

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

„Geräteausstattung im zyklischen Vortrieb“

„Instrumentation in cyclic tunnelling“

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

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

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

WMA Dipl.-Ing. Gernot Altinger

am

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Preslava Angelova Zaimova

0127277

Vejen Str. 9
BG – 5600 Troyan

Wien, im September 2004

.....
(Preslava Zaimova)

Geräteausstattung im zyklischen Vortrieb

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit dem Thema „Geräteausstattung im zyklischen Vortrieb“.

Der Überblick über die Möglichkeiten zur Geräteausstattung baut einerseits auf Literaturrecherchen (Gerätetypen und Praxisbeispiele) und andererseits auf Informationen von im Tunnelbau tätigen Bau- und Gerätefirmen auf. Aus diesem Datenmaterial wurde versucht, die baubetrieblichen Vorteile und Nachteile der bisher üblichen Geräteausstattungen im Vergleich zu den neuen Entwicklungen (z.B. Hängebühnen, Tunnelvortriebsportale u.a.) aufzuzeigen. Die Ergebnisse der Diplomarbeit in Bezug auf die heute üblichen Lösungen für die Gerätedisposition können den Kapiteln, welche nach den einzelnen Zyklen konventionellen Vortriebs gegliedert sind, entnommen werden. Das Konzept der neuen Entwicklungen wird im Kapitel 4 für die Hängebühnen und Tunnelvortriebsportale angeführt. Anhand eines konkreten Beispiels wurde ein Kostenvergleich der Geräteausstattungen erstellt. Aus diesem leiten sich auch die Schlussfolgerungen der vorliegenden Arbeit ab.

Wien, im September 2004

Preslava Zaimova

Instrumentation in cyclic tunnelling

This master's thesis is about instrumentation in cyclic tunnelling. The overview of the possibilities for instrumentation is based on one hand on literature studies (types of machines and practical examples) and on the other hand on information from construction- and machine-producers who work in the tunnel-construction sphere. From this collected data I tried to present the construction-related advantages and disadvantages of the so far common instrumentation and the inventions in the cyclic tunnelling sphere.

The results from the master's thesis considering the usual solutions for instrumentation could be therefore found in the chapters for construction equipment used in the cycles of the construction operation. The new developments' conception is described in chapter 4. By means of a concrete example, a comparison of the costs for the instrumentations has been made. It leads to the conclusions that I have made in my topic.

Vienna, in September 2004

Preslava Zaimova

1	<u>EINLEITUNG</u>	- 1 -
2	<u>KONVENTIONELLER TUNNELBAU</u>	- 3 -
2.1	BAUVERFAHREN	- 3 -
2.2	BESCHREIBUNG DES BAUBETRIEBES	- 4 -
2.2.1	AUSBRUCH DURCH SPRENGVORTRIEB	- 4 -
2.2.1.1	Allgemeines	- 4 -
2.2.1.2	Bohren	- 5 -
2.2.1.3	Sprengen	- 6 -
2.2.1.4	Schüttern	- 10 -
2.2.1.5	Sicherung	- 11 -
2.2.2	MECHANISCHER VORTRIEB MITTELS BAGGER, RIPPERGERÄTEN UND TEILSCHNITTMASCHINEN	- 14 -
2.2.2.1	Allgemeines	- 14 -
3	<u>TECHNISCHE DATEN, FUNKTIONSWEISE UND EINSATZ, DER IN DEN EINZELNEN TEILABSCHNITTEN DER BETRIEBSWEISE VERWENDETEN GERÄTE</u>	- 23 -
3.1	BOHREN	- 23 -
3.1.1	BOHRHÄMMER	- 23 -
3.1.1.1	Pneumatische Bohrhämmer	- 24 -
3.1.1.2	Hydraulische Bohrhämmer	- 25 -
3.1.2	ZUSATZKOMPONENTEN	- 26 -
3.1.3	BOHRWAGEN	- 30 -
3.2	SCHÜTTERN	- 32 -
3.2.1	LADEGERÄTE	- 33 -
3.2.1.1	Bagger	- 33 -
3.2.1.2	Lader	- 38 -
3.2.2	TRANSPORTGERÄTE	- 42 -
3.2.2.1	Gleisloser Betrieb	- 43 -
3.2.2.2	Gleisbetrieb	- 47 -
3.2.2.3	Bunkerzüge	- 51 -
3.2.2.4	Materialübergabeeinrichtungen	- 52 -
3.2.2.5	Wagenwechseleinrichtungen	- 53 -
3.3	SICHERUNG	- 55 -
3.3.1	SPRITZBETON- MASCHINENTECHNIK	- 55 -

3.3.1.1	Trockenspritzmaschinen	- 55 -
3.3.1.2	Nassspritzmaschinen	- 57 -
3.4	GERÄTEAUSSTATTUNG (BEISPIEL)	- 58 -
4	<u>BESCHREIBUNG DER NEUEN ENTWICKLUNGEN IN DER GERÄTEAUSSTATTUNG BEIM ZYKLISCHEN VORTRIEB</u>	- 62 -
4.1	VORAUSSETZUNGEN (GRÜNDE)	- 62 -
4.2	ZIELE	- 63 -
4.3	HÄNGEBÜHNEN	- 64 -
4.3.1	EINSATZBEREICH	- 68 -
4.3.2	ERFAHRUNGEN AUS DEM BETRIEB DER HÄNGEBÜHNEN	- 70 -
4.4	TUNNELVORTRIEBSPORTALE	- 71 -
4.4.1	AUFBAU UND MERKMALE DES TUNNELVORTRIEBSPORTAL (TVP)	- 71 -
4.4.2	TECHNISCHE DATEN	- 74 -
5	<u>KOSTENVERGLEICH DER GERÄTEAUSSTATTUNGEN- BEISPIEL</u>	- 77 -
6	<u>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN</u>	- 89 -
7	<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u>	- 93 -
8	<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	- 96 -
9	<u>QUELLENVERZEICHNIS</u>	- 97 -
10	<u>ANHANG I</u>	- 98 -
11	<u>ANHANG II</u>	- 99 -
12	<u>ANHANG III</u>	- 100 -

1 Einleitung

Ziel der Arbeit ist die Durchführung einer vergleichenden Analyse der bisher üblichen Geräteausstattungen im konventionellen Tunnelbau mit den in jüngster Zeit aufgetretenen Entwicklungen (z.B. Hängebühnen, Tunnelvortriebsportale u.a.) um die Parallelität der zyklischen Arbeitsvorgänge zu steigern und die Rangierzeiten beim Gerätewechsel möglichst gering zu halten.

In der Arbeit soll weiters ein Kostenvergleich der Geräteausstattungen aufgestellt werden. Der Kostenvergleich wird anhand eines konkreten Beispiels durchgeführt. Im Beispiel soll ermittelt werden, ab welcher Vortriebslänge sich die höheren Geräteinvestitionen über die damit verbundene Bauzeitverkürzung rechnet.

Die zu erarbeitende Analyse der möglichen Geräteausstattungen im konventionellen Tunnelbau basiert auf den gewählten Bauverfahren und den daraus resultierenden abhängigen Maschinenkonzept unter Berücksichtigung des projektierten Ausbruchquerschnitts, der vorherrschenden Geologie, möglicher Querschnittsveränderungen sowie der erforderlichen Leistungen und Investitionen. Daher wurden in den ersten zwei Kapiteln der Baubetrieb des zyklischen Vortriebes beschrieben und die in den einzelnen Arbeitsvorgängen (Bohren, Sprengen, Schüttern, Sicherung) verwendeten Geräte mit ihren Abmessungen, ihrer Funktionsweise und ihrem Einsatzbereich aufgelistet.

Die Abwicklung eines Projektes mit den folgenden Randbedingungen:

Geologie:

- sehr harte Felsformationen
- geologisch stark wechselnde Zonen
- oder Strecken in einer großen Überlagerungshöhe mit hohem Gebirgsdruck

Tunnelabmessungen:

- kleiner Querschnitt und/oder
- große Länge,

stellt besondere Anforderungen an die Logistik und bedingt die Industrialisierung des konventionellen Vortriebes. Die Integration von Nachläufersystemen und Tunnelvortriebsportalen stellt einen Innovationsschritt der Logistik dar. Die Ziele, Arbeitsweise und technischen Daten dieser Entwicklungen werden im Kapitel 4 erläutert.

Anhand eines Kalkulationsbeispiels wird bei einem Tunnelvortrieb mit kleinem Ausbruchquerschnitt die Verwendung eines Tunnelvortriebsportals mit den bisher üblichen

Geräteausstattungen verglichen. Daraus werden die Schlussfolgerungen für die Wirtschaftlichkeit dieser Arten von Gerätedisposition abgeleitet.

2 Konventioneller Tunnelbau

2.1 Bauverfahren

Beim zyklischen Vortrieb wird der Tunnelquerschnitt voll oder in Teilen ausgebrochen. Die maßgebenden Größen für die Entscheidung über einen Vollausbuch oder eine Unterteilung des Querschnittes sind:

- Hohlraumgröße und -form
- das Gebirgsverhalten
- die Abbaumethoden
- die Art und Umfang der Sicherung des Hohlraumrandes
- die Zeit zwischen dem Abbau und der Sicherung
- die maschinellen Ausrüstungen

Für den wirtschaftlichen Erfolg eines Tunnelvortriebs müssen diese Größen optimal aufeinander abgestimmt sein.

Beim Ausbruch in Teilen wird der Tunnelquerschnitt in den Teilquerschnitten Kalotte, Strosse und Sohle ausgebrochen. Mit dieser Unterteilung in Teilquerschnitte wird versucht, die kritischen Entspannung und Auflockerung des Gebirges zu vermeiden.

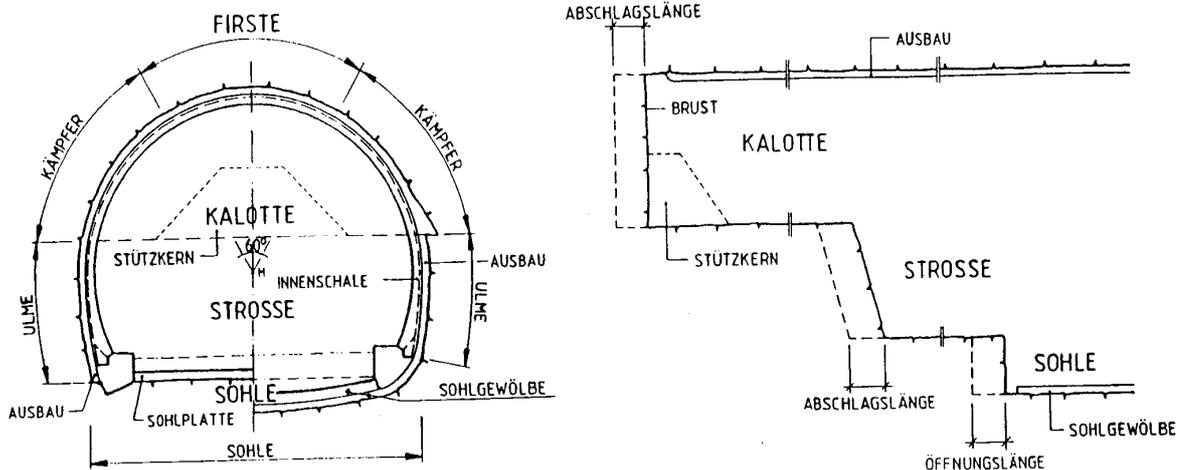


Abb. 2.1-1 a) Querschnitt

b) Längsschnitt [1]

Der Ausbruch in Teilen wird in der Regel bei nicht standfestem Gebirge und bei längeren Tunnels mit großem Querschnitt verwendet. Die Teilquerschnitte werden dabei kontinuierlich von spezialisierten Vortriebsmannschaften ausgebrochen. Die Arbeitsorganisation der Vortriebsmannschaften muss sehr präzise und flexibel (auf die wechselnden

Gebirgsverhältnisse wieder abgestimmt und adaptiert werden können) sein, um ablaufbedingte Wartezeiten zwischen den Vortriebsmannschaften zu vermeiden.

Es gibt eine Vielzahl von Bauverfahren, die sich unter anderem durch die Aufteilung des Gesamtquerschnittes in einzelne Teilquerschnitte unterscheiden. Das sind die Neue Österreichische Tunnelbauweise, Kernbauweise mit Ulmenstollenvortrieb (Deutsche Bauweise), Unterfangungsbauweise, Firstbalkenbauweise u.a.

2.2 Beschreibung des Baubetriebes

Nach ÖNORM B 2203-1 wird unter zyklischem bzw. konventionellem Vortrieb jene Vortriebsart verstanden, bei der die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und Stützmitteleinbaues im Wesentlichen zeitlich nacheinander und mit Hilfe von Einzelgeräten ausgeführt werden. Das Lösen erfolgt in der Regel durch Sprengen, Baggern oder Teilschnittmaschinen. In den Kapiteln 2.2.1 und 2.2.2 werden die verschiedenen Arten des Lösens näher betrachtet. [1]

2.2.1 Ausbruch durch Sprengvortrieb

2.2.1.1 Allgemeines

Der Vortrieb durch Sprengen im Tunnelbau ist schon seit langem bekannt. Aus diesem Grund wird er als die „konventionelle“ Ausbruchsart bezeichnet.[2] Er wird durch mechanisierte und handwerkliche Arbeitsmethoden charakterisiert. Weil dieser Bauprozess sehr anpassungsfähig und flexibel ist, kann die Form und Größe des Tunnelquerschnitts beliebig sein und innerhalb der Vortriebsstrecke wechseln. Der Sprengvortrieb wird im Felsgestein mit mittlerer bis hoher Festigkeit eingesetzt. Er besteht aus diskontinuierlichen, zeitlich nacheinander folgenden und sich ständig wiederholenden Arbeitsvorgängen(-zyklen) wie Bohren, Laden, Verdämmen, Sprengen, Lüften, Sichern und Schüttern, die mit Hilfe von Einzelgeräten ausgeführt werden. Aus diesem Grund ist es zur Steigerung von Kosteneffizienz, Qualität, Leistung und Arbeitssicherheit des Vortriebs von entscheidender Bedeutung, das alle Einzelelemente der Bauprozesskette als System betrachtet werden und an die möglichen variablen Gebirgsbedingungen abgestimmt werden.[3] Der Sprengvortrieb charakterisiert sich durch mechanisierte und manuelle, zyklische Arbeit. Das Niveau der mechanisierten und automatisierten Prozesse ist aber immer noch gering. So bleibt ein großer Teil des Wirtschaftlichkeitspotentials (Leistungspotentials) des Sprengvortriebs hinsichtlich gleichzeitiger, verbesserter zyklischer Arbeit ungenutzt. Heute wird jede einzelne Komponente wie Container, Aggregate, Materiale etc. einzeln umgesetzt, um den Vortrieb zu folgen. „Deshalb ist es nötig, dass die gleichzeitig stattfindenden Transport- und Arbeitsprozesse durch systematische Trennung von den Lager- und Arbeitsbereichen sowie

von den Transportflüssen im rückwärtigen Bereich zu organisieren.¹ Also der Sprengvortrieb bedarf weiterer Rationalisierungsanstrengungen hinsichtlich der Gestaltung der traditionell handwerklichen Methoden durch industrialisierte Lösungen und der Leistungserhöhung durch Verbesserung der Logistik im rückwärtigen Bereich des Vortriebs. Nur dann kann er im Vergleich zum maschinellen Vortrieb bei großen Tunnelprojekten konkurrenzfähig bleiben.[3]

2.2.1.2 Bohren

Unter dem Begriff Bohren wird hier die Herstellung von Sprenglöchern zur Aufnahme des Sprengstoffes mit Hilfe von Bohrwerkzeugen verstanden. Der Bohrvorgang umfasst die Positionierung des Bohrgerätes, die Zuweisung des Bohrplans zur aktuellen Stationierung und das Bohren der Löcher. Der Bohrlochdurchmesser variiert in einem Bereich von 17 -172 mm und ist abhängig von der Sprengart und vom verwendeten Bohrgerät. Die Bohrlochlängen reichen je nach Tunnelquerschnitt von 3 bis 5 m. [5]

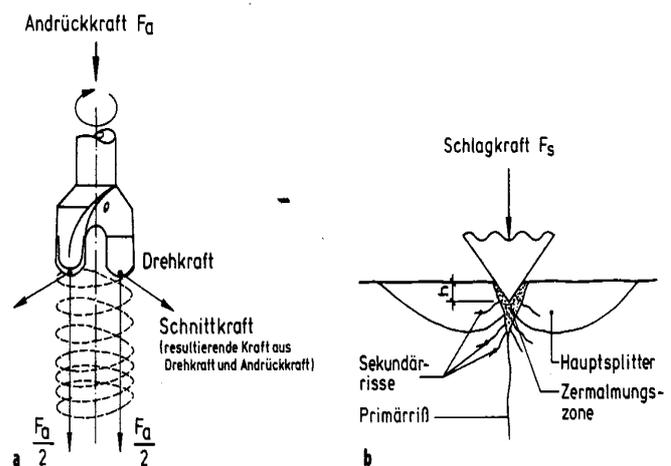
Beim Bohren wird das Gestein mittels drei verschiedenen Lösearten zerkleinert. Diese sind:

- schlagend
- drehend
- drehschlagend

Diese Bohrarten unterscheiden sich nach der Arbeitsweise der Bohrmaschine und des Bohrwerkzeuges und nach der Art der Gesteinszerstörung und der Energieübertragung.[2]

Auf die Abb. 2.2-1 sind das drehende Bohren und das schlagende Bohren dargestellt.

