsklasse	Tagesleistung in Vortriebsmetern [m/d]						
	Ist	Bisher	+/-		DA Pankratz	+/-	
F 1/0,52	43,01	25,85	17,16	166%	32,39	10,62	133%
F 1/1,27	43,11	25,63	17,48	168%	30,07	13,05	143%
F 3/1,60	37,86	22,89	14,97	165%	27,87	9,98	136%

Tabelle 7-22: Tagesleistungsvergleich Strosse Ost

7.4.5. Sohle

Für den Vergleich der Herstellzeiten für die Sohle, wurde nur der Westvortrieb gewählt, da nur hier ausreichend und daher repräsentative Werte vorhanden waren.

Der Vergleich der Sohle konnte jedoch nicht direkt durchgeführt werden, da von Vortriebsmeter 202,30 bis Vortriebsmeter 312,75 sowohl Strosse als auch Sohle gleichzeitig vom Schichtdrittel vorgetrieben wurden. Um die Systemvortriebsleistung zu ermitteln, wurde folgende Berechnungsformel angewendet:

$$TL = \frac{1}{\frac{1}{TL_{Strosse}} + \frac{1}{TL_{Sohle}}}$$

TL	...	Tagesleistung	[m]
TL _{Strosse}	...	Tagesleistung in der Strosse	[m]
TL _{Sohle}	...	Tagesleistung in der Sohle	[m]

Für die Berechnung der Tagesleistung in der Strosse wurde die Vortriebsklasse TU-St F 5/2,15 verwendet, da diese zugleich mit der Sohle vorgetrieben wurde.

Durch die oben genannten Bedingungen ergeben sich die in Tabelle 7-23 angegebenen Vortriebsleistungen.

Vortriebsklasse	Tagesleistung in Vortriebsmetern [m/d]						
	Ist	Bisher	+/-		DA Pankratz	+/-	
F 3/3	4,45	12,87	-8,42	35%	11,35	-6,90	39%

Tabelle 7-23: Tagesleistungsvergleich Sohle West

8. Literaturverzeichnis

2203-1, ÖNORM B. 2001. ÖNORM B2203-1. Wien, Österreich : Österreichisches Normungsinstitut, 01. 12 2001.

Atlas Copco. 2010. *Boomer XE3 C.* 2010.

Bauforum 24. Bauforum 24. *Bauforum 24.* [Online] [Zitat vom: 17. 09 2012.]
<http://forum.bauforum24.biz/forum/index.php?act=Attach&type=post&id=2392 &imagelayer=.jpg>.

Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau. 1985. *Handbuch BML: Daten für d. Berechnung von Baumaschinen-Leistungen, Band 1.* s.l. : ztv-Verlag, 1985.

Cat, Zeppelin. Katalog 2006/2007.

dibit. 2012. *Vortriebssteuerung mit Motorlasersystem.* 2012.

Galler, Robert. 2007. Skriptum Bauvertrag und Baubetrieb. Leoben : s.n., 2007.

—. **2006.** Skriptum Planung und Durchführung von Untertagebauwerken. Leoben : s.n., 2006.

Geomechanik, Österreichische Gesellschaft für. 2010. *NATM - The Austrian Practice of Conventional Tunneling.* Salzburg : s.n., 2010.

Geotechnik, Deutsche Gesellschaft für. 1994. *Empfehlungen des Arbeitsausschusses Tunnelbau.* Aachen : Ernst & Sohn, 1994. ISBN 3-433-01291-1.

Girmscheid, Gerhard. 2008. *Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau.* Berlin : Ernst & Sohn, 2008. ISBN 978-3-433-01852-1.

—. **2000.** *Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau.* Berlin : Ernst & Sohn, 2000. ISBN 978-3433013502.

—. **2002.** Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau - Industrialisierungstendenz im Sprengvortrieb. *Bauingenieur.* Juni 2002, Bd. 77.

—. **2002.** *Leistungsermittlung für Baumaschinen und Bauprozesse.* Zürich : Springer, 2002. ISBN 3-540-44103-4.

HOCHTIEF-ODEN-TUNNELLING. 2012. Joint Venture HOCHTIEF-ODEN-TUNNELLING. *Joint Venture HOCHTIEF-ODEN-TUNNELLING.* [Online] 2012. [Zitat vom: 04. 05 2012.]
http://jvhot.se/img/nl35_blastcircle.jpg.

Höfler, Jürgen und Schlumpf, Jürg. 2004. *Shotcrete Handbook alemán.* Aichtal : Putzmeister, 2004.

- Hüster, Felix. 2003.** *Leistungsberechnung der Baumaschinen.* Aachen : Shaker Verlag, 2003. ISBN 3-8322-2028-3.
- Kurosch, Thuro. 1995.** *Geologisch-felsmechanische Untersuchungen zur Bohrbarkeit von Festgesteinen beim konventionellen Bohr- und Sprengvortrieb anhand ausgewählter Tunnelprojekte.* München : s.n., 1995.
- Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau. Übung Sprengvortrieb.** München : s.n.
- Lopez Jimeno, Carlos, Lopez Jimeno, Emilio und Ayala Carcedo, Francisco Javier. 1995.** *Drilling and blasting of rocks.* Rotterdam : International Society of Explosive Engineers, 1995. ISBN 90 5410 199 7.
- Maidl, Bernhard. 2004.** *Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus Band I: Konstruktion und Verfahren.* Bochum : Glückauf GmbH, 2004. Bd. I. ISBN 3-7739-1331-1.
- Maidl, Bernhard, et al. 1997.** *Tunnelbau im Sprengvortrieb.* Bochum : Springer Verlag, 1997. ISBN 3-540-62556-9.
- Monster Haus.** Monster Haus. [Online] [Zitat vom: 22. 06 2012.] http://www.monsterhaus.at/_data/container/container_29/Bild.223_2.jpg.
- Moser, Peter. 2004.** Skriptum Bergtechnische Grundverfahren. Leoben : s.n., 2004.
- Plinninger, Ralf J. und Thuro, Kurosch. 2006.** *Geologisch-geotechnische Grundlagen der Gebirgslösung.* [PDF] 2006.
- Siding, Heinz. 1987.** *Tunnelbau in der Praxis.* Linz : Druck und Verlagsanstalt Gutenberg, 1987.
- Stahlbetonbewehrung, Institut für. 2012.** *Neues Lagermattenprogram ab 01.08.2008.* 28. 05 2012.
- Weinhardt, Sigrid. 2005.** *Leistungs- und Kostenanalysen unterschiedlicher Gerätekonzepte am Beispiel des Bauabschnittes U2/2 Taborstrasse.* Leoben : s.n., 2005.