Abb. 2.2-1 Bohrvorgang beim spanenden Drehbohren (a) und Lösevorgang beim kerbenden Schlagbohren [2]



¹ Girmscheid G.: Bauingenieur, Band 77, Juni 2002, Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – Industrialisierungstendenz im Sprengvortrieb, S.268

Die relevanten Gesteinseigenschaften, die für ein erfolgreiches Bohren wichtig sind, sind die Härte (Druck- und Zugfestigkeit), die Scherfestigkeit und die Elastizität. Diese bestimmen auch die **Bohrbarkeit** der anstehenden Gesteinsinformation. Die gesamte Vortriebsleistung wird von der Bohrbarkeit des Gesteins beeinflusst. Deshalb ist wichtig zu wissen, welche Einflussfaktoren für die Bohrbarkeit maßgebend sind. Diese werden in der Abbildung 2.2-2 schematisch dargestellt.

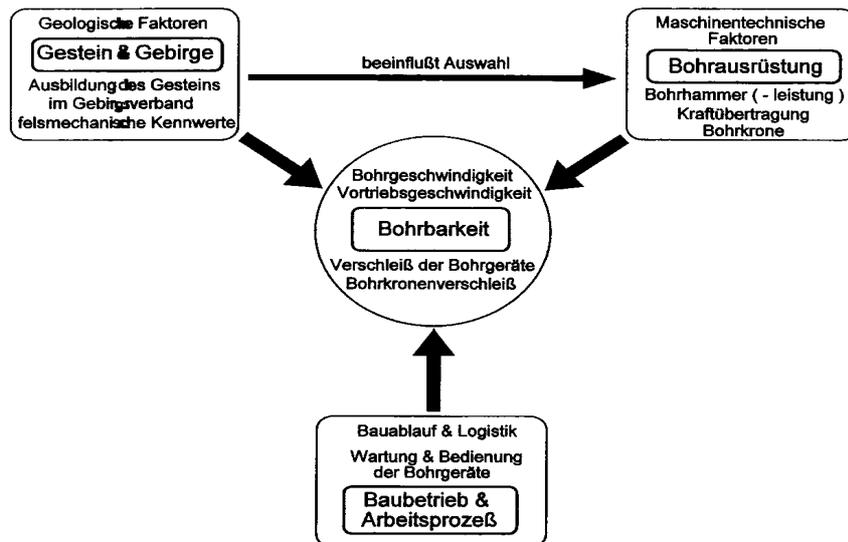


Abb. 2.2-1 Einflussfaktoren maßgebend für die Bohrbarkeit [2]

Das Bohren hat neben den Lade-, Schutter-, Stütz- und Sicherungsarbeiten eine maßgebende Wirkung auf die gesamte Vortriebsleistung des konventionellen Tunnelbaus. Genaues Bohren ist die Voraussetzung für ein schonendes und profilgenaues Lösen des Gesteins. In den letzten Jahren werden vermehrt computergestützte Bohrwagen eingesetzt, welche eine sehr große Leistung erzielen. Diese ermöglichen das automatische Anfahren und Abbohren des Bohrbildes an der Ortsbrust, was früher durch manuelles Anreiben geschah. Die anderen Entwicklungen, die zu der Steigerung der Bohrgeschwindigkeit viel beigetragen haben, sind die hydraulisch betriebenen Bohreinrichtungen.

2.2.1.3 Sprengen

Nach B. Maidl ist das Sprengen „... das beabsichtige plötzliche Zerstören (Abtrennen, Zerkleinern oder Wegschleudern) eines Objektes, das vollständig oder teilweise eine Sprengladung umgibt.“² Beim Vortriebssprengen im Tunnelbau sind nach dem Bohren der Sprenglöcher folgende Teilvorgänge notwendig [3]:

² Maidl B.: Handbuch des Tunnels- und Stollenbaus Band I; Essen, Glückauf GmbH 1984, S.133

- Bohrloch freiblasen und prüfen
- Laden des Bohrlochs mit Sprengstoff und Zündmittel
- Anbringen des Zündsystems
- Verdämmen
- Prüfung des Zündkreises
- Zünden

Die Sprengstoffe sind Verbindungen oder Gemische, die bei Entzündung (Erwärmung, Schlag oder Initialzündung) eine Explosion (bei Gemischen wie Schwarzpulver) oder Detonation (Zerfall von Sprengstoffmolekülen) hervorrufen. Bei den Explosivstoffen unterscheidet man zwischen Zündstoffen und Sprengstoffen. Die Sprengstoffe werden nach ihrer Umsetzung und Initiierbarkeit in Pulversprengstoffe und brisante Sprengstoffe unterteilt. Die Ersten sind bereits durch eine Flamme initiierbar und explodieren mit einer Geschwindigkeit von etwa 400 m/s. Die brisanten Sprengstoffe initiiert man durch ein sprengkräftiges Zündmittel und sie detonieren mit 3000 bis 7000 m/s. Die Zündstoffe sind hochbrisant und schlagempfindlich. Sie dienen zur Zündung der wenig schlagempfindlichen Sprengstoffe und werden in Zündkapseln verwendet und elektrisch oder pyrotechnisch gezündet. Wenn also der Sprengstoff durch ein sprengkräftiges Zündmittel zur Detonation gebracht wird, erfolgt der Sprengvorgang durch Oxidation, bei der Wärme und Sprenggase freigesetzt werden. Diese Umsetzung hat zwei Phasen nämlich eine Schlagphase, in der das Gestein gelöst und zertrümmert wird, sowie eine Gasphase, in der es weggeschleudert wird.

Die Wahl des Sprengstoffes ist sehr wichtig für die einzelnen Sprengverfahren. Es steht heute eine ganze Reihe von Sprengstoffen zur Verfügung. Sie reicht vom wasserempfindlichen bis zum wasserbeständigen, vom schiebenden zum brisanten, vom pulverförmigen bis zum gelatinösen, vom patronierten bis zum losen Sprengstoff. Abb. 2.2-3 gibt eine Übersicht über die Gesteinssprengstoffe.

Im Tunnelbau werden meist patronierte Sprengstoffe verwendet, die handhabungssicher (d.h. unempfindlich gegen Stoß, Schlag, Reibung und Frost) sind. Die Faktoren, welche die Entscheidung für den projektspezifischen Einsatz der Sprengstoffe beeinflussen, sind:

- die Geologie
 - der Querschnitt
 - die Anforderungen der Umwelt in Bezug auf Sprengschütterungen, Lärm und Gewässerschutz
 - die Wirksamkeit, die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Sprengstoffe
-

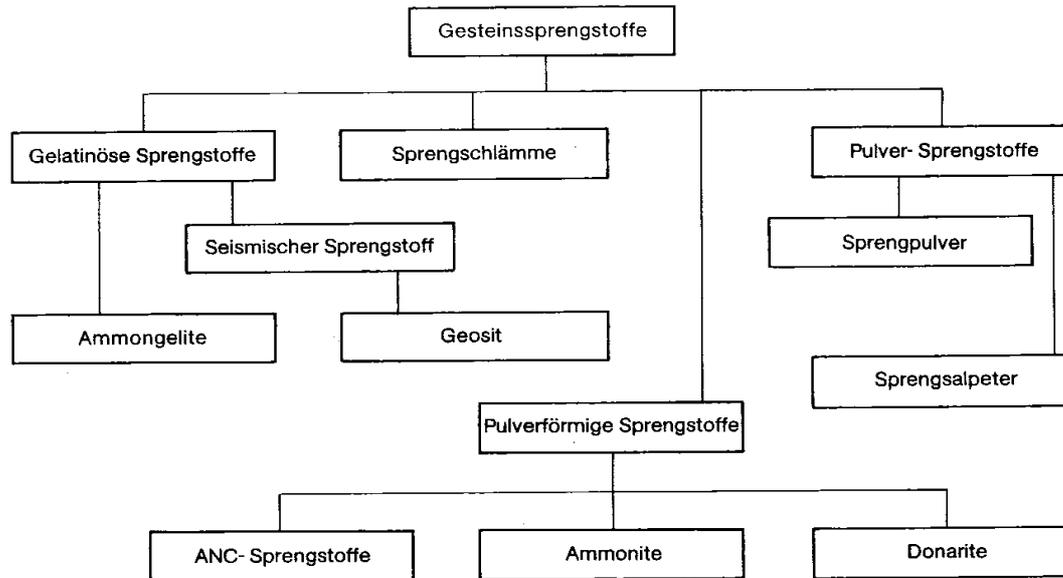


Abb. 2.2-2 Gesteinssprengstoffenteilung [5]

Nach der Reinigung und Untersuchung der Bohrlöcher auf Richtung, Tiefe und Beschaffenheit werden **die Löcher geladen**. Das geschieht durch Andrücken oder Einschieben mit Hilfe eines Holzladestockes, Kunststoffladestockes oder einer pneumatischen Lademaschine (Patronen), durch Einschießen mit Druckluft oder Einblasen aus einem Druckbehälter (beim pulverförmigem Sprengstoff), oder durch Einpumpen (bei der Emulsionssprengstoffen).[3] Danach werden die Bohrlöcher verdämmt. Unter **Verdämmen** wird das Abschließen oder Bedecken von Sprengladungen mit Verdämmungsmaterialien (Sand, Lehm oder Wasser, lose oder in Patronenform) verstanden. Mit dem Besetzen der Bohrlöcher wird eine verlustlose Wirkung der beim Sprengen entstehenden Sprenggase auf die Bohrlöcherwandung und das umgebende Gestein geschaffen.

Zünden:

Die Sprengstoffe, die im Tunnelbau verwendet werden, sind sehr handhabungssicher. Sie werden durch Hilfsmittel zur Detonation gebracht. Diese Hilfsmittel sind die Zündmittel. Sie enthalten die explosionsgefährliche Stoffe. Die Arten der Zündmittel sind:

- **Sprengkräftige Zündmittel (unmittelbar detonationsfähig):**

Sprengkapsel

Detonierende Züandschnur (Sprengschnur)

Detonationsverzögerer (Sprengverzögerer)

adjustierte elektrische Zünder (Sprengzünder)

- **nichtsprengräftige Zündmittel** (nur in Verbindung mit einem sprengkräftigen Zündmittel detonationsfähig oder für die Einleitung der Detonation eines sprengkräftigen Zündmittels):

Zeitzündschnüre

einfache elektrische Zünder [4]

Für den Erfolg der Sprengung sind u.a. die Genauigkeit des Zündpunktes und die Zuverlässigkeit des Zündmittels sehr wichtig.[3] Zu diesem Zweck verfügt heute die Sprengtechnik über drei Zündsysteme: pyrotechnische, elektrische und elektronische Zündung.

Zur **pyrotechnischen Zündung** kann man die Zeit-Zündschnur und den Zündschlauch verwenden. Dieses Zündsystem ist sehr einfach in der Handhabung, unempfindlich gegen elektrische Felder und mechanisch robust, aber seine Funktionsfähigkeit kann nicht überprüft werden.

Die **elektrischen Zünder** sind handhabungssicher und haben sehr genaue Verzögerungszeiten. Es ist noch ihre Überprüfbarkeit und die große Anzahl von Zeitstufen hervorzuheben. Man unterteilt diese Zündergruppe nach:

den Verzögerungszeiten: Momentzünder, Zeitzünder (Millisekundenzünder mit Kurz- und Langzeitintervallen und Halbsekundenzünder)

nach den elektrischen Kennwerten: U-Zünder (unempfindlich gegen Frühzündungen durch Fremdelektrizität) und HU-Zünder (hochunempfindlich)

nach dem Einsatzbereich: nichtschlagwettersichere, schlagwettersichere Zünder, Unterwasserzünder und seismische Zünder

Die elektronischen Zünder sind die neueste Entwicklung. Bei diesem Zünden sind die pyrotechnischen Verzögerungselemente durch einen Mikrochip ersetzt. Die elektronischen Zünder bieten eine höhere Sicherheit als HU-Zünder. Mittels Zeitintervall-Steuerung (was Genauigkeiten mit Intervallen im 1 ms-Bereich ermöglicht) lässt sich das beste Ergebnis für die Profilgenauigkeit, Haufwerkszerkleinerung und Reduzierung der Erschütterungen erreichen. Als Nachteil muss jedoch der derzeit noch relativ hohe Preis angeführt werden.

Vor der Zündung verlegt man den Zündkreis und überprüft ihn mit einem Ohmmeter (Zündkreisprüfer) auf Durchgang und Übereinstimmung mit den vorausberechneten Werten. Um das generelle Problem des Zündens nämlich Zündversager zu vermeiden, müssen alle Systeme überprüft werden. Erst danach erfolgt **die Sprengung**. Die Sprengwirkung in homogenem isotropem Material breitet sich kugelförmig aus. Und sie nimmt mit der zunehmenden Entfernung ab. Wir unterscheiden vier Wirkungszonen – I Zermalmungszone,

II Wurfzone, III Zerreißungszone, IV Erschütterungszone. Ein wirksamer Schuss liegt nur dann vor, wenn die Wurfzone, oder mindest die Zermalmungszone, von der freien Fläche geschnitten wird. Die größte Wirkung wird also erreicht, wenn die Ladungen gruppenweise in einer räumlichen und zeitlichen Folge detonieren, d.h. die einzelnen Ladungen eines Abschlags sich gegenseitig freie Flächen schaffen.[3]

Für den Erfolg der Sprengung und insbesondere für den Abschlagswirkungsgrad hat die Einbruchsart eine große Bedeutung. Wir unterscheiden bei den Einbrüchen zwischen Schräg- und Paralleleinbrüchen. Zu den Schrägeinbrüchen zählen wir Keil-, Kegel-, Fächer- und Pyramideneinbruch. Und zu den Paralleleinbrüchen: Parallelbohrloch-, Brenner- und Staffeleinbruch. [5]

2.2.1.4 Schuttern

Unter Schuttern werden im Tunnelbau das Aufnehmen (Laden) und die Übergabe (Aufladen) an das Transportgerät (Transporteinrichtung), des durch die Sprengung entstandenen Ausbruchsmaterials, bezeichnet. Es wird zwischen Handschutterung und Maschinenschutterung unterschieden. Die Handschutterung hat im heutigen Tunnelbau praktisch keine Bedeutung mehr und ist nur auf Spezialfälle wie räumliche Knappheit beschränkt. Der Schuttervorgang liegt beim Sprengvortrieb auf dem kritischen Weg. Deshalb ist es von großer Bedeutung, dass das Schuttern gründlich geplant und an die örtlichen Gegebenheiten angepasst wird. Die Haufwerkcharakteristik (Kornverteilung, -größe, -form und der Auflockerungsgrad des Gesteins) und die leistungsmäßige Abstimmung zwischen Lade- und Transportgeräten (geeignete Gerätekombination) haben einen entscheidenden Einfluss auf die Schuttergeschwindigkeit und damit auf die Geschwindigkeit des gesamten Vortriebes.[2] Die Schuttergeräte werden nach dem Ausbruchquerschnitt, der die Ausbruchsmenge pro Sprengung bestimmt und nach den geometrischen Kenngrößen des Arbeitsbereichs im Tunnel gewählt und bemessen. Der Arbeitsbereich des Gerätes wird durch die Greifweite (mindestens so groß wie die Ausbruchstiefe) und Übergabehöhe (auf die Höhe des zu beladenden Transportfahrzeuges) definiert.[3]

Die Geräte, die im Untertagebau benutzt werden, müssen die folgenden Anforderungen erfüllen [3]:

effiziente Funktionsweise unter beengten Platzverhältnissen im Tunnel

robust hinsichtlich der gesamten Mechanik, Hydraulik und Steuerung

geringe Störanfälligkeit

einfache Bedienung und Wartung

hohe Leistungsfähigkeit

Die Schuttergeräte lassen sich durch folgende Merkmale charakterisieren [3]:

Ladeeinrichtung: Schaufel, Kratzer, Schrapper etc.

Fahrwerk: Ketten , Rad, Gleisbetrieb

Antrieb: Diesel, Elektro, Druckluft, Hydraulik

Entladesystem: Seitenkipper, Frontal- und Überkopkipper

Die verschiedenen Schuttergeräte werden in der Kap. 2.6 behandelt.

2.2.1.5 Sicherung

Die Sicherungsmaßnahmen müssen die Eigentragfähigkeit des Gebirges unterstützen, so dass die Entstehung von Gebirgsdruck vermieden wird. Mit den früheren Sicherungsmaterialien, wie Holz und Mauerung, kann diese Aufgabe der Sicherung nur unvollkommen erfüllt werden. In der Regel funktioniert das System Tunnel-Gebirge nur dann, wenn die Radial- und Tangentialkräfte zwischen dem Gebirge und der Ausbruchslaibung übertragen werden können. Die Sicherungssysteme mit Stahl, Holz und Betonfertigteilen gewährleisten nur eine punktweise Stützung des Gebirges und können keine Tangentialkräfte übertragen. Andererseits kann der Spritzbeton ein kräfteübertragendes und hohlraumloses Anschließen an das Gebirge schaffen. [2]

Es gibt zwei Arten von Sicherungsmaßnahmen nämlich vorübergehende und endgültige Sicherung. Heute werden die Aufgaben der beiden Sicherungen strikt getrennt. Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Tunnelvortriebes werden in Zukunft die Grenzen zwischen vorübergehender und endgültiger Sicherung mehr fließend sein, d.h. es wird eine einschalige Sicherung angestrebt.[2] Noch zwei weitere Sicherungsarten müssen erwähnt werden das sind die vorausseilende Sicherung und die Versiegelung. Diese sind nur dann notwendig, wenn das Gebirge keine ausreichende Standzeit für die Arbeiten der Einbringung der vorübergehenden Sicherung hat, oder es muss ein setzungsarmer Vortrieb durchgeführt werden. [2]

Die Maßnahmen, die für die *vorausseilende Sicherung* verwendet werden, bestehen in Abhängigkeit von den objektspezifischen Randbedingungen aus Blechen und/oder Spießen. Die Ausbruchsarbeiten erfolgen dann im Schutz einer bereits vorhandenen Sicherung.