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Arten von Bohrlöchern im Tunnelbau (Maidl, et al., 1997 S. 27).....	5
Tabelle 4-1: Die Grundpenetration in Abhängigkeit von der Gesteinsart und einaxialen Druckfestigkeit (Girmscheid, 2002 S. 166)	20
Tabelle 4-2: Zahnzustandsfaktor f_4 (Girmscheid, 2002 S. 235)	20
Tabelle 4-3: Verfügbarkeits-/Gerätezustandsfaktor (Girmscheid, 2002 S. 236)	21
Tabelle 4-4: Bedienungsfaktoren (Girmscheid, 2002 S. 227)	21
Tabelle 4-5: Betriebsbedingungen (Girmscheid, 2002 S. 228).....	21
Tabelle 4-6: Nettobohrleistung (Galler, 2007).....	24
Tabelle 4-7: Werte für den Parameter a (Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau S. 5.13)	25
Tabelle 4-8: Auflockerungsfaktor f_A (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.44).....	27
Tabelle 4-9: Füllungsfaktor f_F (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.45)	28
Tabelle 4-10: Zahnzustandsfaktor f_4 (Girmscheid, 2002 S. 235)	29
Tabelle 4-11: Geräteausnutzungsgrad (Girmscheid, 2002 S. 237) ..	30
Tabelle 4-12: Geräteausnutzung nach Maidl [7]	30
Tabelle 4-13: Hilfstabelle zur Ermittlung der Basis-Ladesspielzeit (Moser, 2004).....	31
Tabelle 4-14: Hilfstabelle zur Ermittlung des Faktors „Material“ (Moser, 2004).....	31
Tabelle 4-15: Hilfstabelle zur Ermittlung des Faktors „Verschiedenes“ (Moser, 2004).....	31
Tabelle 4-16: Hilfstabelle zur Ermittlung des Faktors „Ladefäßfüllfaktor“ (Moser, 2004)	32
Tabelle 4-17: Grundspielzeiten in Sekunden des Radladers (Hüster, 2003 S. 54).....	32
Tabelle 4-18: Änderungen der Spielzeit (Girmscheid, 2002 S. 60) ..	33
Tabelle 4-19: Ablaufbedingte Unterbrechungen infolge Fahrzeugwechsel (Hüster, 2003 S. 44).....	34
Tabelle 4-20: Zuschlagsfaktor Z (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.46).....	34
Tabelle 4-21: Ladespiele pro Stunde nach Maidl (Maidl, 2004 S. 247)	35
Tabelle 4-22: Optimale Wandhöhen (Girmscheid, 2002 S. 229)	46

Tabelle 4-23: Zuschlag für den Schwenkwinkel (Hüster, 2003 S. 45)	48
Tabelle 4-24: Zuschlag auf die Spielzeit durch ungünstige Grabhöhe und -tiefe (Hüster, 2003 S. 45)	48
Tabelle 4-25: Einfluss des Entleerens (Hüster, 2003 S. 46)	49
Tabelle 4-26: Richtwerte der Entladezeit	51
Tabelle 4-27: Wagenwechselzeiten t_w	51
Tabelle 4-28: Abminderungsfaktoren bezogen auf die Fahrstrecke..	53
Tabelle 4-29: Geschwindigkeitskorrekturfaktor k_G	54
Tabelle 4-30: Ankersetzzeiten	55
Tabelle 4-31: Ankersetzzeiten nach Siding	55
Tabelle 4-32: Setzzeiten für Ausbaubögen	55
Tabelle 4-33: Rückprall beim Spritzbeton	56
Tabelle 4-34: Spritzbetonleistung nach Siding	57
Tabelle 4-35: Einbauzeit von Baustahlgitter	57
Tabelle 4-36: Einbauzeiten von Baustahlgitter nach Siding	57
Tabelle 4-37: Einbauzeiten von Baustahlgitter nach Maidl	58
Tabelle 4-38: Einbauzeiten von Baustahlgitter nach Girmscheid	58
Tabelle 4-39: Einbauzeiten für Spieße	58
Tabelle 4-40: Rüst- und Festzeiten	60
Tabelle 7-1: Arbeitstage je Vortriebsklasse im Vortrieb West	72
Tabelle 7-2: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20	73
Tabelle 7-3: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15	73
Tabelle 7-4: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL L 7/12,48	74
Tabelle 7-5: Arbeitstage je Vortriebsklasse im Vortrieb Ost	74
Tabelle 7-6: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/1,20	75
Tabelle 7-7: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 3/2,05	75
Tabelle 7-8: Parameter Vortriebsklasse TU-K VKL F 5/2,15	76
Tabelle 7-9: Arbeitstage in der jeweiligen Strossenklasse	76
Tabelle 7-10: Arbeitstage in der Kalotte Strosse Kombination	76
Tabelle 7-11: Parameter TU – St VKL F 1/0,52	77
Tabelle 7-12: Parameter TU - St VKL F 1/1,27	77
Tabelle 7-13: Parameter TU – St VKL F 3/1,60	78
Tabelle 7-14: Arbeitstage je Vortriebsklasse im Vortrieb Ost	78
Tabelle 7-15: Parameter TU – St VKL F 1/0,52	79
Tabelle 7-16: Parameter TU – St VKL F 1/1,27	79
Tabelle 7-17: Parameter TU – St VKL F 3/1,60	80
Tabelle 7-18: Parameter TU-S VKL F 3/3	80
Tabelle 7-19: Tagesleistungsvergleich Kalotte West	81

Tabelle 7-20: Tagesleistungsvergleich Kalotte Ost	81
Tabelle 7-21: Tagesleistungsvergleich Strosse West	82
Tabelle 7-22: Tagesleistungsvergleich Strosse Ost	82
Tabelle 7-23: Tagesleistungsvergleich Sohle West	83
Tabelle 12-1: Spritzleistungen in m ³ /h lt. Herstellerangaben	92

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Der zyklische Vortrieb (HOCHTIEF-ODEN-TUNNELLING, 2012)	5
Abbildung 3-2: Wirkungsbereich eines modernen Bohrwagens (Copco, 2010)	6
Abbildung 3-3: Schlagpatrone (Maidl, et al., 1997 S. 80)	8
Abbildung 3-4: Tunnelvortriebsbagger Terex - Schaeff ITC 120 () ..	10
Abbildung 3-5: Baustahlgitter ().....	15
Abbildung 4-1: Bohrgeschwindigkeit und einaxiale Druckfestigkeit (Kuroschi, 1995 S. 139).....	23
Abbildung 4-2: Spezifischer Sprengstoffverbrauch und einaxiale Druckfestigkeit (Plinninger, et al., 2006 S. 11).....	26
Abbildung 4-3: Der Lösefaktor einzelner Bodenarten (Girmscheid, 2002 S. 221)	27
Abbildung 4-4: Auflockerungsfaktor nach Maidl (Maidl, 2004 S. 248)	27
Abbildung 4-5: Füllfaktor für Hochlöffel und Ladeschaufeln (Girmscheid, 2002 S. 225)	28
Abbildung 4-6: Füllfaktor nach Maidl (Maidl, 2004 S. 248).....	28
Abbildung 4-7: Entleerungsgenauigkeitsfaktor (Girmscheid, 2002 S. 234)	29
Abbildung 4-8: Füll- und Entleerzeiten für Böden der Klasse 3 nach DIN 18300 (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.47)	36
Abbildung 4-9: Füll- und Entleerzeiten für Böden der Klassen 4 und 5 nach DIN 18300 (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.48)	37
Abbildung 4-10: Füll- und Entleerzeiten für Böden der Klassen 6 und 7 nach DIN 18300 (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.49)	38
Abbildung 4-11: Gesamtfahrzeit (Bundesausschuss Leistungslohn Bau, Fachgruppe Erdbau, 1985 S. 3.50).....	39
Abbildung 4-12: Nutzleistung eines Radladers (Hüster, 2003 S. 152)	42
Abbildung 4-13: Gesamtfahrzeit Radlader (Hüster, 2003 S. 57)	44
Abbildung 4-14: Nutzleistung in Abhängigkeit von der Transportentfernung (Hüster, 2003 S. 152).....	44
Abbildung 4-15: Spielzeit eines Hydraulikbaggers (Girmscheid, 2002 S. 53).....	45

Abbildung 4-16: Spielzeit eines Tieflöffels (Girmscheid, 2002 S. 56) 45
Abbildung 4-17: Spielzeit eines Hochlöffels (Girmscheid, 2002 S. 57)
..... 46
Abbildung 4-18: Verhältnis tatsächlicher Wandhöhe zu optimaler
Wandhöhe (Girmscheid, 2002 S. 229) 47
Abbildung 4-19: Einflussfaktor Schwenkwinkel (Girmscheid, 2002 S.
231) 47
Abbildung 4-20: Füllfaktor Tieflöffel (Girmscheid, 2002 S. 224)..... 48
Abbildung 4-21: Felgenzug-Geschwindigkeitsdiagramm CAT 769D
(Cat) 53
Abbildung 5-1: Zykluszeitdiagramm mit Gleichzeitigkeitsfaktor 1
Anker zu Spieße 61
Abbildung 5-2: Zykluszeitdiagramm mit Gleichzeitigkeitsfaktor 0
Anker zu Spieße 62

11. Abkürzungsverzeichnis

ASFiNAG ... Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktien-
gesellschaft

SAE ... Society of Automotive Engineers

TSM ... Teilschnittmaschine

12. Anhang 1

Rohrdurchmesser	Aliva 237	Aliva 246.5	Aliva 252.1	Aliva 257	Aliva 263	Aliva 267	Aliva 285	Aliva 285.1	Aliva 505	Meyco Altera	Meyco Cobra	Meyco Piccola		Meyco Roadrunner	Meyco Poca	Meyco Suprema	Sika PM 500	
Spritzverfahren	Trocken	Trocken	Trocken	Trocken und Nass	Trocken und Nass		Trocken und Nass		Trocken und Nass									
25mm												0,6	0,3					
32mm	0,4	0,4										0,6/1,5	0,3/1					
32/40												2,1/2,7	1,5/2,0					
38mm	1,1	1,1		0,7-2														
	2	2																
	3,2																	
38/50mm				1,9-5,0														
40/50												2,2/2,9	1,6/2,1					
50mm		3,2	5									2,9/3,7	2,1/2,7					
50/60/65mm				3,6-9,6														
60mm			8					8,0-11				Rechter Wert ist die praktische Leistung aufgrund von Erfahrungswerten						
65mm							12,0-15											
80mm							16,0-19											
>80 mm							>19,0											
variabel					4,0 - 15,0	4,0 - 21,0	8,0 - 21		8,0 - 20,0	1,0 - 6,0	-20			-30	3,0 - 14,0	75 bar	-20	-30
															6,0 - 20,0	50 bar		