Die *Tunnelbleche* verwendet man bei rolligen Böden, wo das Material zum Auslaufen neigt. Sie werden vorausseilend in den Boden eingetrieben. In den Hohlräumen der Überlappungsbereiche der Bleche wird eine Mörtelverfüllung eingebracht. Danach wird auf die Lücke ein Verzug in Kombination mit Spritzbeton geschlagen, um die Setzungen durch die Verformung der Bleche zu vermindern.[2]

Die *Spieße* kommen beim Vortrieb in nachbrüchigem und gebrächem Gebirge zum Einsatz. Sie können den Gebirgstragring im Hohlraum erhalten. Selbst Lasten aufnehmen können sie aber nicht. Die Länge der Spieße soll sich mindestens über drei Bogenabstände erstrecken. Die geologischen Bedingungen bestimmen die Art der Spieße, die zur Anwendung kommen müssen. Es gibt Rammspieße, Rammrohrspieße (im Lockergestein) oder Bohrspieße (bei Festgestein).[2]

Die *Versiegelung* [2] wird unmittelbar nach dem Schüttern oder parallel zum Schüttern auf die Ausbruchslaibung aufgebracht. Die Versiegelung besteht in der Regel aus einer 35 cm starken Spritzbetonschicht. Durch die Versiegelung gewährleistet man:

den Schutz der Arbeiten zur Erstellung der vorläufigen Sicherung vor nachbrechendem Gestein

die Verminderung der Setzungen, durch die frühere Aktivierung eines Teils von der Eigentragfähigkeit des Gebirges.

Die vorübergehende Sicherung nennt man noch Außenschale oder vorläufige Sicherung. Sie wird vortriebsbegleitend eingebracht. Ihre Aufgabe ist eine Hohlraumstützung für den Zeitraum zwischen dem Ausbruch und dem Einbau einer endgültigen Sicherung zu schaffen. Die Parameter, die die vorläufige Sicherung charakterisieren sind:

Ihre Verformbarkeit

Verbund zum Gebirge

Einbauzeitpunkt

Es gibt drei *Verformbarkeitsarten* der Sicherung nämlich hochbiegesteif, biegesteif und biegeweich. Sie unterscheiden sich voneinander in:

- dem Grad der Gebirgsverformung, die sie erlauben,
- der Größe der Belastungen, die sie aufnehmen können.

Die *hochbiegesteife* Sicherung ist sehr stabil und erfährt unter einer Beanspruchung infinitesimal kleine Verformungen. Sie muss größere Belastungen als bei verformbaren Auskleidungen aushalten. Diese Belastungen resultieren von der Behinderung der nachträglichen Spannungsumlagerungen und können während der Dimensionierung nur ungenau in ihrer Größenordnung und in ihrem Verhältnis zwischen vertikalem und horizontalem Lastanteil ermittelt werden. Aus diesem Grund wird die hochbiegesteife Sicherung sehr selten, zum Beispiel bei hoher Verformungsbegrenzung, als vorläufige Sicherung verwendet.[2]

Die *biegesteife* Sicherung ist als alleiniges stabiles Tragelement dimensioniert, sie erlaubt aber eine Gebirgsverformung. So bekommt das Gebirge in der Verbundkonstruktion Tunnel-

Gebirge eine tragende Funktion. Man setzt die biegesteife Sicherung ein, wenn der Tunnel in stark gestörten Gebirgszonen und mit geringer Überdeckung aufgeföhren wird, wenn der Aufbau des Gebirgstragringes nicht sicher ist oder sich der Verbund zwischen der Sicherung und der Ausbruchslaibung in geringem Maße oder überhaupt nicht ausbilden kann.[2]

Die *biegeweiche* Sicherung hat hohe Verformbarkeit, was einen kontrollierten Ablauf der Spannungsumlagerungen als Folge hat. In der Regel übernimmt diese Art der Sicherung nur Drucknormalkräfte. Das weckt die Eigentragfähigkeit des Gebirges und die Beanspruchung der Sicherung mit Biegemomenten kann gering bleiben. Heutzutage besteht diese Sicherung aus unbewehrtem oder schwach bewehrtem Spritzbeton.[2]

Die große Bedeutung des *Einbauzeitpunktes* der Sicherung ist seit langen erkannt worden. Da er und der gesamte Baubetrieb sich gegenseitig stark beeinflussen. Der Einbauzeitpunkt ist stark abhängig vom erwarteten Gebirgsverhalten. Bei der Wahl des Einbauzeitpunktes ist die Gebirgskennlinie und die Steifigkeit der Sicherung zu berücksichtigen bzw. derart zu wählen, dass die Verformungen des Gebirges zeitlich kontrolliert verlaufen und begrenzt werden. So sind auch die Belastungen begrenzt, die die Sicherung übernehmen muss.

Wichtig für die Wahl des Einbauzeitpunktes ist auch die sogenannte Ringschlusszeit. Das heißt zu welchem Zeitpunkt der Tragring der Sicherung geschlossen wird. Die Definition der Ringschlusszeit nach B.Maidl lautet: "..., dass sei diejenige Zeitspanne beschreibt, die zwischen dem Aufmachen der Ortsbrust bis zum Einbau der Sicherungsmaßnahmen vergeht, wobei die Abbindezeit des Spritzbetons einzurechnen ist."³ Also die Beeinflussung des Gebirgsverhalten ist umso günstiger, je kürzer die Ringschlusszeit ist. Die Verkürzung dieser Zeit kann durch die Wahl geeigneter Sicherungsmaterialien, wie Stahlfaserspritzbeton, der durch eine verbesserte Frühfestigkeit und durch wenige Arbeitsgänge also reduzierten Zeitbedarf charakterisiert ist, erzielt werden. [2]

In der Regel wird die vorübergehende Sicherung mithilfe von Spritzbeton ausgeführt. Die Konstruktion dieser Sicherung besteht aus dem Spritzbeton selber, Stahl- oder Gitterträger und Anker. Der Spritzbeton kann bewehrt oder unbewehrt ausgeführt werden, meistens ist aber die Bewehrung unvermeidbar. Die Stahlbögen und die Gitterträger haben eine kopfschützende Wirkung, sind im eingespritzten Zustand sofort tragfähig, funktionieren als Ringbewehrung für die Spritzbetonschale und stellen eine profilgebende Hilfe dar. Die Inhomogenitäten, wie Klüfte, Schichtungen und die Auflockerungen, die zum Beispiel beim Sprengen entstanden sind, werden mit den Ankern überwunden. So wird die Wirksamkeit des Tragsystems Tunnel-Gebirge erhöht. Eine Neuheit in den Sicherungsmaterialien ist der oben genannte Stahlfaserspritzbeton. Die Vorteile der Stahlfaser-Spritzbetonkonstruktionen

³ vgl. Maidl B.: Tunnelbau im Sprengvortrieb, S.121

bestehen in der möglichen Verminderung der Materialkosten durch die Reduzierung der Konstruktionsstärke, in dem benötigten Zeitaufwand für einen Abschlag (statt 12 nur 9 Stunden), und in der Steigerung der Tagesleistung (Die erwähnten Vorteile konnten beim Vortrieb des Crapteig-Tunnels in der Schweiz festgestellt werden).[2]

Die endgültige Sicherung [2], auch Innenschale genannt, besteht aus Stahlbeton. Der verwendete Beton ist ein Ortbeton und wird mithilfe von Schalwagen eingebracht. In letzter Zeit wurde, vor allem bei eingleisigen Tunnelröhren, auch Stahlfaserbeton als endgültige Sicherung verwendet. In der Regel ist die Sicherung als hochbiegesteif oder biegesteif ausgeführt. Sie wird erst dann eingebaut, wenn die Spannungsumlagerungen vorbei sind. Die Aufgabe dieser Sicherung besteht darin, die Dauerhaftigkeit, die Standsicherheit und die Gebrauchssicherheit für die gesamte Nutzungsdauer des Tunnels sicherzustellen.

Die Konstruktion, die aus vorübergehender Sicherung (Außenschale) und endgültiger Sicherung (Innenschale) besteht, nennt man zweischalige Sicherung und wird heutzutage noch als die konventionelle Konstruktion bezeichnet. Bei dieser Art der Sicherungskonstruktion wird angenommen, dass die Außenschale eine kurze Lebensdauer hat. Die Aufgaben und Merkmalen der Außen- und Innenschale sind schon oben erklärt worden.

Wie schon erwähnt strebt man heutzutage, die Außenschale in die endgültige Sicherung zu integrieren. Die Voraussetzung dafür ist ein ausreichender Verbund in der Kontaktfuge zwischen erster Lage und zweiter Lage der endgültigen Sicherung. Diese Integration der vorübergehenden Sicherung ist durch die folgenden drei Faktoren initiiert worden:

die Außenschale versagt nicht so schnell wie die theoretische Annahme behauptet

heute ist es möglich den Spritzbeton als Konstruktionsbeton herzustellen

die Verwendung von Stahlfaserbeton bzw. Stahlfaserspritzbeton verkürzt die Bauzeiten

2.2.2 Mechanischer Vortrieb mittels Bagger, Rippergeräten und Teilschnittmaschinen

Bei entsprechend günstigen geologischen Verhältnissen kann der Ausbruch durch Einsatz von Hydraulikbaggern, Rippergeräten oder Teilschnittmaschinen statt Sprengen erfolgen. Sie werden im folgenden Kapitel 2.2.2.1 näher betrachtet.

2.2.2.1 Allgemeines

Der Ausbruch durch Bagger setzt man in der Regel im Gebirge mit geringer Festigkeit und im Lockergestein ein. Der benutzte Hydraulikbagger ist mit einem Tieflöffel oder Hydraulikhämmern und –meißeln ausgerüstet. Die Hämmer und Meißel können sehr schnell angebaut oder gewechselt werden und werden zum Ausbruch von eingelagerten Felsbänken

benutzt. Der schwere Hydraulikbagger mit einer Schrämeinrichtung wird im leicht verbackenem Lockergestein eingesetzt.

Der profilgenaue Ausbruch des Tunnelquerschnittes ist wie beim Sprengvortrieb auch hier bei dem Vortrieb mittels Bagger für die gesamte Leistung des Projektes sehr wichtig. Um dies zu ermöglichen müssen die Baggerlöffel und deren Reißzähne um die Längsachse nach beiden Seiten hydraulisch drehbar sein. Mit den Baggern erzielt man aufgrund ihres flexiblen Einsatzes hohe Ausbruchleistungen. Es müssen aber auch die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

gute Profilgenauigkeit

es wird im gering oder nur mässig festen Baugrund ausgebrochen

Bei dem Ausbruch im Lockergestein mittels Hydraulikbagger sind sehr hohe Leistungen zu erzielen. Nach den Ausbrucharbeiten kann der Bagger zusätzlich als Ladegerät eingesetzt werden. [3]

Die Rippergeräte lassen eine einfachere Ausbruchsmethode als Bohren und Sprengen zu. Es müssen aber einige Voraussetzungen für ihren Einsatz erfüllt sein:

genügend großer Tunnelquerschnitt (im Kavernenbau sowie bei sehr grossen Tunnelquerschnitten)

geeignete geologische Verhältnisse (wie z. B. stark vorfraktionierte Gesteine, bankige Kalke, Sandstein, Mergel, kalkige oder sandig-kalkige Mergel, Sandstein sowie Schiefer verschiedenster Art). Wichtig ist, dass die Felsfestigkeit von gering bis mittel sein muss, sodass ein Bruch des Felses eintreten kann oder Platten gelöst zu werden.

leistungsstarke Maschinen müssen sich arbeitstechnisch entfalten können.

Die Rippergeräte bestehen aus einer Raupe mit Rippereinrichtung. Diese Einrichtung ist mit ein bis drei Ripperzähnen ausgestattet. Die Reißzähne werden hydraulisch auf und in den Fels gedrückt. Gleichzeitig wird auf sie ein Teil des Raupesgewichts übertragen. Es entsteht dabei Zugkraft, die die effiziente Reisskraft generiert. Deshalb sind zum Rippereinsatz nur besonders schwere Maschinen geeignet. Die Entwicklung der Rippereinrichtungen mit eingebauter Vibrationseinrichtung hat zu einem effizienteren Bruchvorgang geführt. Die Vibration mit geeigneter Frequenz verursacht Mikrorisse im Fels, die das Aufbrechen erleichtern und verstärken.

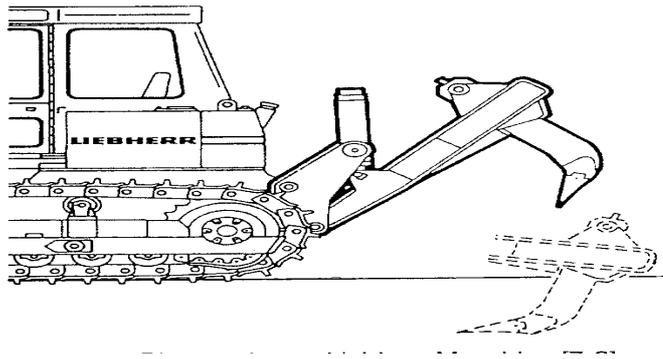


Abb. 2.2-3 Ripperzahn an Liebherr-Maschine [3]

Die Rippergeräte sind nur für breite Querschnitte geeignet, weil sie beim Aufreißen der Sohle mit ihren Reisszähnen nicht bis an die Tunnellaubung reichen dürfen. Das verlangt eine Nacharbeit dieses Randstreifens. Meist setzt man für diese Nacharbeiten einen Bagger, der mit Hydraulikhammer ausgerüstet ist, ein. Das Rippergerät hat den Nachteil, dass es nur zum Lösen des Gesteins gebraucht werden kann. Zum Laden sind noch weitere Schüttergeräte erforderlich.

Die Aufreißeleistung der Rippergeräte kann man schätzen, wenn die Geologie, die Arbeitsbedingungen, die Geräte und Fahrer ausführlich bekannt sind. Nach Kühn kann die Aufreißeleistung ($\text{m}^3\text{-fest}$) bei größeren Tunneln und in Kavernen nach Abb. 2.2-5 ermittelt werden.[3]

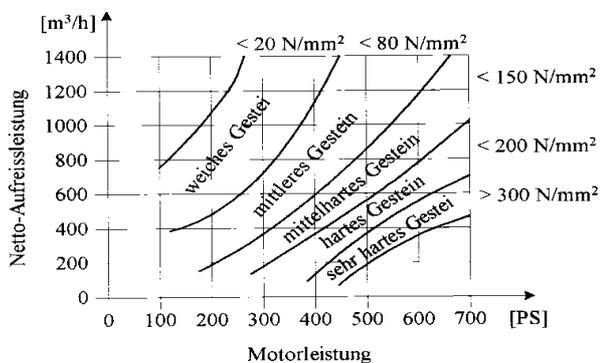


Abb. 2.2-4 Aufreißeleistung nach Kühn [3]

Die Teilschnittmaschinen werden wie die Bagger und Rippergeräte im Gebirge mit mittleren Gesteinsfestigkeit ($50\text{-}80 \text{ N/mm}^2$) und im Lockergestein eingesetzt. Ein effizienter Ausbruch wird geschafft, wenn das Gestein durch Schichtfugen und Klüfte entsprechend zerlegt ist. Die höheren Gesteinsfestigkeiten verlangen größere Antriebsleistungen des Schneidkopfes und schwerere Maschinen. Daraus ergeben sich zwei wirtschaftliche Einsatzgrenzen für die Teilschnittmaschinen:

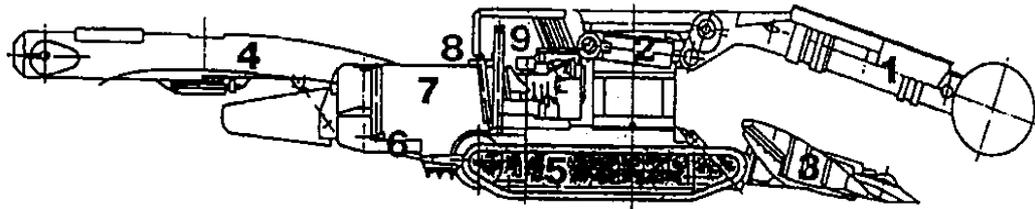
die Gesteinsfestigkeiten können maximal von 100 bis 120 MN/m^2 sein

die Tunnelquerschnitte müssen größer 10 m^2 sein

Die Teilschnittmaschinen haben eine gute Anpassungsfähigkeit, aus diesem Grund werden sie oft bei kürzeren Tunnellängen (ca. ≤ 3 km) und bei wechselnden Querschnitten und Gebirgsverhältnissen den Vollschnittmaschinen vorgezogen. Der flexible Einsatz der TSM wird durch die Art, nach der diese Maschinen das Gebirge abbauen, bedingt. Sie stellen das Ausbruchprofil in mehreren Angriffen her. Örtlich erfolgt der Abbau in Spurstreifen, die durch die folgenden Schritte abgearbeitet werden [3]:

1. Schritt: Einsenken des Schneidkopfes in die Ortsbrust durch Ausfahren des Teleskopauslegers, durch Vorwärtsbewegung des gesamten Raupenfahrzeugs oder durch Ausschwenken des Knickauslegers.
2. Schritt: Schwenken des Schneidarms entlang des Spurstreifens. Das Trägergerät befindet sich dann stationär an einer Stelle und so ist das Beladen der Transporteinrichtungen möglich. Die vertikale Bewegung des Schrämarms wird hydraulisch (hydr. Zylinder) angetrieben.
3. Schritt: lagenweises Schwenken des Schneidarms, Spur für Spur wie im Schritt 2.
4. Schritt: Profilieren des Ausbruchrandes.