Tabelle 12-1: Spritzleistungen in m³/h lt. Herstellerangaben

13. Anhang 2 – Berechnungstabellen

13.1. Berechnungstabellen Vortrieb West

13.1.1. Kalotte

Bezeichnung	TU-K VKL F 3 1,20		Zykluszeit	303,53 min
Abschlagslänge	3,00 m		Abschläge/AT	4,74
Überprofil	35 cm		Vortriebsmeter/Arbeitstag	14,23 m
Abwicklung Kalotte (Linie 1a)	17,175 m			
Ausbruch Linie 2	48,560 m ²			
Abwicklung Sohle	10,800 m		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Sprengvortrieb	100%			
Baggervortrieb	0%			
Bohren und Sprengen				138,91 min
Kranzlöcher Kalotte	43,00 Stk		Bohren	103,91 min
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	31,67 min
Innenlöcher	37,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min
Baggervortrieb	Rüstzeit Bagger	0,00 min	Lösen	0,00 min
	Kalottenfuß	0,00 min		0,00 min
Schuttern	Zwischendeponie	0,00 min	Enddeponie	70,72 min
				70,72 min
Bewehrung	Typ	Lagen		26,66 min
Kalotte	AQ 50	1 x	70%	26,66 min
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min
Sohle		0 x	100%	0,00 min
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min
Bogen		Anzahl / Abschlag	0 x	0,00 min
Spritzbeton				46,08 min
Kalotte	7 cm	30%		9,64 min
	10 cm	70%		26,45 min
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min
Kalottenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min
Anker		Kalotte	Ortsbrust	0,00 min
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
Spiesse/Rohrschirm	Anzahl	Länge	Rohrschirm	0,00 min
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm	
Zusatzleistungen	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m	0,00 min
	0,00 Stk	0	0	
	0,00 Stk	0	0	
Zusatzzeiten für Erschwernisse				6,16 min
Leistungsmind. Sohle halbseitig	1	2,5%		
	0	0,0%		
	0	0,0%		
Vermessung			1 x	15,00 min

Activity	Start (min)	End (min)	Duration (min)
Bohren	0	103,91	103,91
Besetzen	103,91	135,58	31,67
Festzeiten Sprengen	135,58	160,58	25,00
Baggervortrieb	160,58	160,58	0,00
Schuttern	160,58	231,30	70,72
Baustahlgitter	231,30	257,96	26,66
Bogen	257,96	257,96	0,00
Spritzbeton	257,96	304,04	46,08
Anker	304,04	304,04	0,00
Spiesse	304,04	304,04	0,00
Zusatzleistungen	304,04	304,04	0,00
Erschwernisse	304,04	310,20	6,16
Vermessung	310,20	325,20	15,00

Anhang 2 – Berechnungstabellen

Bezeichnung	TU-K VKL F 5 2,15		Zykluszeit	261,01 min
Abschlagslänge	1,70 m		Abschläge/AT	5,52
Überprofil	25 cm		Vortriebsmeter/Arbeitsstag	9,38 m
Abwicklung Kalotte (Linie 1a)	17,332 m			
Ausbruch Linie 2	50,325 m ²			
Abwicklung Sohle	10,800 m		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Sprengvortrieb	100%			
Baggervortrieb	0%			
Bohren und Sprengen				101,69 min
Kranzlöcher Kalotte	44,00 Stk		Bohren	66,69 min
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	32,33 min
Innenlöcher	38,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min
Baggervortrieb				
Rüstzeit Bagger	0,00 min		Lösen	0,00 min
Kalottenfuß	0,00 min			0,00 min
Schuttern				
Zwischendeponie	0,00 min		Enddeponie	40,14 min
				40,14 min
Bewehrung				10,89 min
	Typ	Lagen		
Kalotte	AQ 50	1 x	100%	10,89 min
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min
Sohle		0 x	100%	0,00 min
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min
Bogen				36,40 min
		Anzahl / Abschlag	1 x	
Spritzbeton				37,01 min
Kalotte	15 cm	100%		27,01 min
	0 cm	0%		0,00 min
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min
Kalottenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min
Anker				15,41 min
	Kalotte		Ortsbrust	
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
Swellex (Rohrreibungsanker)	5,00 Stk	3,90 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
Spieße/Rohrschirm				0,00 min
	Anzahl	Länge	Rohrschirm	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm	
Zusatzleistungen				0,00 min
	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m	
	0,00 Stk	0	0	
	0,00 Stk	0	0	
Zusatzzeiten für Erschwernisse				4,48 min
Leistungsmind. Strosse halbseitig	1	2,5%		
	0	0,0%		
	0	0,0%		
Vermessung				15,00 min
			1 x	

Task	Duration (min)
Bohren	66,69
Besetzen	32,33
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Schuttern	40,14
Baustahlgitter	10,89
Bogen	36,40
Spritzbeton	37,01
Anker	15,41
Spieße	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Erschwernisse	4,48
Vermessung	15,00