Neben der guten Anpassungsfähigkeit haben diese Vortriebsmaschinen noch weitere Vorteile wie die relativ kurze Mobilisationszeit, den erschütterungsfreien Vortrieb und den kontinuierlichen Arbeitszyklus. Der kontinuierliche Arbeitszyklus ist durch den Aufbau der TSM (Abb.2.2-6) bedingt. Die Teilschnittmaschinen vereinigen mehrere Einzelarbeitsgänge wie Abbau der Ortsbrust mittels Schrämkopf, Aufnehmen des gelösten Materials mittels Ladeeinrichtung und Fördern des schon aufgenommenen Materials mittels Stetigförderer zur Beladung von Transportfahrzeugen oder anderen (sekundären) Stetigförderanlagen. Um diese Arbeiten zu bewältigen, brauchen die TSM keine Wendemanöver zu machen. Die Teilschnittmaschinen sind meistens aufgrund ihres Eigengewichts und der harten Einsatzbedingungen mit einem Raupenfahrwerk ausgerüstet. Dieses kann neben den großen Gewichten auch die zusätzlichen Kräfte aus dem Betrieb und dazu noch die Schwingungen vom Schrämpprozess aufnehmen. Die TSM können auch am Schildrahmen oder einem anderen Trägern befestigt sein. Die Maschinen unterscheiden sich nach Gewicht und installierter Antriebsleistung. Es sind Gewichte von 20 bis 80 t und installierte Antriebsleistung von 50 bis 200 kW üblich (Tab. 2.2-1). Die optimale Abstimmung der Schneidleistung auf das Maschinengewicht spielt wesentliche Rolle für den wirtschaftlichen Einsatz der TSM. Die Teilschnittmaschinen können über Kabel und Funk, über Vorsteuerventile oder elektrohydraulisch über Mikroprozessoren für profil- und richtungsgenaueres Schrämen gesteuert werden. [3]



- 1. Schrärmarm
- 2. Schwenkwerk
- 3. Ladeeinrichtung
- 4. Kettenförderer
- 5. Raupenfahrwerk
- 6. Rahmen
- 7. Elektrische Ausrüstung
- 8. Hydraulische Ausrüstung
- 9. Fahrerstand

Abb. 2.2-5 Teilschnittmaschine [3]

Nr.	TSM-Klasse	Eigen-gewicht [t]	Schräm-leistung [kW]	Operationsbereich			
				Standard-TSM max. Querschnitt [m ²]	max. Fels-festigkeit [MPa]	Erweiterte TSM max Querschnitt [m ²]	max. Fels-festigkeit [MPa]
1	leicht	8–40	50–170	25	60–80	40	20–40
2	mittel	40–70	160–230	30	80–100	60	40–60
3	schwer	70–110	250–300	40	100–120	70	50–70
4	extra schwer	> 100	350–400	45	120–140	80	80–110

Anmerkung: Der maximale Querschnitt ergibt sich aus der Länge des Schneidarms, der von einer Position aus erreicht werden kann, sowie den maximalen, eindimen-

sionalen Fels-Festigkeiten, die unter normalen Randbedingungen noch mit einer TSM abgebaut werden können.

Tabelle 2.2-1 Klassifizierung der TSM [3]

Ein weiteres wesentliches Merkmal, durch welches sich die TSM voneinander unterscheiden, ist die Anordnung des Schneidkopfes (auch Schrä- oder Fräskopf genannt). Diese Anordnung kann quer- oder längsdrehend zur Auslegerachse (Abb.2.2-6) angeordnet sein.

Der Längsschneidkopf rotiert um die Auslegerachse und steht auf seiner ganzen Länge einseitig im Angriff. Bedingt durch die von der Maschine aufzunehmenden Reaktionskräfte (Torsionsreaktionsmomente, Anpresskraft des Kopfes als Resultierende der Querbewegung des Arms), müssen diese Maschinen bei gleicher installierter Leistung schwerer als jene mit Querschneidkopf sein. Die Maschinen, die mit einem Längsscheidkopf ausgerüstet sind, haben einige Vorteile gegenüber den Querschneidkopfmaschinen.

Diese sind:

Der Schneidkopf ist mit Rundschaftmeißeln besetzt. Die Anordnung der Meißeln auf dem Kopf ist wegen der meist identischen Schnitt- und Rotationsrichtung des Schrämkopfes einfacher

geringeres Überprofil (eine punktgenauere Kopfführung möglich ist)

geringerer Meißelverbrauch

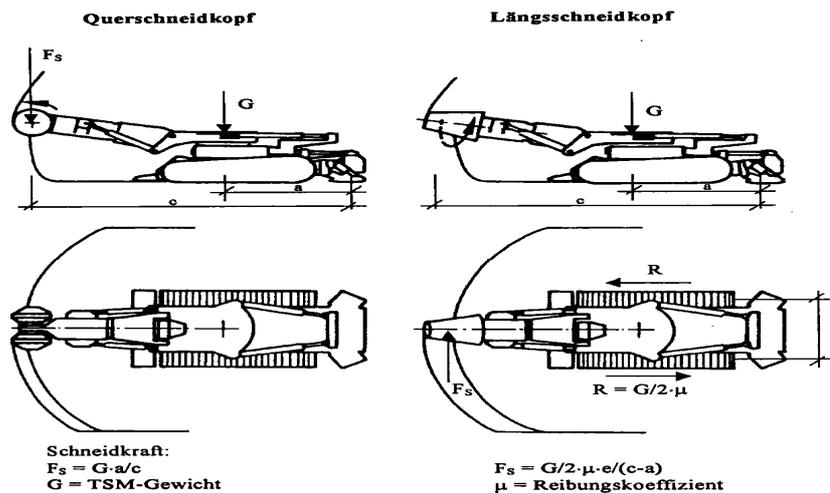


Abb. 2.2-6 Gesteinslöseprozess [3]

Bei den Maschinen, die mit **Querschneidkopf** ausgerüstet sind, rotieren meist zwei Fräsköpfe quer zur Längsrichtung des Auslegers. Die Reaktionskräfte oder der größte Teil von ihnen werden durch das Eigengewicht der Maschine aufgefangen, deshalb kann sie leichter ausgeführt werden. Die höhere Stabilität dieser Art von Teilschnittmaschinen ist durch das zur Ortsbrust gerichtete Schneiden bedingt. Die Vorteile des Querschneidkopfes gegenüber dem Längsschneidkopf sind die effizientere Nutzung der Schichtungen des Gebirges zum Lösen des Gesteins und die geringere Empfindlichkeit gegenüber wechselnden Gesteinsbedingungen und -festigkeiten.[3]

Der Schrämpprozess hängt wesentlich von der Anordnung der Rundschaftmeißel auf dem Fräskopf ab. Für die Wahl der optimalen Anordnung sind die folgenden Größen wichtig [3]:

- die Form und Größe des abzubauenen Tunnelprofils
- die dominierenden Gesteinsformationen und die davon abhängigen Werkzeugkosten
- die in der Zeiteinheit zu lösende Menge

Die Bestandteile der Rundschaftmeißel sind in Abb. 2.2-8 dargestellt.

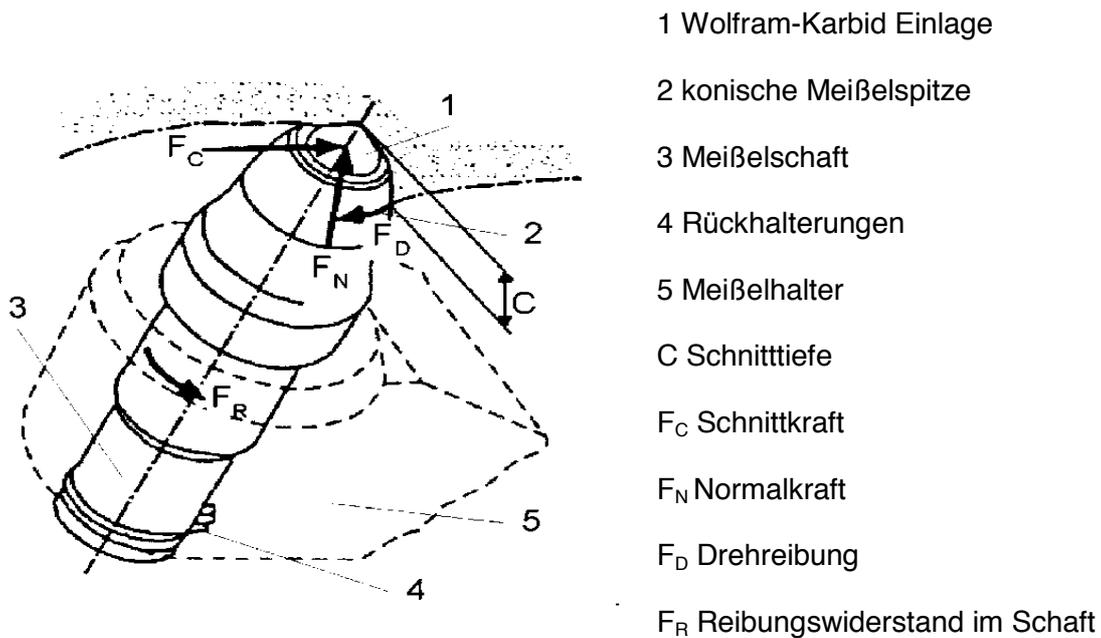


Abb. 2.2-7 Rundschaftmeißel [3]

Das Trägergerät des Schneidkopfes ist der Schrämarm mit Schwenkwerk. Der Schrämarm hat drei translatorische Freiheitsgrade:

horizontales und vertikales Drehen des Schrämarms

Bewegung des Schrämarms in Längsrichtung

in radialer Richtung durch Teleskopausleger

in vertikaler und radialer Richtung mittels Knickausleger (Abb. 2.2-8)

Für das wirtschaftliche Schneiden ist es wichtig, dass die Form des Schneidkopfes und die Schwenkpunkte des Auslegers dem Streckenprofil angepasst sind.

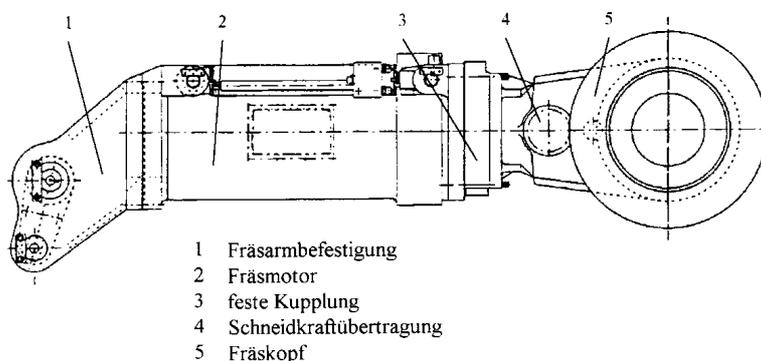


Abb. 2.2-8 Knickausleger [3]

Der Gesteinslöseprozess mittels Rundschaftmeißel wird in der Abb. 2.2-9 schematisch dargestellt. In der ersten Phase wird die Rundschaftmeißelspitze in das Gestein gedrückt (Kontaktdruckzone). In der zweiten Phase erfolgt durch die Erhöhung des Anpressdrucks

infolge der Rotation des Schneidkopfes ein weiterer Anstieg des Kontaktdrucks. Daraus folgt die Erweiterung der Druckzone und das Zermahlen des Gesteins. In der Phase 3 ist schon ein zerstörter Bereich vorhanden. In dieser Phase schreitet die Rissfortpflanzung fort und der Kontaktdruck fällt ab. In der Phase 4 erfolgt das Herauslösen der Chips und die Entlastung der Meißel.[3]

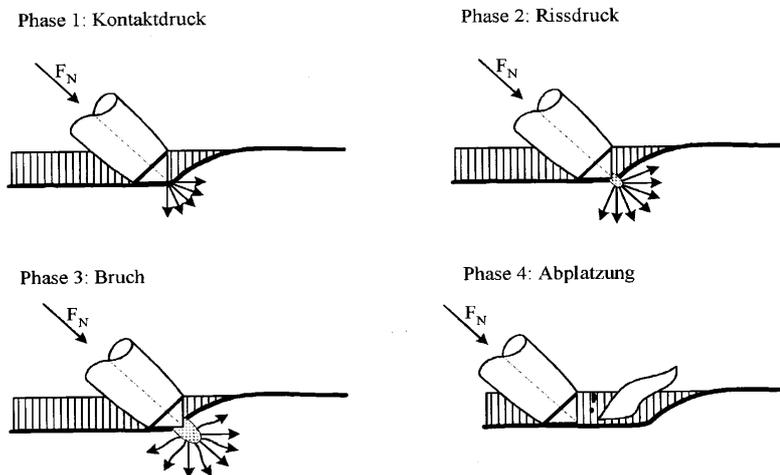


Abb. 2.2-9 Gesteinslöseprozess [3]

Das Gesteinsmaterial, das mit einem Schneidkopf gelöst wird, ist relativ feinkörnig und mit Gesteinschips durchsetzt. Aufgrund des oben erläuterten Löseprozesses ergibt sich ein wesentliches Merkmal des Schrämvorgangs nämlich das Auftreten von viel Feinstaub. Das stellt besonders hohe Anforderungen an die Staubbekämpfung. Die Erfüllung dieser Anforderungen ist für die TSM weit schwieriger als bei einer Vollschnittmaschine.

Der Ladevorgang [3] erfolgt mittels Ladeteller oder Ladevorrichtung, die ein integrierter Teil der Teilschnittmaschine sind. Die Ladevorrichtung befindet sich am Vorderteil der TSM. Die Art des benutzten Ladesystems hängt von den Gesteinsarten und von den Faktoren wie Stückigkeit, Konsistenz, Kornverteilung und Gleichförmigkeit ab. Die möglichen Ladevorrichtungen sind:

ein Seitengriffklader mit Greifarmen (für brockiges Material)

Tieföffel (für Lockergestein)

Hummerscheren und Ladescheiben (für große Mengen an feinem und mittelgrobem Material)

die Ladeketten

die zentrale Ladeschwinge

das direkt durch den Querschneidkopf im Schneidarm integrierte Kratzband

Die Ladesysteme kann man austauschen, um sie an den wechselnden geologischen Verhältnissen während des Vortriebs anzupassen. Die TSM haben meist auch eine integrierte Fördereinrichtung, die schwenkbar und höhenverstellbar ist. Die Anordnung der Materialaufnahmevorrichtung mit Fördereinrichtung kann folgenderweise ausgeführt werden:

Zentrale oder außen liegende Stetigfördereinrichtungen mit am Boden aufliegender Aufnahmeplatte und integrierten Ladeeinrichtungen. Der Stetigförderer muss einen ausreichend großen Durchgangsquerschnitt haben, um den Einsatz von Zerkleinerungsmaschinen für die Felsbruchstücke zu vermeiden.

Zentral am Schrägmarm

Der Transport des aufgenommenen Materials erfolgt in der Regel durch Ketten- oder Kratzbänder, mit denen das Transportsystem im Tunnel beladen wird. Die gewählte Transportmethode bestimmt die Übergabe des Ausbruchsmaterials von der TSM. Bei LKW- oder Dumperbetrieb benötigt man an der TSM nur ein verlängertes Kratzband, bei Gleistransport wird eine Übergabebrücke oder ein Nachläufer erforderlich. Bei kleineren Querschnitten verwendet man ein abgehängtes Band oder einen abgehängten Nachläufer. Bei großen Querschnitten werden ähnliche Nachläufer benutzt, die abgehängt oder als Rahmenkonstruktion über Bodenschienen nachgeführt werden. Wie beim Vortrieb mittels Sprengen tragen die Nachläufer die Entstaubungsanlage, die Elektroinstallationen und Verlängerungskabel für die Versorgung der TSM. So wird eine Trennung der Materialflüsse im Tunnel geschafft. Für einen effizienten Vortrieb ist es noch wichtig, dass die Transportleistung und die Ausbruchleistung der Teilschnittmaschine aufeinander abgestimmt werden.[3]

3 Technische Daten, Funktionsweise und Einsatz, der in den einzelnen Teilabschnitten der Betriebsweise verwendeten Geräte

3.1 Bohren

Die Bohrtechnik und die damit verbundenen Maschinen erfuhren in den vergangenen zwei Jahrzehnten eine wesentliche Entwicklung, die von der Umstellung von luftbetriebenen auf hydraulisch betriebene Bohreinrichtungen bestimmt ist. Dadurch wurde eine deutliche Steigerung der Bohrgeschwindigkeit erzielt. Die Bohrgeräte verwendet man im Sprengvortrieb für die Sprengbohrung, Ankerbohrung, Entlastungsbohrung (zur Druckwasserentlastung bzw. –entspannung) und Erkundungsbohrung (Vorausbohrungen zur Feststellung von Störungen bzw. wasserführenden Schichten). Diese Geräte reichen heute von der handgeführten Stützenbohrmaschine mit Druckluftbetrieb bis zur vollmechanischen, selbstfahrbaren hydraulischen Bohreinrichtungen.[4] Die Bestandteile der Bohrausrüstung werden in dem Kapitel 3.1.1 äher betrachtet.

3.1.1 Bohrhämmer

Die Bohrhämmer werden nach ihrem Gewicht eingeteilt. Diese Einteilung ist in der Tab. 3.1-1 gegeben.

Klasse	Gewicht	Vorschubeinrichtung
Leichte Bohrhämmer	bis 17 kg	von Hand, Bohrstütze
Mittelschwere Bohrhämmer	17 bis 30 kg	Bohrstütze, Leiter, Bohrlafette
Schwere Bohrhämmer	über 30 kg	Bohrlafette, Boom und Jumbo

Tabelle 3.1-1 Einteilung der Bohrhämmer [3]

Der Antrieb kann pneumatisch für leichte, handgeführte Bohrhämmer bis ca. 30 kg oder hydraulisch für schwere Bohrhämmer erfolgen. Die leichten Bohrhämmer können auf Stützen von der Sohle aus eingesetzt werden, die Schweren werden auf Bohrlafetten und Bohrarmen auf Fahrzeuge montiert. Die Vorteile der Kombination von Bohrhammer, Bohrlafette und Bohrarm gegenüber der Bohrstütze sind [4]:

Zwangsführung mit größerer Bohrgenauigkeit

Bohrgestängebeanspruchung wird reduziert

steuerbarer Anpressdruck über Sensoren (der Anpressdruck bestimmt die Standzeit der Bohrkrone und die Bohrleistung)

automatische Hammerrückführung

Einsatzbereich [5]:

Leichte Bohrhämmer: bei Nebenarbeiten, bei beengten Verhältnissen im Tunnel
(Streckenhöhen bis 2 m)

Mittelschwere Bohrhämmer: bei Streckenhöhen über 2 m

Schwere Bohrhämmer: die schweren hydraulischen Drehschlagbohrhämmer auf
selbstfahrenden Bohrwagen werden im modernen Tunnelbau verwendet.