Anhang 2 – Berechnungstabellen

Bezeichnung	TU-K VKL F 7 12,48			Zykluszeit	567,54 min
Abschlagslänge	1,00 m			Abschläge/AT	2,54
Überprofil	30 cm				
Abwicklung Kalotte (Linie 1a)	17,980 m		Vortriebsmeter/Arbeitsstag		
Ausbruch Linie 2	53,922 m ²			Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Abwicklung Sohle	10,800 m				
Sprengvortrieb	0%				
Baggervortrieb	100%				
Bohren und Sprengen					0,00 min
Kranzlöcher Kalotte	0,00 Stk		Bohren	0,00 min	
Kranzlöcher Sohle	0,00 Stk		Besetzen	0,00 min	
Innenlöcher	0,00 Stk		Festzeiten Sprengen	0,00 min	
Baggervortrieb	Rüstzeit Bagger	10,00 min	Lösen	118,63 min	128,63 min
	Kalottenfuß	0,00 min			
Schuttern	Zwischendeponie	0,00 min	Enddeponie	25,62 min	25,62 min
Bewehrung	Typ	Lagen			63,81 min
Kalotte	AQ 60	2 x	100%	23,95 min	
Ortsbrust	AQ 50	1 x	100%	39,86 min	
Sohle		0 x	100%	0,00 min	
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min	
Bogen		Anzahl / Abschlag	1 x		37,76 min
Spritzbeton					60,59 min
Kalotte	20 cm	100%		19,78 min	
	0 cm	0%		0,00 min	
Ortsbrust	7 cm	30%		7,12 min	
	10 cm	70%		20,76 min	
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min	
Kalottenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min	
Zwickel und Mehrausbruch	0,80 m ³ /lfm			2,93 min	
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min	
Anker		Kalotte	Ortsbrust		71,21 min
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge	
Selbstbohranker (IBO - Anker)	6,00 Stk	6,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
Selbstbohranker (IBO - Anker)	0,00 Stk	0,00 m	5,00 Stk	12,00 m	
Nachsetzen Anker mit Vorspannung	0,00 Stk	0,00 m	5,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
Spieße/Rohrschirm	Anzahl	Länge	Rohrschirm		109,20 min
Rammspieße	40,00 Stk	4,00 m	0,00 m/lfm		
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm		
Zusatzleistungen	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m		45,00 min
Ausbruch zusätzliche Teilflächen	2,00 Stk	0	0		
Herstellen Stützkern	1,00 Stk	0	0		
Zusatzzeiten für Erschwernisse					10,71 min
Leistungsmind. Strosse halbseitig	1	2,5%			
Leistungsmind. Sohle halbseitig	1	2,5%			
	0	0,0%			
Vermessung			1 x		15,00 min

Task	Duration (min)
Bohrer	0,00
Besetzer	0,00
Festzeiten Sprenger	0,00
Baggervortrieb	128,63
Schuttern	25,62
Baustahlgitter	63,81
Bogen	37,76
Spritzbeton	60,59
Anker	71,21
Spieße	109,20
Zusatzleistungen	45,00
Erschwernisse	10,71
Vermessung	15,00

13.1.2. Strosse

Bezeichnung	TU-St VKL F 1 0,52		Zykluszeit	197,83 min
Abschlagslänge	4,00 m		Abschläge/AT	7,28
Überprofil	20 cm		Vortriebsmeter/Arbeitstag	29,12 m
Abwicklung Linie 1 Strosse	4,652 m			
Ausbruch Linie 2	25,261 m²			
Abwicklung Sohle	10,600 m		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Sprengvortrieb	100%			
Baggervortrieb	0%			
Bohren und Sprengen				101,97 min
Kranzlöcher Strosse	12,00 Stk		Bohren	66,97 min
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	15,33 min
Innenlöcher	19,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min
Baggervortrieb	Rüstzeit Bagger	0,00 min	Lösen	0,00 min
	Strossenfuß	0,00 min		0,00 min
Laden	Zwischendeponie	0,00 min	Enddeponie	45,26 min
				45,26 min
Bewehrung	Typ	Lagen		0,00 min
Strosse		0 x	100%	0,00 min
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min
Sohle		0 x	100%	0,00 min
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min
Bogen		Anzahl / Abschlag	0 x	0,00 min
Spritzbeton				33,20 min
Strosse	7 cm	100%		23,20 min
	0 cm	0%		0,00 min
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min
Strossenfuß	0,00 m³/lfm			0,00 min
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m³/lfm			0,00 min
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min
Anker		Strosse	Ortsbrust	0,00 min
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
Zusatzleistungen	Anzahl/Abschlag	m³/lfm	m	0,00 min
	0,00 Stk	0	0	
	0,00 Stk	0	0	
Zusatzzeiten für Erschwernisse				2,40 min
Rampenumlegung Strosse	0	2,5%		
	0	0,0%		
	0	0,0%		
Vermessung			1 x	15,00 min

Task	Duration (min)
Bohren	66,97
Besetzen	15,33
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Laden	45,26
Bewehrung	0,00
Bogen	0,00
Spritzbeton	33,20
Anker	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Zusatzzeiten für Erschwernisse	2,40
Vermessung	15,00

Anhang 2 – Berechnungstabellen

Bezeichnung	TU-St VKL L 1 1,27		Zykluszeit	214,47 min
Abschlagslänge	4,00 m		Abschläge/AT	6,71
Überprofil	20 cm		Vortriebsmeter/Arbeitstag	26,86 m
Abwicklung Linie 1 Strosse	4,652 m			
Ausbruch Linie 2	25,261 m ²			
Abwicklung Sohle	10,600 m		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Sprengvortrieb	100%			
Baggervortrieb	0%			
Bohren und Sprengen				101,97 min
Kranzlöcher Strosse	12,00 Stk		Bohren	66,97 min
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	15,33 min
Innenlöcher	19,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min
Baggervortrieb				
Rüstzeit Bagger	0,00 min		Lösen	0,00 min
Strossenfuß	0,00 min			
Laden				
Zwischendeponie	0,00 min		Enddeponie	45,26 min
Bewehrung				6,88 min
Strosse	AQ 50	1 x	100%	6,88 min
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min
Sohle		0 x	100%	0,00 min
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min
Bogen				9,77 min
		Anzahl / Abschlag	1 x	
Spritzbeton				33,20 min
Strosse	7 cm	100%		23,20 min
	0 cm	0%		0,00 min
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min
Strossenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min
Anker				0,00 min
	Strosse		Ortsbrust	
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
	0,00 Stk	4,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
Zusatzleistungen				0,00 min
	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m	
	0,00 Stk	0	0	
	0,00 Stk	0	0	
Zusatzzeiten für Erschwernisse				2,40 min
Rampenumlegung Strosse	0	2,5%		
	0	0,0%		
	0	0,0%		
Vermessung				15,00 min
			1 x	

Task	Duration (min)
Bohren	66,97
Besetzen	15,33
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Laden	45,26
Bewehrung	6,88
Bogen	9,77
Spritzbeton	33,20
Anker	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Zusatzzeiten für Erschwernisse	2,40
Vermessung	15,00

Anhang 2 – Berechnungstabellen

Bezeichnung	TU-St VKL F 3 1,60		Zykluszeit	205,46 min
Abschlagslänge	3,40 m		Abschläge/AT	7,01
Überprofil	15 cm		Vortriebsmeter/Arbeitstag	23,83 m
Abwicklung Linie 1 Strosse	4,652 m			
Ausbruch Linie 2	25,633 m ²		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Abwicklung Sohle	10,600 m			
Sprengvortrieb	100%			
Baggervortrieb	0%			
Bohren und Sprengen				95,13 min
Kranzlöcher Strosse	12,00 Stk		Bohren	60,13 min
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	15,67 min
Innenlöcher	20,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min
Baggervortrieb	Rüstzeit Bagger	0,00 min	Lösen	0,00 min
	Strossenfuß	0,00 min		
Laden	Zwischendeponie	0,00 min	Enddeponie	38,67 min
				38,67 min
Bewehrung				5,85 min
	Typ	Lagen		
Strosse	AQ 50	1 x	100%	5,85 min
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min
Sohle		0 x	100%	0,00 min
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min
Bogen		Anzahl / Abschlag	1 x	9,77 min
Spritzbeton				39,00 min
Strosse	15 cm	100%		29,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min
Strossenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min
Anker		Strosse	Ortsbrust	0,00 min
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
Zusatzleistungen	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m	0,00 min
	0,00 Stk	0	0	
	0,00 Stk	0	0	
Zusatzzeiten für Erschwernisse				2,04 min
Rampenumlegung Strosse	0	2,5%		
	0	0,0%		
	0	0,0%		
Vermessung			1 x	15,00 min

Task	Time (min)
Bohren	60,13
Besetzen	15,67
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Laden	38,67
Bewehrung	5,85
Bogen	9,77
Spritzbeton	39,00
Anker	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Zusatzzeiten für Erschwernisse	2,04
Vermessung	15,00

13.1.3. Sohle

Bezeichnung	TU-S VKL F 3 3		Zykluszeit		265,80 min
Abschlagslänge	4,00 m		Abschläge/AT		5,42
Überprofil	20 cm		Vortriebsmeter/Arbeitstag		21,67 m
Linie 1a	11,468 m				
Ausbruch Linie 2	14,037 m ²				
Sprengvortrieb	100%		Produktive Arbeitszeit		24,00 h/AT
Baggervortrieb	0%				
Bohren und Sprengen					90,56 min
Kranzlöcher Sohle	29,00 Stk		Bohren	55,56 min	
Innenlöcher	11,00 Stk		Besetzen	10,00 min	
			Festzeiten Sprengen	25,00 min	
Baggervortrieb	Rüstzeit Bagger	0,00 min	Lösen	0,00 min	0,00 min
Laden	Zwischendeponie	0,00 min	Enddeponie	28,22 min	28,22 min
Baustahlgitter	Typ	Lagen/Menge			33,91 min
Sohle	AQ 50	1 x	100%	33,91 min	
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min	
Zusatzbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min	
Bogen		Anzahl / Abschlag	0 x		0,00 min
Spritzbeton					94,10 min
Sohle	15 cm	100%		84,10 min	
	0 cm	0%		0,00 min	
Ortsbrust	0 cm	0%		0,00 min	
	0 cm	100%		0,00 min	
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min	
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min	
Anker	Sohle		Ortsbrust		0,00 min
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
Zusatzleistungen	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m		0,00 min
	0,00 Stk	1	0		
	0,00 Stk	0	0		
Zusatzzeiten für Erschwernisse					4,01 min
Leistungsmind. Sohle Brückenlösung	1	3%			
	0	0%			
Vermessung			1 x		15,00 min

Task	Time (min)
Bohren	55,56
Besetzen	10,00
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Laden	28,22
Baustahlgitter	33,91
Bogen	0,00
Spritzbeton	94,10
Anker	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Erschwernisse	4,01
Vermessung	15,00

13.2. Berechnungstabellen Vortrieb Ost

13.2.1. Kalotte

Bezeichnung	TU-K VKL F 3 1,20		Zykluszeit	276,15 min
Abschlagslänge	3,00 m		Abschläge/AT	5,21
Überprofil	35 cm		Vortriebsmeter/Arbeitstag	15,64 m
Abwicklung Kalotte (Linie 1a)	17,175 m			
Ausbruch Linie 2	48,560 m ²			
Abwicklung Sohle	10,800 m		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Sprengvortrieb	100%			
Baggervortrieb	0%			
Bohren und Sprengen				112,19 min
Kranzlöcher Kalotte	43,00 Stk		Bohren	77,19 min
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	31,67 min
Innenlöcher	37,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min
Baggervortrieb	Rüstzeit Bagger	0,00 min	Lösen	0,00 min
	Kalottenfuß	0,00 min		0,00 min
Schuttern	Zwischendeponie	0,00 min	Enddeponie	70,72 min
				70,72 min
Bewehrung	Typ	Lagen		26,66 min
Kalotte	AQ 50	1 x	70%	26,66 min
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min
Sohle		0 x	100%	0,00 min
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min
Bogen		Anzahl / Abschlag	0 x	0,00 min
Spritzbeton				46,08 min
Kalotte	7 cm	30%		9,64 min
	10 cm	70%		26,45 min
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min
Kalottenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min
Anker		Kalotte	Ortsbrust	0,00 min
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
Spiesse/Rohrschirm	Anzahl	Länge	Rohrschirm	0,00 min
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm	
Zusatzleistungen	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m	0,00 min
	0,00 Stk	0	0	
	0,00 Stk	0	0	
Zusatzzeiten für Erschwernisse				5,49 min
Leistungsmind. Strosse halbseitig	1	2,5%		
	0	0,0%		
	0	0,0%		
Vermessung			1 x	15,00 min

Task	Start (min)	End (min)	Duration (min)
Bohren	0	77,19	77,19
Besetzen	77,19	108,86	31,67
Festzeiten Sprengen	108,86	133,86	25,00
Baggervortrieb	133,86	133,86	0,00
Schuttern	133,86	204,58	70,72
Baustahlgitter	204,58	231,24	26,66
Bogen	231,24	231,24	0,00
Spritzbeton	231,24	277,32	46,08
Anker	277,32	277,32	0,00
Spiesse	277,32	277,32	0,00
Zusatzleistungen	277,32	277,32	0,00
Erschwernisse	277,32	282,81	5,49
Vermessung	282,81	297,81	15,00