Die Tab. 3.2-1 stellt einige Druckluft- bzw. Hydraulikhämmer dar, die sich heute auf dem
Markt befinden.

Firma/Bohrhammer	Bohrbereich	Gewicht	Länge	Schlagzahl	Drehzahl
BÖHLER – HS 432-S	38-64 mm	115 kg	843 mm	51-59 Hz	0-5,3 U/s
BÖHLER – HS 448	43-89 mm	155 kg	990 mm	43-58 Hz	0-5,3 U/s
ATLAS COPCO 1032	35-64 mm	112 kg	878 mm	40-50 Hz	0-5,0 U/s
ATLAS COPCO 1238	38-89 mm	151 kg	1002	42-65 Hz	0-7,7 U/s

**Tabelle 3.1-2 Übersicht über einige Kategorien derzeit im Tunnelbau einsetzbarer Bohrhämmer (nach
Firmenunterlagen) [6]**

3.1.1.1 Pneumatische Bohrhämmer

Die pneumatischen Bohrhämmer arbeiten nach dem Prinzip des schlagenden Bohrens
(siehe Kapitel 2.2.1.2). Die effektive Lösearbeit wird nur im Moment des Schlagens geleistet.
Die Bohrstange wird während des Rückhubes geringfügig gedreht (Umsetzwinkel), d.h.
Schlagbohrhämmer haben keine kontinuierliche Rotation.[2] Die Arbeitsweise der
pneumatischen Bohrhämmer ist durch ihren Aufbau (Abb. 3.1-1) bestimmt. Im Bohrgehäuse
sind Dreh- und Schlagwerk deutlich getrennt. Das Schlagen erfolgt durch den Schlagkolben,
der geradlinig hin und hergeht und auf das Einsteckende der Bohrstange schlägt. Die
Drehbewegung erfolgt durch das Drehwerk bzw. den Rotor, der die Bohrhülse antreibt. Die
Leistung der Schlagbohrhämmer hängt von der Andruckkraft, die ihrerseits von der
Gesteinsart, dem Betriebsluftdruck und der Erfahrung der Bohristen abhängig ist, ab. Der
lose Kontakt zwischen Bohrkopf und Bohrlochsohle während der Umdrehung der
Bohrstange, ist das Merkmal, welches das schlagende Bohren charakterisiert.[2]

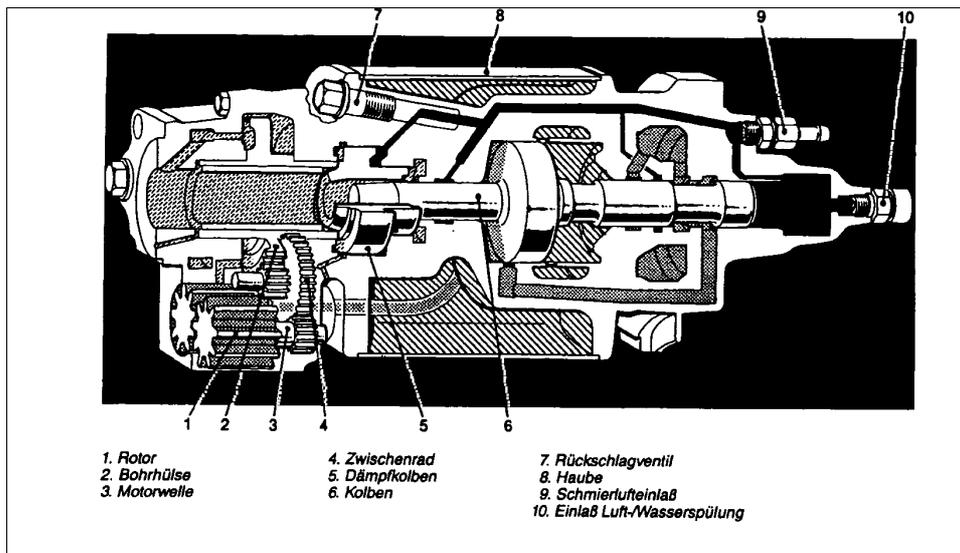


Abb. 3.1-1 Druckluftbohrhammer AC COP A 15 [4]

3.1.1.2 Hydraulische Bohrhämmer

Der elektrisch angetriebene Hydraulik-Drehschlagbohrhammer wird heute immer öfter im Tunnelbau eingesetzt. Der Drehschlagbohrhammer ist eine Kombination aus Drehbohrmaschine und Schlagbohrhammer. Er besitzt ein konstantes Schlagwerk und ein stufenlos regelbares Drehwerk. Aus diesem Grund kann er sowohl als ein reiner Schlagbohrer als auch, durch Zuschaltung des Drehwerks, drehschlagend arbeiten. Der Aufbau der hydraulischen Bohrhämmer ist auf die Abb. 3.1-2 dargestellt.

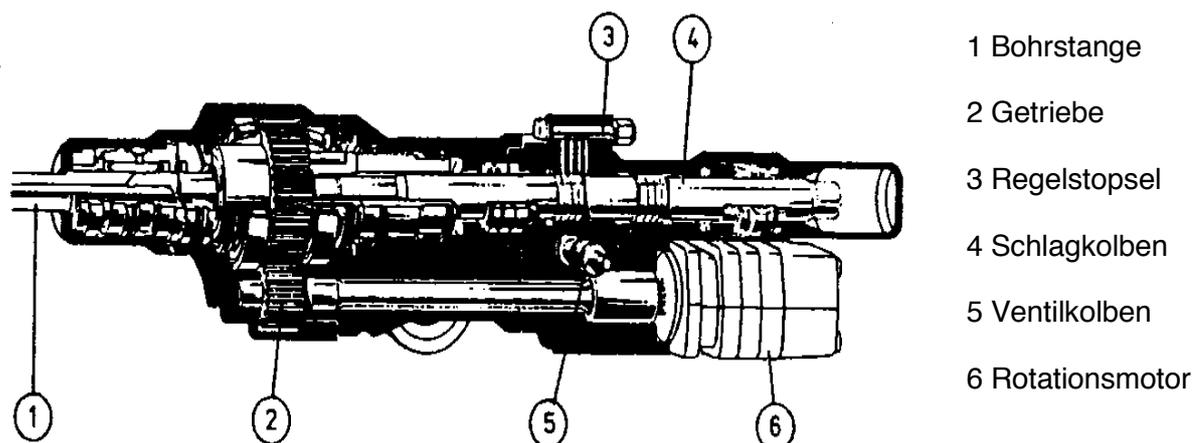


Abb. 3.1-2 Aufbau der Hydraulikbohrhammer [2]

Der Schlagkolben wird durch die Hydraulikanlage angetrieben. Die dabei benutzten relativ hohen Hydraulikdrücke reichen je nach Typ der Anlage von 90 bis 250 bar. Sie erlauben einen geringeren Kolbendurchmesser. Dabei muss aber die Kolbenlänge größer sein. Der Grund dafür ist, dass das für die Schlagenergie des Einzelschlages erforderliche Gewicht über diese Kolbenlänge eingebracht werden muss. Die Drehbewegung der Bohrstange wird

durch einen separaten Rotationsmotor erzeugt. Mit Hilfe eines Getriebes wird die Drehbewegung an die Einsteckhülse für das Bohrgestänge weitergeleitet.[4] Drehwerk und Schlagwerk arbeiten voll hydraulisch und sind gemeinsam im Hammergehäuse integriert. Der hydraulische Bohrhammer hat ein relativ hohes Gewicht (zwischen 50 und 180 kg). Dieses Gewicht und die notwendigen Andruckkräfte erfordern das Führen des Hammers auf einer Lafette mit hydraulisch angetriebenem Ketten-, Seil- oder Teleskopvorschub. Die notwendige große Baulänge des Hammers reduziert die Nutzlänge der Lafette (siehe Kapitel 3.2.3). Wie groß die Anteile des Schlagwerks und des Drehwerks an der Löseleistung sind, hängt von der Schlagenergie, der Schlag- und Drehzahl, dem Drehmoment, der Andruckkraft, dem Bohrkopf und der Eigenschaften des Gesteins ab. Die Vorteile der Hydraulik-Bohrhammer sind:

die bessere Energieausnutzung

die bessere Anpassung an wechselnde Gebirgsverhältnisse durch die hydraulische Koppelung von Schlagwerk, Drehwerk und Vorschubsystem

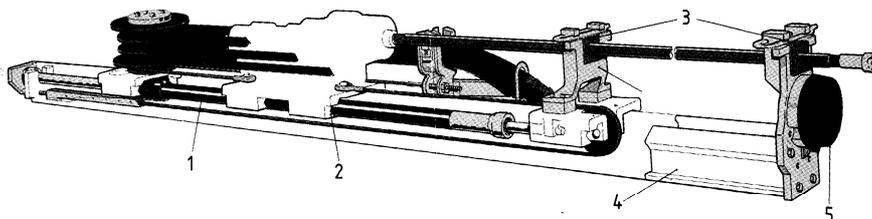
die Verminderung der Lärm- und Schmutzbelastung

die kontinuierliche Rotation und der permanente Kontakt des Bohrwerkzeuges mit der Bohrlochsohle charakterisiert das drehschlagende Bohren.[2]

3.1.2 Zusatzkomponenten

Bohrlafette

Wie schon erwähnt, benutzt man die Bohrlafetten für die mechanische Führung schwerer und mittelschwerer hydraulischer Bohrhämmer und wenn der Ausbruchquerschnitt über 8 m^2 beträgt. Das Grundprinzip und der Aufbau der Bohrlafette sind auf der Abb. 3.1-3 dargestellt. Der Bohrhammer wird dabei auf einem Schlitten montiert und dieser in einem Führungsrahmen in Bohrrichtung vorgeschoben. Der Vorschub wird durch verschiedene Antriebsarten wie Spindel, Seil, Kette, Zahnstange oder Hydraulikzylinder getätigt. Die Antriebsart bestimmt die aufzubringenden Vorschubkräfte. Sie reichen von 6 bis 12 kN. [4]



1 Hydraulikzylinder, 2 Führungsschienen, 3 Bohrstangen-Führung, 4 Lafettenarm,
5 Andruck-Puffer

Abb. 3.1-3 Bohrlafette [4]

Die Bohrlafetten benötigen in jedem Fall ein Trägergerät. Dieses ermöglicht die horizontale und vertikale Bewegung der Lafette.

Die Vorteile der Bohrlafette sind die Zwangsführung der Bohrhammer und Bohrgestänge, die daher möglichen präzisen Bohrungen, die Bohrgeschwindigkeitserhöhung (durch die konstante und größere Vorschubkraft), die Reduzierung der Materialbeanspruchung und damit die Wartungserleichterung.

Auf dem Markt werden die Bohrlafetten mit festen Längen oder in Teleskopausführung angeboten. Die Teleskoplafetten besitzen einen zweiten Lafettenkörper, auf dem die Bohrhammerlafette unabhängig von der Vorschublänge des Bohrhammers mit Hilfe eines eigenen Hydraulikzylinders zusätzliche Vorschublänge ausfahren kann. [2]

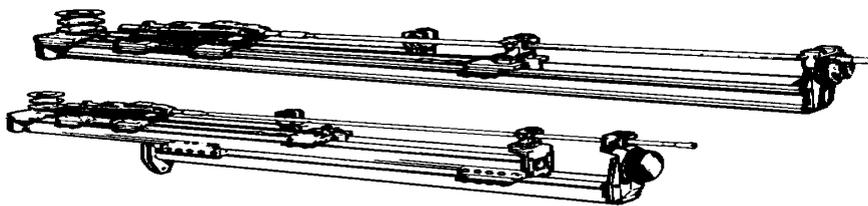


Abb. 3.1-4 Bohrlafetten, einfach und teleskopierbar [2]

Bohrarm

Der Bohrarm ist der Träger der Bohrlafette und des Bohrhammers. Er ist allseitig schwenkbar. Diese Beweglichkeit wird durch eine Reihe von Hydraulikzylindern, die für die Teleskopierbarkeit der Bohrstütze und für die Rotation der Bohrlafette um die Vortriebsachse sorgen, gewährleistet. Die Direktsteuerung der Bohrarmbeweglichkeit ermöglicht minimale Umsetzzeiten dadurch, dass jeder Punkt im Arbeitsfeld des Bohrarms direkt (diagonal auf dem kürzesten Weg) angesteuert werden kann. Damit wird das Auftreten von sogenannten Bohrschatten (vom Bohrarm nicht zu erreichende Querschnittsbereiche) vermieden.[2]

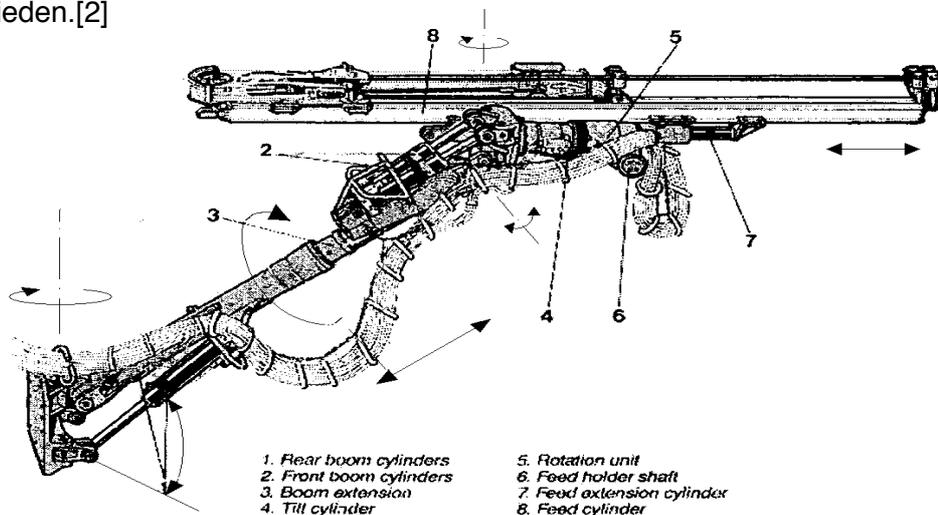


Abb. 3.1-5 Bewegungsmöglichkeiten und Aufbau des Bohrarms [2]

Die Bohrrarme verfügen über eine so genannter Parallel-Automatik. Diese sorgt für die automatische Beibehaltung der parallelen Ausrichtung der Bohrlafette in der Tunnelachse während des Umsetzvorgangs zum nächsten Bohrloch. Diese Möglichkeit des Einbaues von Zwangsparallelführungen im Bohrrarm erleichtert wesentlich das Bohren von Paralleleinbrüchen, welche bei gleichem Ausbruchquerschnitt größere Abschlagslängen zulassen.

Der Einsatzbereich der Hydraulikbohrarme ist [5]:

- bei Querschnitten von 8 m^2 an aufwärts
- bei Querschnitten $\geq 15 \text{ m}^2$ – nur in Kombination mit einem fahrbaren Trägergerät
- bei Paralleleinbrüchen (siehe oben)
- beim Ankerbohren

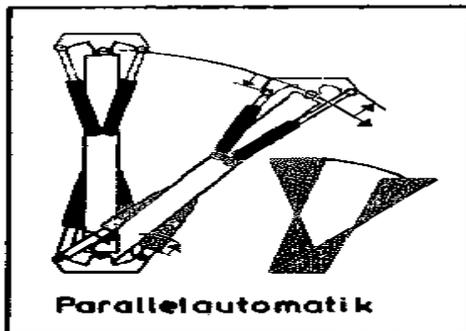


Abb. 3.1-6 Kinematik der Parallelautomatik des Bohrrarmes [2]

Arbeitsplattform [2]

Sie werden für Sicherungs-, Lade- und Ankerungsarbeiten benutzt. Auf einem Geräteträger wird ein mehrfach teleskopierbarer Hilfsarm befestigt, welcher als Träger der Arbeitsplattform dient. Die Bewegungsmöglichkeiten des Hilfsarms sind ähnlich jenen des Bohrrarms. Es sind Vertikalbewegungen von 60° aufwärts bis 35° abwärts und seitliches Schwenken um $\pm 45^\circ$ möglich. Dadurch kann der Teleskopweg je nach Ausführung bis zu 11 Meter weit reichen. Einige Merkmale der Arbeitsplattform:

- Eigengewicht 1,5 -1,9 t
- bei diesen Gewichten werden Lasten von 300 – 400 kg bewegt
- vertikale Parallelautomatik (wodurch die horizontale Lage der Arbeitsbühne gesichert wird)
- bietet zwei Mineuren Platz im Ladekorb
- Steuerung vom Bohrwagen und von der Arbeitsplattform aus möglich