Anhang 2 – Berechnungstabellen

Bezeichnung	TU-K VKL F 3 2,05		Zykluszeit	321,67 min
Abschlagslänge	3,00 m		Abschläge/AT	4,48
Überprofil	35 cm		Vortriebsmeter/Arbeitsstag	13,43 m
Abwicklung Kalotte (Linie 1a)	17,175 m			
Ausbruch Linie 2	49,439 m ²			
Abwicklung Sohle	10,800 m		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Sprengvortrieb	100%			
Baggervortrieb	0%			
Bohren und Sprengen				113,00 min
Kranzlöcher Kalotte	43,00 Stk		Bohren	78,00 min
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	32,00 min
Innenlöcher	38,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min
Baggervortrieb				
Rüstzeit Bagger	0,00 min		Lösen	0,00 min
Kalottenfuß	0,00 min			0,00 min
Schuttern				
Zwischendeponie	0,00 min		Enddeponie	71,86 min
				71,86 min
Bewehrung				38,09 min
	Typ	Lagen		
Kalotte	AQ 50	1 x	100%	38,09 min
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min
Sohle		0 x	100%	0,00 min
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min
Bogen				0,00 min
		Anzahl / Abschlag	0 x	
Spritzbeton				57,23 min
Kalotte	15 cm	100%		47,23 min
	0 cm	0%		0,00 min
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min
Kalottenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min
Anker				20,94 min
	Kalotte		Ortsbrust	
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
Selbstbohranker (IBO - Anker)	8,00 Stk	3,90 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
Spieße/Rohrschirm				0,00 min
	Anzahl	Länge	Rohrschirm	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm	
Zusatzleistungen				0,00 min
	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m	
	0,00 Stk	0	0	
	0,00 Stk	0	0	
Zusatzzeiten für Erschwernisse				5,55 min
Leistungsmind. Strosse halbseitig	1	2,5%		
	0	0,0%		
	0	0,0%		
Vermessung				15,00 min
			1 x	

Activity	Time (min)
Bohren	78,00
Besetzen	32,00
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Schuttern	71,86
Baustahlgitter	38,09
Bogen	0,00
Spritzbeton	57,23
Anker	20,94
Spieße	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Erschwernisse	5,55
Vermessung	15,00

Anhang 2 – Berechnungstabellen

Bezeichnung	TU-K VKL F 5 2,15		Zykluszeit		244,15 min
Abschlagslänge	1,70 m			Abschläge/AT	5,90
Überprofil	25 cm			Vortriebsmeter/Arbeitsstag	10,03 m
Abwicklung Kalotte (Linie 1a)	17,332 m				
Ausbruch Linie 2	50,325 m ²				
Abwicklung Sohle	10,800 m			Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Sprengvortrieb	100%				
Baggervortrieb	0%				
Bohren und Sprengen					87,54 min
Kranzlöcher Kalotte	44,00 Stk		Bohren	52,54 min	
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	32,33 min	
Innenlöcher	38,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min	
Baggervortrieb					
Rüstzeit Bagger	0,00 min		Lösen	0,00 min	0,00 min
Kalottenfuß	0,00 min				
Schuttern					
Zwischendeponie	0,00 min		Enddeponie	40,14 min	40,14 min
Bewehrung					10,89 min
	Typ	Lagen			
Kalotte	AQ 50	1 x	100%	10,89 min	
Ortsbrust	0 x	0 x	100%	0,00 min	
Sohle	0 x	0 x	100%	0,00 min	
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min	
Bogen					36,40 min
		Anzahl / Abschlag	1 x		
Spritzbeton					37,01 min
Kalotte	15 cm	100%		27,01 min	
	0 cm	0%		0,00 min	
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min	
	0 cm	0%		0,00 min	
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min	
Kalottenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min	
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min	
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min	
Anker					13,05 min
		Kalotte	Ortsbrust		
		Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
Swellex (Rohrreibungsanker)	5,00 Stk	3,90 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
Spiesse/Rohrschirm					0,00 min
	Anzahl	Länge	Rohrschirm		
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm		
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 m/lfm		
Zusatzleistungen					0,00 min
	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m		
	0,00 Stk	0	0		
	0,00 Stk	0	0		
Zusatzzeiten für Erschwernisse					4,13 min
Leistungsmind. Strosse halbseitig	1	2,5%			
	0	0,0%			
	0	0,0%			
Vermessung					15,00 min
			1 x		

Task	Duration (min)
Bohren	52,54
Besetzen	32,33
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Schuttern	40,14
Baustahlgitter	10,89
Bogen	36,40
Spritzbeton	37,01
Anker	13,05
Spieße	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Erschwernisse	4,13
Vermessung	15,00

13.2.2. Strosse

Bezeichnung	TU-St VKL F 1 0,52		Zykluszeit	177,82 min
Abschlagslänge	4,00 m		Abschläge/AT	8,10
Überprofil	20 cm		Vortriebsmeter/Arbeitstag	32,39 m
Abwicklung Linie 1 Strosse	4,652 m			
Ausbruch Linie 2	25,261 m ²		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Abwicklung Sohle	10,600 m			
Sprengvortrieb	100%			
Baggervortrieb	0%			
Bohren und Sprengen				81,96 min
Kranzlöcher Strosse	12,00 Stk		Bohren	46,96 min
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	15,33 min
Innenlöcher	19,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min
Baggervortrieb	Rüstzeit Bagger	0,00 min	Lösen	0,00 min
	Strossenfuß	0,00 min		0,00 min
Laden	Zwischendeponie	0,00 min	Enddeponie	45,26 min
				45,26 min
Bewehrung	Typ	Lagen		0,00 min
Strosse		0 x	100%	0,00 min
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min
Sohle		0 x	100%	0,00 min
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min
Bogen		Anzahl / Abschlag	0 x	0,00 min
Spritzbeton				33,20 min
Strosse	7 cm	100%		23,20 min
	0 cm	0%		0,00 min
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min
Strossenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min
Anker		Strosse	Ortsbrust	0,00 min
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
Zusatzleistungen	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m	0,00 min
	0,00 Stk	0	0	
	0,00 Stk	0	0	
Zusatzzeiten für Erschwernisse				2,40 min
Rampenumlegung Strosse	0	2,5%		
	0	0,0%		
	0	0,0%		
Vermessung			1 x	15,00 min