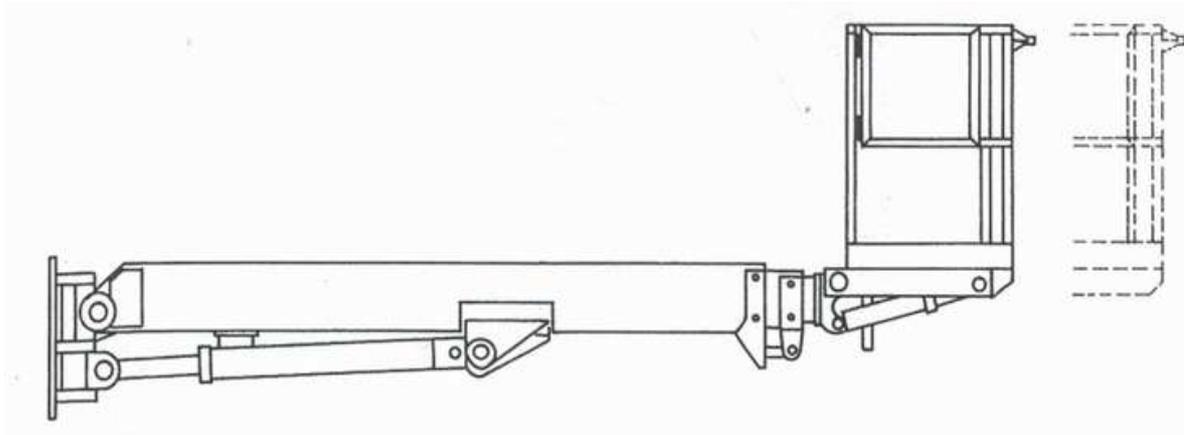


Abb. 3.1-7 Hydraulisch teleskopierbare Arbeitsplattform [2]

Bohrwerkzeuge

Bohrstahl [2]

Es dient der Kraftübertragung (Schlagen, Rotation) und der Übertragung des Spülmediums (Luft, Wasser) zwischen dem Bohrhammer und der Bohrkronen auf das Gestein. Im Allgemeinen haben die Bohrstangen eine Länge von 3,50 bis 5,00 m. Dem Begriff Bohrstahl wird einzelne, unabhängig voneinander auswechselbare, der variablen Tiefe und dem Bohrdurchmesser eines Bohrlochs angepasste Bohrstahlelemente zugeordnet. Diese sind [2]:

Einsteckende

Verbindungs-
muffen

Vortriebsstangen (Verlängerungsstangen)

Bohrkronen

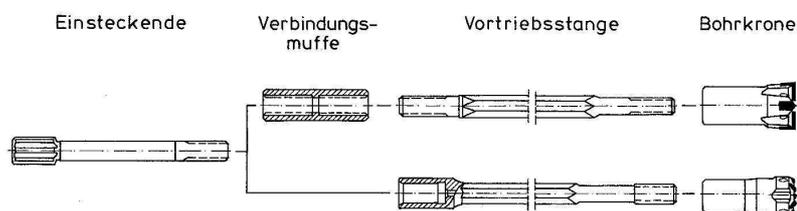


Abb. 3.1-8 Schematische Darstellung- Bohrgestänge [4]

Bohrkronen

Die Bohrkronen (Bohrkopf) sind jener Teil der Bohrausrüstung, der die Bohr- und Zerkleinerungsarbeit am Gestein ausführt. Sie bestehen aus einem Werkzeugträger aus Werkzeugstahl, in den die eigentlichen Werkzeugeinsätze aus Hartmetall (Stifte) eingesetzt sind. Die verschiedenen Formen von Hartmetallstiften in Bohrkronen und ihre Eignung in verschiedenen Gesteinen sind in der folgenden Tabelle 3.1-3 dargestellt.

Bezeichnung	Stiftform	Eigenschaften	Anwendungsgebiete
Rundstift „sphärisch“ halbkugelförmig	rund 	geringer Verschleiß, hohe Bruchfestigkeit, ⇒ hohe Standzeit Lösevorgang hauptsächlich schlagend - durch die Kerbwirkung	Gesteine mit hohen Druckfestigkeiten und hoher Abrasivität typ.: Quarzite, Granite, Gneise, Amphibolite, harte Kalke
Ballistikstift „semi-ballistisch“ (parabelförmig)	ballistisch 	„aggressiv“, d. h. hohe Bohrgeschwindigkeit, aber auch höherer Verschleiß gegenüber runden Stiften Lösevorgang hauptsächlich schierend-spanend	Gesteine mit mittleren Druckfestigkeiten und geringer Abrasivität typ.: kristalline Schiefer, Sandsteine, Kalke, verwitterte Gesteine (z.B. verw. Granite etc.)
Kegelstift auch: Ballistikstift „ballistisch“ (kegelförmig)	konisch 	„sehr aggressiv“, d. h. hohe Bohrgeschwindigkeit, aber auch höherer Verschleiß gegenüber runden und ballistischen Stiften Lösevorgang hauptsächlich schierend-spanend	Gesteine mit geringen Druckfestigkeiten und geringer Abrasivität typ.: Tonschiefer, mürbe Sandsteine, Phyllite

Tabelle 3.1-3 Formen von Hartmetallstiften in Bohrkronen und ihre Eignung in verschiedenen Gesteinen [4]

Die verschiedenen Bauformen der Bohrkronen unterscheiden sich durch Anzahl und Form der Stifte sowie die Anzahl und Anordnung der Spüllöcher.

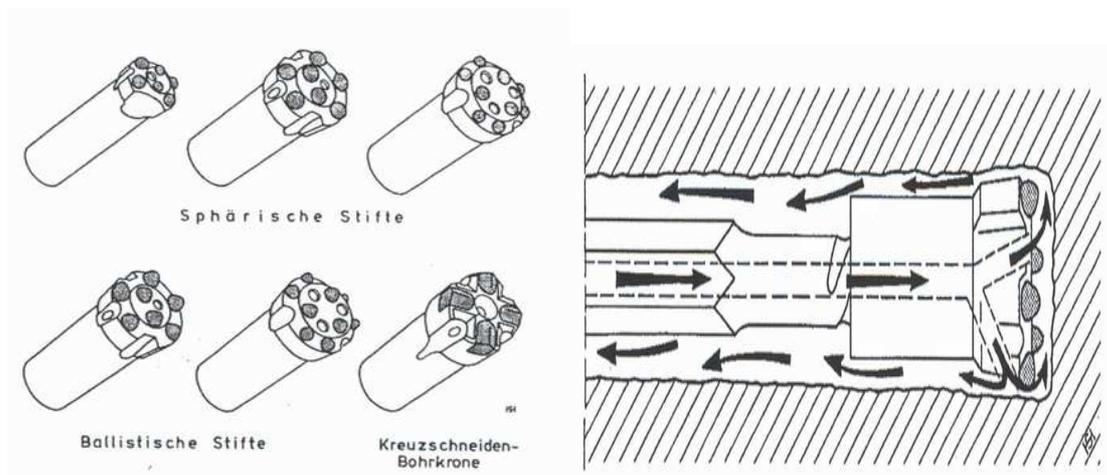


Abb. 3.1-9 Übersicht den Bohrkronen [2]

Abb. 3.1-10 Prinzipskizze der Kühlung, Spülung und Bohrkleinaustrag [2]

3.1.3 Bohrwagen

Der Bohrwagen ist das fahrbare Trägergerät der Einzelgeräte Bohrhämmer, Lafette, Bohrarm und Arbeitsplattform. Diese Einzelkomponenten der Bohrausrüstung sind variabel und erlauben eine den Anforderungen entsprechende flexible Anpassung an den jeweiligen Anwendungsfall. Der Bohrwagen nimmt das Antriebsaggregat, elektrische Systeme, die

Kabeltrommel für die elektrische Einspeisung, Hydraulikpumpen, Hilfsaggregate und den Steuerstand auf.

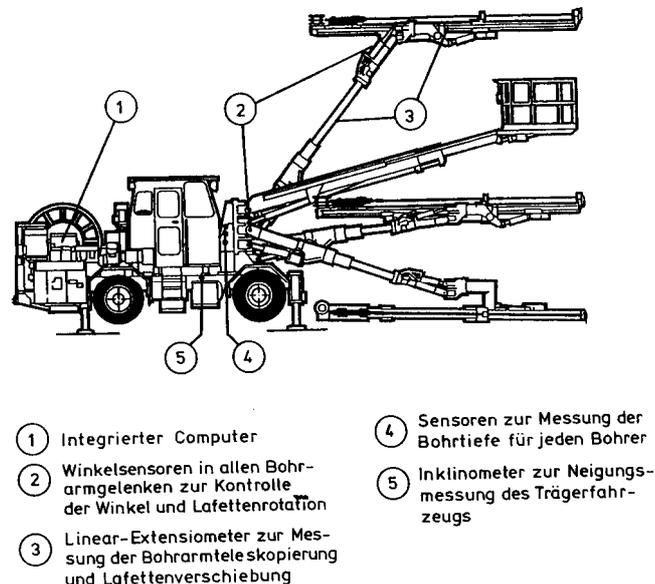


Abb. 3.1-11 Hochleistungsbohrwagen und die Komponenten zur Automatisierung der Steuertechnik [2]

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Typen von Untertagebohrwagen, die sich je nach den mechanischen Eigenschaften des zu bohrenden Gesteins, den räumlichen Verhältnissen (Neigung, Querschnittabmessungen) des Einsatzes und den technologischen Bedingungen entwickelt haben. Die Bohrwagen werden als Rad-, Ketten- oder schienengebunden als Gleisfahrzeuge ausgebildet. Beim konventionellen Tunnelvortrieb kommen heute hauptsächlich gummibereifte, dieselangetriebene, elektro-hydraulische Bohrwagen (Tunnelneigung $\leq 20^\circ$; Tunnelquerschnitt $\geq 15 \text{ m}^2$) zum Einsatz. Diese Bohrwagen haben verschiedene Ausführungen mit zwei bis drei Bohrarmen (= Anzahl der Lafetten und Bohrhämmer) und zusätzlich noch eine oder zwei Hebebühnen.[4] Dieser große Mehrarmbohrwagen entfaltet seine volle Effizienz, wenn die Steuerung der Bohrarme mit Hilfe von einem computerunterstützten Bohrsystem stattfindet. Dieser vollautomatische (computergesteuerte) Bohrwagen und der halbautomatische Bohrwagen sind neueste Entwicklungen in der Bohrausrüstung, die zum Entfallen des zeitraubenden händischen Anzeichnen der Bohrlöcher geführt haben. Das wird durch einen auf dem Bohrwagen installierten Rechner durchgeführt. In diesem Rechner wird der vorprogrammierte Bohrplan über einen transportablen Speicher eingelesen. Die Bohrlöcher werden darin dreidimensional mit Ansatzpunkt, Winkel der Bohrlochneigung und Bohrlochtiefe dargestellt. Dadurch lassen sich nun die Bohrarme und Lafetten programmgesteuert zu den Bohransatzpunkten führen. Die Bohrwagenposition im Verhältnis zur Tunnelachse bzw. Ortsbrust, die für das Einmessen wichtig ist, wird durch einen auf einer der Lafetten installierten Laserstrahl bestimmt.

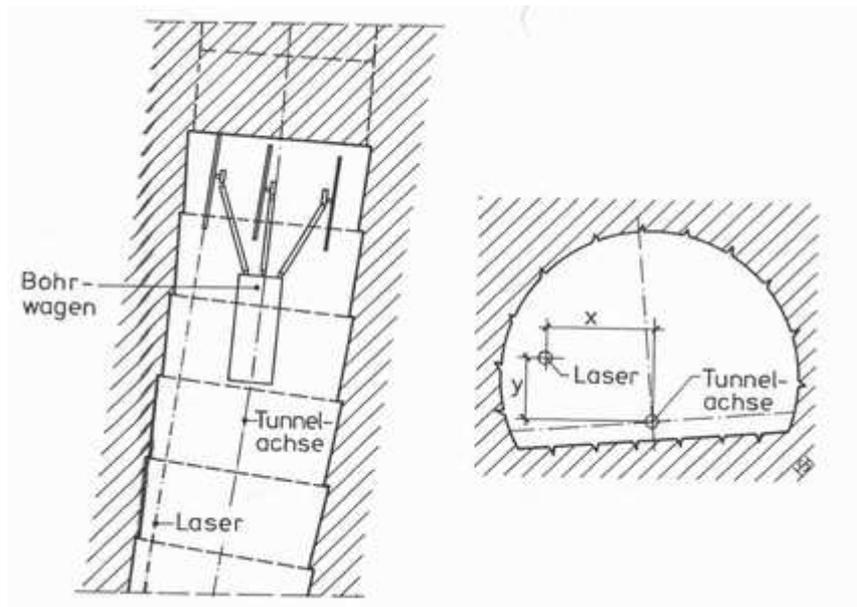


Abb. 3.1-12 Einmessen der Bohrlafetten mit Richtungslaser [2]

Die Kenngrößen den Untertagebohrwagen:

Kennwerte:	Ausbruchquerschnitt: [m ²]	Leistung: [kW]	Dienstgew.: [t]	Anzahl der Bohrarme: [Stk.]	Abmessungen Breite / Länge / Höhe: [m]
Bohrwagen	4 - 20	keine Angaben	7,6 - 16,7	1 - 2	1,20 - 1,98 / 9,70 - 11,50 / 2,60 - 3,00
	20 - 60	≤ 110	19,6 - 23,6	2 - 3 (ev. Hebebühne)	2,20 - 2,50 / 13,50 - 13,80 / 3,00 - 3,10
	≥ 100	≤ 170	37,0 - 42,0	2 - 4 (inkl. Hebebühne)	3,00 - 3,90 / 14,20 - 17,30 / 3,66 - 4,80

Tabelle 3.1-4 Die Kenngrößen den Untertagebohrwagen [4]

3.2 Schüttern

Der Schütterbetrieb (siehe Kapitel 2.2.1.4) wird in zwei Teilvorgänge unterteilt:

- Laden und Fördern
- Transportieren

Das verlangt zwei nach der Arbeitsweise unterschiedliche Gruppen von Schüttergeräten. Das sind die Ladegeräte und die Transportgeräte.

Die wesentlichen Kriterien für eine Gerätewahl sind [2]:

der zur Verfügung stehende Lichtraum im Quer- und Längsschnitt sowie dessen
Einschränkungen durch Ver- und Entsorgungsinstallationen

Transportentfernungen

Steigungsverhältnisse

Ausbruchskubaturen pro Abschlag

spezifische Kennwerte des ausgebrochenen Materials

3.2.1 Ladegeräte

Die Ladegeräte müssen das ausgebrochene Material aufnehmen und es an die Transportgeräte übergeben. Die Übergabe kann direkt an die Transportgeräte oder indirekt über eine Übergabeeinrichtung erfolgen. Die Ladegeräte unterscheiden sich nach den Ladeeinrichtungen (Löffel, Schaufel, Kratzarm, Schrapper, Hummerschere), dem Fahrwerk (Gleis, Ketten oder Reifen), dem Antrieb (Diesel, Elektro, Druckluft, Hydraulik) und dem Übergabesystem (Front-, Seiten-, Überkopfkipper, Förderband oder Kettenkratzer).

3.2.1.1 Bagger

Im Tunnelbau werden Hydraulikbagger verwendet. Der allgemeine Aufbau eines Hydraulikbaggers wird in der Abb.3.2-1 dargestellt. Das Grundgerät und die Arbeitsausrüstung sind die Hauptelemente eines Baggers. Das Grundgerät besteht aus Unterwagen und Oberwagen, die mittels eines Drehkranzes verbunden sind. Dieser Drehkranz sichert die vollkommene Drehfreiheit des Oberwagens. Der Unterwagen kann entweder ein raupen – oder ein luftbereiftes Fahrwerk aufweisen. Der Oberwagen trägt den Antriebsmotor, die Elemente für die Kraftübertragung, den Treibstofftank (Dieselantrieb) und die Fahrerkabine. Die Bauart des Oberwagens ist stark vom jeweiligen Einsatzbereich abhängig. Die Arbeitsausrüstung befindet sich neben der Fahrkabine und kann aus Grundausleger, Verstellausleger, Stiel und Grabgefäß oder aus einem Monoblockausleger, Stiel und Grabgefäß zusammengesetzt werden.[2]

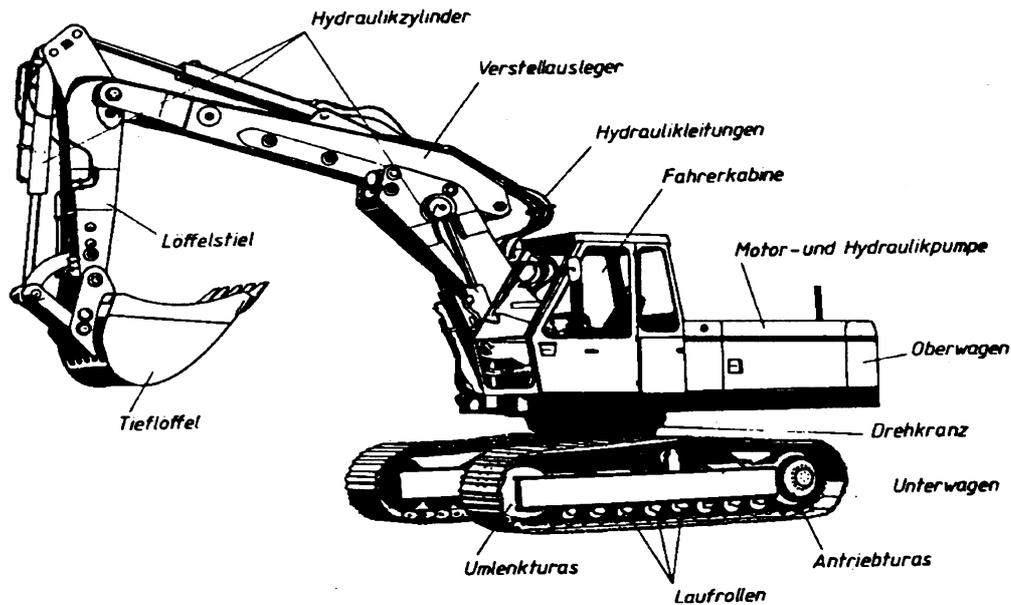


Abb. 3.2-1 Allgemeiner Aufbau eines Hydraulikbaggers [2]

Tunnelbagger

Unter diesem Begriff sind alle Hydraulikbaggertypen zu verstehen, die speziell für den Einsatz im Untertagebau adaptiert sind. Die Arbeitsausrüstung erfährt dabei die größte Veränderung. Der Ausleger, der Stiel und das Gegengewicht sind verkürzt, um eine höhere Beweglichkeit zu gewährleisten. Die meisten Tunnelbagger werden mit schweren Raupenfahrwerken ausgerüstet.