Task	Time (min)
Bohren	46,96
Besetzen	15,33
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Laden	45,26
Bewehrung	0,00
Bogen	0,00
Spritzbeton	33,20
Anker	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Zusatzzeiten für Erschwernisse	2,40
Vermessung	15,00

Anhang 2 – Berechnungstabellen

Bezeichnung	TU-St VKL F 1 1,27		Zykluszeit	191,57 min
Abschlagslänge	4,00 m		Abschläge/AT	7,52
Überprofil	20 cm		Vortriebsmeter/Arbeitstag	30,07 m
Abwicklung Linie 1 Strosse	4,652 m			
Ausbruch Linie 2	25,261 m ²		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT
Abwicklung Sohle	10,600 m			
Sprengvortrieb	100%			
Baggervortrieb	0%			
Bohren und Sprengen				81,96 min
Kranzlöcher Strosse	12,00 Stk		Bohren	46,96 min
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	15,33 min
Innenlöcher	19,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min
Baggervortrieb				
	Rüstzeit Bagger	0,00 min	Lösen	0,00 min
	Strossenfuß	0,00 min		
Laden				
	Zwischendeponie	0,00 min	Enddeponie	45,26 min
Bewehrung				13,76 min
	Typ	Lagen		
Strosse	AQ 50	1 x	100%	13,76 min
Ortsbrust		0 x	100%	0,00 min
Sohle		0 x	100%	0,00 min
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min
Bogen				0,00 min
		Anzahl / Abschlag	0 x	
Spritzbeton				33,20 min
Strosse	7 cm	100%		23,20 min
	0 cm	0%		0,00 min
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min
	0 cm	0%		0,00 min
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min
Strossenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min
Anker				0,00 min
	Strosse		Ortsbrust	
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m
Zusatzleistungen				0,00 min
	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m	
	0,00 Stk	0	0	
	0,00 Stk	0	0	
Zusatzzeiten für Erschwernisse				2,40 min
Rampenumlegung Strosse	0	2,5%		
	0	0,0%		
	0	0,0%		
Vermessung				15,00 min
			1 x	

Activity	Duration (min)
Bohren	46,96
Besetzen	15,33
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Laden	45,26
Bewehrung	13,76
Bogen	0,00
Spritzbeton	33,20
Anker	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Zusatzzeiten für Erschwernisse	2,40
Vermessung	15,00

Anhang 2 – Berechnungstabellen

Bezeichnung	TU-St VKL F 3 1,60		Zykluszeit	206,64 min	
Abschlagslänge	4,00 m		Abschläge/AT	6,97	
Überprofil	15 cm		Vortriebsmeter/Arbeitstag	27,87 m	
Abwicklung Linie 1 Strosse	4,652 m				
Ausbruch Linie 2	25,633 m ²		Produktive Arbeitszeit	24,00 h/AT	
Abwicklung Sohle	10,600 m				
Sprengvortrieb	100%				
Baggervortrieb	0%				
Bohren und Sprengen				82,98 min	
Kranzlöcher Strosse	12,00 Stk		Bohren	47,98 min	
Kranzlöcher Sohle	15,00 Stk		Besetzen	15,67 min	
Innenlöcher	20,00 Stk		Festzeiten Sprengen	25,00 min	
Baggervortrieb	Rüstzeit Bagger	0,00 min	Lösen	0,00 min	
	Strossenfuß	0,00 min			
Laden	Zwischendeponie	0,00 min	Enddeponie	45,50 min	
				45,50 min	
Bewehrung	Typ	Lagen		6,88 min	
Strosse	AQ 50	1 x	100%	6,88 min	
Ortsbrust	0 x	0 x	100%	0,00 min	
Sohle	0 x	0 x	100%	0,00 min	
Anschlussbewehrung	0,00 m/lfm	0,00 kg/lfm		0,00 min	
Bogen		Anzahl / Abschlag	1 x	9,77 min	
Spritzbeton				44,11 min	
Strosse	15 cm	100%		34,11 min	
	0 cm	0%		0,00 min	
Ortsbrust	0 cm	100%		0,00 min	
	0 cm	0%		0,00 min	
Sohle:	0 cm	100%		0,00 min	
Strossenfuß	0,00 m ³ /lfm			0,00 min	
Zwickel und Mehrausbruch	0,00 m ³ /lfm			0,00 min	
Rüstzeit		Anzahl / Abschlag	1 x	10,00 min	
Anker	Strosse		Ortsbrust		0,00 min
	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
	0,00 Stk	0,00 m	0,00 Stk	0,00 m	
Zusatzleistungen	Anzahl/Abschlag	m ³ /lfm	m	0,00 min	
	0,00 Stk	0	0		
	0,00 Stk	0	0		
Zusatzzeiten für Erschwernisse				2,40 min	
Rampenumlegung Strosse	0	2,5%			
	0	0,0%			
	0	0,0%			
Vermessung			1 x	15,00 min	

Activity	Duration (min)
Bohren	47,98
Besetzen	15,67
Festzeiten Sprengen	25,00
Baggervortrieb	0,00
Laden	45,50
Bewehrung	6,88
Bogen	9,77
Spritzbeton	44,11
Anker	0,00
Zusatzleistungen	0,00
Zusatzzeiten für Erschwernisse	2,40
Vermessung	15,00