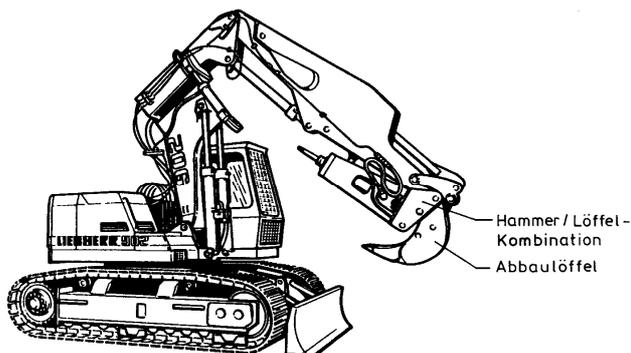


Abb. 3.2-2 Tunnelbagger mit Löffel-Hammer-Kombination [2]

Speziell für den Tunnelbau entwickelte Bagger tragen in ihrem konstruktiven Aufbau folgenden Anforderungen Rechnung [2]:

seitliche Kippmöglichkeit der Arbeitsausrüstung um $2 \times 45^\circ$

große Reichweite

Anordnung der Hydraulikeinrichtung im Löffelstiel, um Beschädigungen zu verhindern

volle Schwenkbarkeit des Oberwagens in einem Tunnelprofil von 5,20 m Firsthöhe ab Fahrsohle und 5,50 m Breite (entspr. eingleisigem U-Bahn-Querschnitt)

Anordnung eines Planierschilds am Unterwagen, um Material zusammenschieben zu können

Möglichkeit zur Ausstattung mit einem Hydraulikhammer

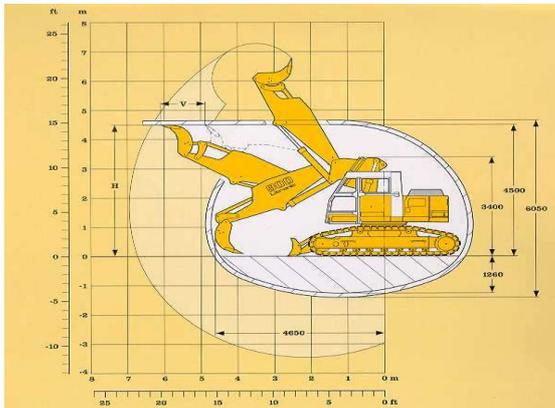


Abb. 3.2-3 Grabkurven Tunnelbagger [4]

Ein Tunnelbagger arbeitet im Wesentlichen ohne Fahrbewegung und verfügt aufgrund seines Aufbaus über 5 Freiheitsgrade [2]:

Schwenkbewegung des Oberwagens auf dem Drehkranz

Hebe- und Senkbewegung des Auslegers

Vorstoßen des Löffelstiels

Kippkinematik des Löffels

Schwenkbewegung des Kipparms

Einsatzgebiet: Hohlraumbau, speziell Tunnel- und Stollenbau (Kalottenquerschnitt ab ca. 20 m²)

Kenngößen: Weil die Tunnelbagger im eingegengten Arbeitsraum arbeiten müssen, weisen sie eine eher gedrungene Bauweise mit kürzerem Ausleger (Doppel-Hubzylinder und Schwenkwerk 2 x 45°) und Löffelinhalt bis zu 1,0 m³ auf. Aus Sicherheitsgründen erhalten sie außerdem einen Steinschlagschutz [4].

Kennwerte:	Leistung: [kW]	Dienstgew.: [t]	Tieflöffel: [m ³]	min. erf. Tunnelhöhe: [m]	Reichweite: [m]	Arbeitstiefe: [m]
Tunnelbagger	95 - 160	25,0 – 34,0	0,40– 1,00	≥ 5,0	≤ 9,0	≤ 4,0

Tabelle 3.2-1 Kennwerte des Tunnelbaggers [4]

Spezialbagger im Tunnelbau

Tunnelladebagger [2]

Der Tunnelladebagger (auch Bandlader) besitzt ein Gurt- oder Kettenförderband. Mit dem Förderband wird das aufgenommene Material zu einer hinter dem Gerät liegenden Abwurfstelle transportiert. Auf diese Weise kann der Tunnelladebagger ohne Schwenkbewegung das Material auf ein Fördergerät oder ein zusätzliches Ladegerät schüttern. Der Baggerarm dient zum Ziehen des Schuttermaterials zur Ladeschurre, von wo es vom Förderband erfasst und abtransportiert wird.

Die Fördereinrichtung besteht aus:

- einer hydraulisch verstellbaren Ladeschurre (Anpassung an die Querschnittsbreite)
- einer robusten Förderrinne und
- aus einer Zweirollenkette mit Mitnehmern



Abb. 3.2-4 Tunnelladebagger Schaeff ITC 420 [7]

Der *Aufbau* der Tunnelladebagger ist ähnlich dem Tunnelbagger (siehe Tunnelbagger).

Die Antriebsarten des Tunnelladebaggers sind:

- Reifen
- Gleisfahrwerk
- Raupenfahrwerk
- Pony-Truck-Fahrwerk (d.h. Rad- oder Raupenfahrwerk mit integriertem, einziehbarem Gleisfahrwerk)

Der Tunnelladebagger verfügt über folgende Bewegungsmöglichkeiten:

Drehen des gesamten Auslegers um eine vertikale Achse über dem Förderband (2 x 55°)

Drehen des Auslegers um eine horizontale Achse (entspr. einer Vor- und Rückbewegung des Schwenklagers)

Drehen des Schwenkarms um 2 x 55°

Auf- und Abbewegung des Zwischenauslegers um eine bewegliche Achse am Schwenkarm

Auf- und Abbewegung des Löffelstiels um eine bewegliche Achse am Stiel

Grabbewegung des Abbaulöffels

Einsatzgebiet:

im konventionellen Tunnel- und Stollenbau ab ca. 7,5 m²

v.a. bei beengten Platzverhältnissen

Kenngößen:

Kennwerte:	Leistung	Leistung	Dienstgew.: [t]	Lichter min.	Förderkap.: [m ³ /h]
	Dieselantrieb: [kW]	Elektroantrieb: [kW]		Querschnitt: [m ²]	
Tunnelbagger	63 - 125	55 - 110	15 - 40	7,5 - 25	150 - 400

Tabelle 3.2-2 Kenngößen des Tunnelladebaggers [4]

Hochlöffelladebagger



Dieser Baggertyp wird eigens für den Tunnelbau entwickelt. Er verfügt über ein Raupenfahrwerk oder anstelle von Gummireifen an der Vorderachse über zwei mit Greifstollen bestückte Stahltrommeln (Erhöhung der Standsicherheit und -festigkeit).

Abb. 3.2-5 Hochlöffelladebagger Brøyt ED600T [8]

Im Falle der zweiten Fahrwerksvariante besitzt der Hochlöffelladebagger keinen eigenen Fahrtrieb, sondern zieht sich mit der Ladeschaufel vorwärts.

Die Hochlöffelladebagger sind mit großen Hochlöfeln ausgerüstet, die das rasche Schüttern von großen Kubaturen (Löffelinhalt $\leq 3,40 \text{ m}^3$) ermöglichen.

3.2.1.2 Lader [2]

„Eine auf Raupenketten oder Rädern selbstfahrende Maschine mit einer integrierten Ladeschaufeleinrichtung, welche durch Vorwärtsbewegen der Maschine Material löst oder lädt und dieses hebt, transportiert und abschüttet.“⁴

Lader haben gegenüber den Baggern eine größere Beweglichkeit. Dadurch können Lader, besonders die Radlader, nicht nur zu Ladezwecken, sondern auch für kurze Transportdistanzen herangezogen werden (kombinierte Lade- und Transportgeräte).

Die Lader können sowohl nach der Art des Fahrwerks (Radlader, Raupenlader) als auch nach der Charakteristik der Laderschaufelbewegung (Front-, Überkopf-, Seitenkipp-, Schwenkschaufellader) unterschieden werden.

- **Radlader**

Er zeichnet sich durch hohe Fahrgeschwindigkeit, große Betriebssicherheit und hohe Flexibilität an.

Aufbau [4]:

Haupt- und Hubrahmen

(gedrungene Ausführung)

hydrostatischer Fahrtrieb

Knicklenkung

Z- oder Parallel-Kinematik

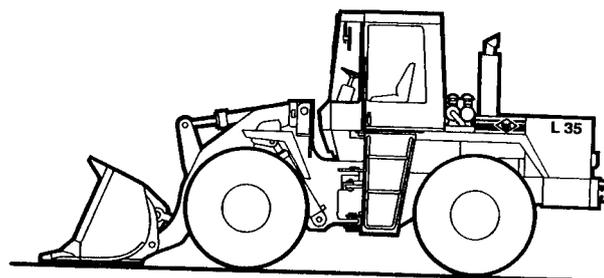


Abb. 3.2-6 Radlader (Typ Orenstein&Koppel L35)[2]

Ladeschaufel

Zusatzausrüstung (z. B. hydr. Schellwechsellvorrichtung, etc.)

⁴ vgl. Jodl H., Schlosser W.: Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahrenstechnik, Stand 2004/2005, S34

Die Kombination von dem Reifenfahrwerk und der Knicklenkung macht den Radlader bei untertägigen Einsätzen sehr beweglich. Die Frontschaufel bedingt die Durchführung des Beladevorganges im V- oder Y-Betrieb, d.h., dass der Radlader bei jedem Ladespiel vor- und zurücksetzen muss, um das Transportgerät nahezu rechtwinkelig anfahren zu können.

Einsatzgebiet:

bei großen Tunnelquerschnitten

Umschlag und Transport von verschiedensten Materialien (v.a. Schüttgüter)

Abtrags- und Planierarbeiten von Humus und obersten Erdschichten

Kenngößen Radlader:

Kennwerte:	Leistung: [kW]	Dienstgew.: [t]	Schaufelinhalt: [m ³]	Geschwindigkeit: [km/h]
Radlader	25 - 590	2,9 – 95,0	0,2 – 11,5	≤ 40,0

Tabelle 3.2-3 Kenngößen des Radladers [4]

Eine Sonderform des Radladers mit Frontschaufel ist der *Fahrlader*, der einen für kleine Querschnitte adaptierten Radlader darstellt.

Einsatzgebiet:

kleine Tunnel- u. Stollenquerschnitte (als kombiniertes Lade- und Transportgerät)



Abb.3.2-7 Fahrlader Toro 301 [4]

Kenngößen Fahrlader:

Kennwerte:	Leistung: [kW]	Dienstgew.: [t]	Schaufelinhalt: [m ³]	Geschwindigkeit: [km/h]
Fahrlader	52 - 315	12,2 – 100	0,8 – 10,0	≤ 24,0

Tabelle 3.2-4 Kenngößen des Fahrladers [4]

Grundsätzlich ist jedoch die Verwendung von Rad- bzw. Fahrladern für längere Transporte wegen des geringen Ladevolumens je Fahrspiel nur begrenzt wirtschaftlich sinnvoll.

Raupenlader oder Laderaupe [4]

Sie haben größere Traktion und damit höhere Grabkraft. Sie sind robust und bieten eine größere Standfestigkeit.

Aufbau:

- Haupt- und Hubrahmen
- Hydrostatischer Fahrtrieb
- Z-Kinematik
- Ladeschaufel

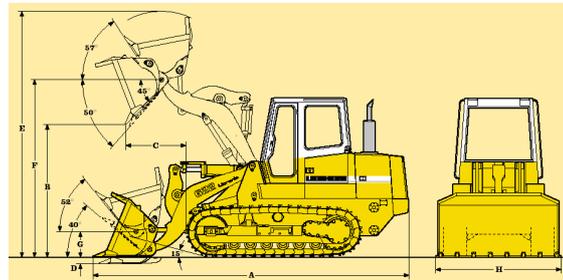


Abb. 3.2-8 Laderaupe LR 622 Litronic [4]

Hydrostatische Getriebe ermöglichen ein Wenden mit kraftschlüssigen Ketten. Durch den unabhängigen, auch gegenläufigen Antrieb jeder Fahrwerkseite können Fahr- und Lenkbewegungen bis zum Drehen auf der Stelle durchgeführt werden. Aufgrund dieser Eigenschaften, sowie aufgrund beengter Verhältnisse, finden die Raupenlader oder Laderaupen mit Frontschaufel eine Anwendung bei Tunneln, die im Sprengvortrieb aufgefahen werden. Durch die Drehung ergibt sich aber eine beträchtliche Beanspruchung des Raupenfahrwerks. (d.h., erhöhte Verschleiß- und Reparaturkosten!).[2]

Einsatzgebiet [4]:

- im konventionellen Tunnel- und Stollenbau
- v.a. bei weichen Untergrundverhältnissen (Gebirgswassereinfluss) zur besseren Bodendruckverteilung

Kenngrößen Raupenlader oder Laderaupe:

Kennwerte:	Leistung: [kW]	Dienstgew.: [t]	Schaufelinhalt: [m ³]	Geschwindigkeit: [km/h]
Raupenlader	20 - 260	3,5 – 42,0	0,5 – 4,0	≤ 12,0

Tabelle 3.2-5 Kenngrößen des Raupenladers oder der Laderaupe [4]

Frontlader (mit Reifenfahrwerk oder mit Raupenfahrwerk):

Der Frontlader stößt seine Schaufel in den Boden oder das Haufwerk, wobei sie sich durch Vorwärtsfahrt füllt. Dann wird die Ladeschaufel angehoben, das Gerät fährt zurück und macht zum Entleeren eine seitliche Wendung (Spitzkehre).



Abb. 3.2-9 Radlader O&K L 35.5 [9]

Lader mit Schaufelonderformen [2]

Reicht die Breite der zur Verfügung stehenden Fahrsohle im Untertagebauwerk für den platzintensiven Schutterbetrieb beim Radlader (V- oder Y-Betrieb) oder für das Wendemanöver beim Raupenlader nicht aus, bieten sich Lader mit Schaufelonderformen für den platzsparenden, achsparallelen Schuttereinsatz an.

Überkopflader (bzw. Wurfschaufel-lader):

Fahrwerk des Überkopfladers:

- Reifen
- Raupen
- Gleis

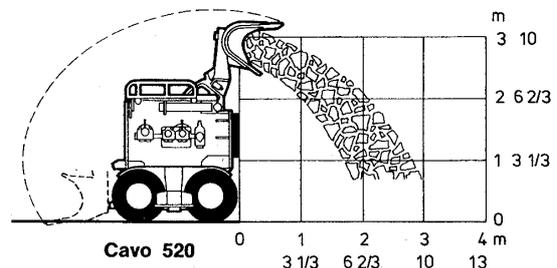


Abb. 3.2-10 Überkopflader [2]

Die Überkopflader entleeren ihre Ladeschaufel über Kopf in ein hinter ihnen stehendes Transportgerät oder auf eine zwischengeschaltete Aufgabevorrichtung. Der Schaufelinhalt ist verhältnismäßig klein.

Einsatzgebiet: bei Stollen in sehr kleinen Querschnitten

Schwenkschaufellader:

Fahrwerk: ausschließlich Radfahrwerk

Die Ladeschaufel des Schwenkschaufelladers ist auf einem Drehkranz montiert. Das ermöglicht das beidseitige Verschwenken der Schaufel um 120°. Beim Ladevorgang steht die Schaufel wie beim Frontlader in Fahrtrichtung und wird zum Entleeren über das Transportgerät geschwenkt.

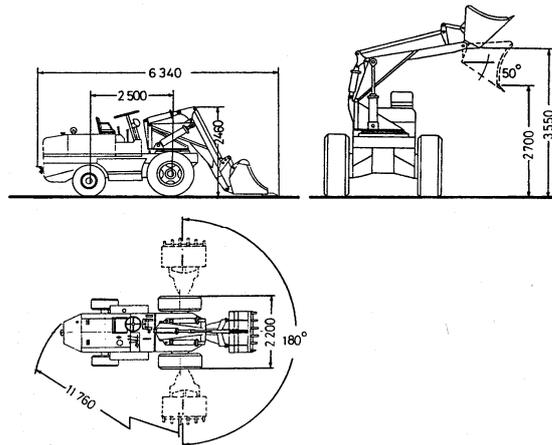


Abb. 3.2-11 Schwenkschaufellader [2]

- *Seitenkipplader:*

Der Seitenkipplader führt eine Vor- und Zurückbewegung neben dem zu beladenden Transportgerät durch. Es kann sich durch den Gleitweg des Materials beim Abkippen die Gefahr ergeben, dass bei kohäsivem Material eine unvollständige Entleerung der Schaufel stattfindet.

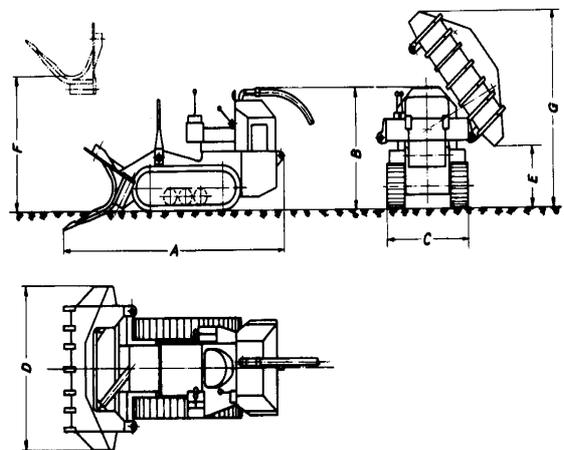


Abb. 3.2-12 Seitenkipplader mit Raupenfahrwerk [5]

3.2.2 Transportgeräte [2]

Die Transportgeräte dienen zum Abtransport des Ausbruchmaterials aus dem Tunnel. Die Fördergeräte werden nach der Art des Fahrwerks eingeteilt in

- **gleisloser Betrieb (Rad- oder Raupenfahrwerk)**
- **Gleisbetrieb**
- **Materialtransport mittels Förderbänder**

Zusätzlich unterscheiden sich die Transportgeräte nach den folgenden Merkmalen:

- **nach dem Antrieb** - Diesel, Elektro und Hydraulik

- **nach der Entleerungsart** - Seitenkipper, Hinterkipper, Rotationsentleerung und Bodenentleerung

Einsatzkriterien für das zu wählende Fördergerät im Tunnelbau:

Trassenneigung

Querschnittsabmessungen

Länge der Transportstrecke

3.2.2.1 Gleisloser Betrieb

Man setzt den gleislosen Betrieb in Tunnelquerschnitten größer als 20 m² und bei einem Tunnelgefälle größer als 3% ein.

Vorteile des gleislosen Schutterbetriebes:

hohe Beweglichkeit

Wiederverwendbarkeit der Geräte bei anderen Projekten

hohe Förderkapazität bei großen Querschnitten

größere Steigungen bewältigbar [2]

geringe Investitionskosten

auch außerhalb des Tunnelbaus einsetzbar, damit bessere Gesamtnutzung

vielseitiger nicht ortsgebundener Einsatz

flexible, optimale Platzierung zur Minimierung der Drehbewegung des Ladegeräts [3]

Nachteile: [3]

höhere Energie- und Arbeitsaufwand pro Ladetonne

Abgasbelastung der Tunnelluft, damit stärkere Lüftung

Mögliche Auflockerung der Tunnelsole und damit zusätzliche Unterhaltskosten

Radfahrzeuge für den Transport im Tunnelbau sind durch ihre konstruktive Ausbildung den Bedingungen unter Tage angepasst.

Technische Voraussetzungen hierfür sind [2]:

eine niedrige Bauhöhe, um eine Beladung auch in engen Querschnitten durchführen zu können, um die Ladespielzeiten kurz zu halten sowie um eine reibungslose Vorbei- und Durchfahrt an nachlaufenden Arbeitsgeräten (z.B. Schalwagen) zu ermöglichen

Knicklenkung der Fahrzeuge für Wendemanöver bei geringen Fahrbahnbreiten

sparsame Dimensionierung des Motors auf die realisierbaren Geschwindigkeiten im
Hohlraumbauwerk mit integrierter Abgasreinigung zur Sicherstellung geringer Treibstoff-
und Bewetterungskosten

3.2.2.1.1 Muldenhinterkipper

Muldenhinterkipper sind das gebräuchlichste Transportgerät für Ausbruchsmaterial im Tunnelbau. Sie zeichnen sich durch eine kompakte, niedrige Bauweise, hohe Steigfähigkeit und eine große Beweglichkeit aus.[2]

Bei der Fahrwerksausbildung werden folgende Hauptformen unterschieden [4]:

- Fahrzeuge mit starrem, durchgehendem und verwindungsstifem Rahmen und Frontlenkung (Großraummuldenhinterkipper):

Meist sind das zweiachsige Fahrzeuge mit zwillingsbereifter Hinterachse oder dreiachsige Fahrzeuge mit zusätzlichem Allradantrieb

- Fahrzeuge mit zweigeteiltem Rahmen als Knicklenker:

der zweigeteilte Rahmen mit einem schwenk- und über die Längsachse drehbaren Gelenk ermöglicht enge Kurvenfahrten und ein Verdrehen in Fahrzeuginnenachse



Abb. 3.2-13 Muldenkipper MHK Atlas Copco MT 5010 - gedrungene Tunnelausführung [10]

Aufbau [4]:

Knickgelenkter Muldenhinterkipper

Radfahrwerk

zweigeteilter Fahrwerksrahmen

Fahrerantrieb

Knicklenkung

Vorderachse – Einzelradaufhängung

Hinterachsen – freischwingende Tandemachsen

Fahrerkabine

Kippvorrichtung (meist 2 hydr. Kippzylinder) und Mulde

Das Knickgelenk in der Mitte oder die lenkbaren Vorder- und Hinterachsen des Fahrzeuges gewährleisten eine Verringerung des Wenderadius. Auf diese Weise wird die im Tunnel nötige Wendigkeit erreicht. Die als Niederdruckgeländereifen ausgebildeten Pneus geben dem Fahrzeug die Geländegängigkeit auf der meist unbefestigten, herausgesprengten Tunnelsohle.[2]

Einsatzgebiet [4]:

Standardgerät für den Materialtransport (Massenschüttgüter und jegliche Art von Erdstoffen) im Baubetrieb

Kenngrößen Muldenhinterkipper:

Kennwerte:	Leistung: [kW]	Nutzlast: [t]	zul. Gesamtgewicht: [t]	Muldeninhalt: [m ³]	Wendekreis: [m]
Muldenhinterkipper, knickgelenkt	148 - 295	12,0 – 36,0	≤ 65,0	≤ 25,0	8,0 – 12,5
Muldenhinterkipper	310 - 2610	42,0 – 364,0	≤ 567,0	≤ 183,5	16,5 – 35,6

Tabelle 3.2-6 Kenngrößen Muldenhinterkipper [4]

3.2.2.1.2 Kleintransportfahrzeuge

Kleintransportfahrzeuge kommen zur Schutterung beim Sprengvortrieb kaum zur Anwendung. Meist benutzt man in kleinen Querschnitten eine gleisgebundene Förderung. In Sonderfällen bei sehr kleinen und sehr kurzen Tunnelabschnitten können die Kleintransportfahrzeuge genutzt werden. Zur Verfügung stehen Vorderkipper (Dumper) in verschiedenen Größen und Fahrlader.[2]

Der Fahrlader mit seiner sehr niedrigen Bauform wird in engen Stollen häufig als kombiniertes Lade- und Transportgerät genutzt (siehe Kapitel 3.3.1.2 Lader).

Der Vorderkipper [4] charakterisiert sich durch die Art der Entleerung, da diese im Gegensatz zu den Hinterkippern nach vorne entleeren. Dabei ist die Mulde so gelagert, dass sie beim Lösen der Arretierung selbständig kippt und nach der Entleerung durch eine Rückholfeder wieder in die Ausgangsposition zurückkehrt. Die Gruppe der Vorderkipper wird in Front- Drei-seiten - und Hochkipper unterteilt.

Im Allgemeinen sind Vorderkipper zweiachsig ausgebildet und werden mit Allradantrieb und Planetenachse eingesetzt.

Aufbau:

- Radfahrwerk
- zweigeteilter Fahrwerksrahmen
- hydrostatischer Fahrentrieb
- Knicklenkung
(Hinterachse pendelnd)
- Fahrerstand
- Mulde mit Vorderkippeinrichtung



Abb. 3.2-14 Vorder(hoch-)kipper Lifton 1200 [11]

Kenngößen Vorderkipper (Dumper):

Kennwerte:	Leistung: [kW]	Nutzlast: [t]	Muldeninhalt: [m³]	Wendekreis: [m]
Vorderkipper	7,0 – 45,0	1,0 – 9,0	0,45 – 3,25	≤ 5,25

Tabelle 3.2-7 Kenngößen Vorderkipper [4]

3.2.2.2 Gleisbetrieb

Beim Gleisbetrieb verwendet man Schienenfahrzeuge als Lade- und/oder Transporteinrichtungen. Die Züge bestehen aus Zugmaschinen (Lokomotiven) und Förderwagen.

Die Entscheidung für den Gleisbetrieb richtet sich nach der Anpassbarkeit an die örtlichen Rahmenbedingungen, der Größe des Ausbruchsquerschnittes (bis ca. 10 m² wirtschaftl. Betrieb) und der Neigung der Trassierung des Hohlraumbauwerkes (max. 3% für Gleisbetrieb).[4]

Vorteile:

- relativ hohe Leistung pro Zug
- geringe Bewetterungskosten
- geringe Wartungs- und Energiekosten
- geringe Personalkosten bei langen Förderstrecken
- größere Kapazitäten bei kleineren Durchmessern

Nachteile:

- unflexibel durch die Ortsgebundenheit des Schienenbetriebs
- geringes Steigvermögen
- mögliche Behinderung des Baubetriebs durch die Gleise
- Herstellung der Gleistrasse relativ teuer

- **Lokomotiven**

Die Antriebsarten der Lokomotiven sind:

- Dieselantrieb
- Elektroantrieb (Fahrdrahtantrieb)
- Akkuantrieb
- Druckluftantrieb

Diesellokomotiven [2]:

Gelten als Standardgeräte für den Tunnelbau.

Sie haben eine einfache, robuste Bauweise und können problemlos gewartet werden. Gegenüber der Akkulok haben sie den Vorteil eines fast unbeschränkten Aktionsradius.

Die Diesellokomotiven haben geringe Investitionskosten aber erhöhte Betriebskosten aufgrund des erhöhten Luftbedarfs für den Verbrennungsmotor.



Abb. 3.2-15 Standard – Diesellokomotive 45t, 250 kW [4]

Akkulokomotiven [2]:

Standardgeräte für den Tunnelbau

hohe Investitionskosten

Sie beziehen die Antriebsenergie aus Akkumulatoren. In der Regel müssen für jede zum Einsatz kommende Lokomotive immer zwei Batteriensätze vorhanden sein. Zudem ist eine Ladestation erforderlich.

die Robustheit und Betriebssicherheit ist geringer als beim Dieselantrieb

geringe Betriebskosten

Elektrolokomotiven (Fahrdratlokomotiven):

wirtschaftlicher Einsatz in der Regel nur bei sehr langgestreckten Hohlraumbauwerken

Druckluftlokomotiven:

historischer Lokomotiveinsatz im Bergbau

Dimensionierung der Lokomotive [2]:

Für die Dimensionierung der Lokomotiven sind die beiden Kennwerte *Lokomotivgewicht* (übertragbare Zugkraft auf die Schiene) und *Motorleistung* (entscheidend für die mögliche Beschleunigung und damit für die Fahrgeschwindigkeit) ausschlaggebend.

Lokomotivgewicht \geq 10 % des Gewichts vom beladenen Zug

Motorleistung – Verhältnis zw. Leistung in [kW] und Dienstgewicht der Lok [t]

Diesellokomotive: Verhältniswert 5 – 7

Akkulokomotiven: Verhältniswert 2 – 5

Förderwagen [2]

Die Förderwagen dienen als Transportgefäße. Es stehen eine Vielzahl von verschiedenen Förderwagenbauarten zur Verfügung, die sich im Aufbau der Wagen und im Entleerungsmechanismus unterscheiden. Im Tunnel- und Stollenbau sind überwiegend *Rotationskipper* und *Einseitenselbstentlader* gebräuchlich.

Bei den Förderwagen unterscheidet man in:

Kastenwagen (Rotationskipper, Containerwagen)

Kippwagen (Muldenkippwagen, Einseitenselbstentlader, Einseitenzwangskipper)

Bodentleerer (Längs- und Querentleerer)

sonstige Förderwagen (Sattelbodenwagen, Schrägbodenseitenentleerer, Rollkippwagen, Großmuldenkippwagen)

Rotationskipper [2]:



Kapazität: 12,0 m³

Länge / Breite / Höhe: 6.000 / 1.400 / 1.800
mm

Abb. 3.2-16 Rotationskipper [4]

Der Rotationskipper hat eine robuste Bauweise. Er hat wie alle Kastenwagen außer den Rädern und den Kupplungen keine beweglichen Teile. Die Entleerung geschieht in einer Rotationskippvorrichtung.

Der mit Ausbruchsmaterial beladene Zug wird von der Lokomotive zur Rotationskippe gebracht, wobei die Wagen einzeln oder paarweise in der Kippvorrichtung zu stehen kommen. Die Rotationsachse fällt mit der Achse der drehbar ausgebildeten Kupplungen zusammen, so dass die Wagen ohne abzukoppeln schräg nach unten entleert werden können.

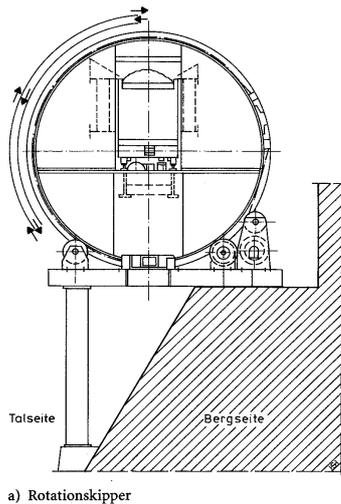


Abb. 3.2-17 Rotationskipper mit Rotationskippe [2]

Einseitenselbstentlader [2]:



Kapazität: 15,0 m³

Länge / Breite / Höhe: keine Angaben vorh.

Die Transportgefäße des Einseitenselbstentladers können seitlich mit Hilfe einer auf einer Kippbrücke montierten Entriegelung- und Verriegelungseinrichtung abgekippt werden.

Abb. 3.2-18 Einseitenselbstentlader [4]

Einseitenselbstentlader – Kippmechanismus:

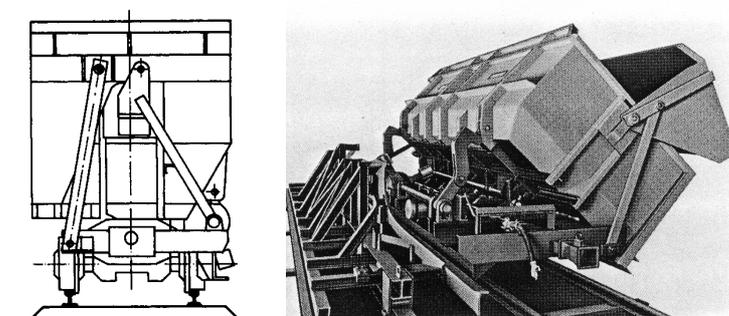


Abb. 3.2-19 Einseitenselbstentlader [2]

Der Wagen fährt auf die an der Kippbrücke befindliche Auflaufzunge auf, wird entriegelt und kippt aufgrund des exzentrischen Schwerpunkts des Transportgefäßes selbsttätig ab. Durch die Entleerung entsteht eine Schwerpunktverlagerung, die ein selbsttätiges Zurückkippen

des leeren Wagens bewirkt. Beim Vorbeifahren an der Verriegelungseinrichtung wird der Einseitenselbstentlader wieder verriegelt.

Vorteil: finanziell günstigere Entladeeinrichtung

Nachteile:

teurere Wagen

störanfällig wegen der Kippmechanik

Dimensionierung der Förderwagen:

Die Förderwagen werden aus wirtschaftlichen Gründen immer so groß wie möglich dimensioniert; zu beachten ist dabei:

Stabilität – Verhältnis von Wagenbreite zu Spurweite (übliche Spurweiten: 600, 750, 900 und 1.000 mm) max. 2,2

Verschleiß – Verhältnis von Radstand zu min. Kurvenradius min. 0,1

3.2.2.3 Bunkerzüge

Die Bunkerzüge [3] wurden mit dem Ziel entwickelt, auch in engsten Querschnitten so viel Schuttermaterial wie möglich abzufördern. Sie benötigen keine Übergabebrücke oder wiederholten Rangierbetrieb. Die Bunkerzüge erlauben eine kontinuierliche Aufnahme des Haufwerks, da sich aus mehreren Förderwagen mit ansteigenden, ineinandergreifenden Kastenböden, die gelenkig miteinander verbunden sind (Kurvenfahrten möglich sind), zusammensetzt. Die beiden Außenwände sind im Bereich der Drehgelenke durch eine separate überlappende Außenwand geschlossen (ein von vorne nach hinten geschlossener Zug). Der im Bunkerwagen integrierte Kettenförderer (Kratzband mit 2 Seitengliederketten), der über die gesamte Wagenlänge reicht, verteilt das Haufwerk gleichmäßig bzw. entladet es auch wieder. Die Verteilung des Ladeguts über die Höhe kann ein Problem bilden. Daher ist die Ladehöhe meist beschränkt. Der Zug ist selbstfahrend oder wird mittels Lok zur Kippstelle gezogen. Das Schuttermaterial wird vom Kettenförderer über das Zugende vom Bunkerzug abgeschoben. Der Betrieb und Unterhalt des Zugs ist relativ teuer und aufwendig.

Fassungsvermögen: ca. 30-50 m³

Einsatzgebiet: im Stollenbau: Querschnittfläche bis 20 m²

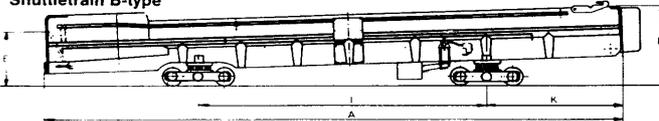
The Shuttletrain transport system consists of a number of special cars towed by a locomotive. The bottom of each car body consists of a chain conveyor, which facilitates the transfer of rock from one car to the next. The discharge end of each car fits the loading end of the car behind. Thus the chain conveyors form a single, train-long unit.

The car can be loaded by a Hägg-loader or shovel loader. Choice of locomotive for Shuttletrain, see page 64. Haulage estimation, see page 66.

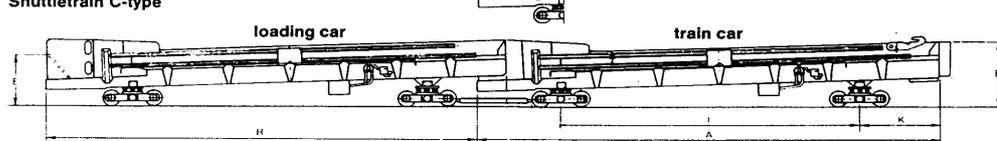
C-type for long tunnels
This type is intended for continuous loading and haulage of a complete round. The C-type cars have no side walls at the rear. The load is retained by doors fitted at the front end of each car. The C-type cars remain coupled throughout the working cycle. Up to five cars have been used in several projects with a very good result.

B-type for short hauls
When the leading car is fully loaded, the load is transferred to the second car. The fully loaded second car is hauled away for dumping, while the leading car is loaded.

Shuttletrain B-type

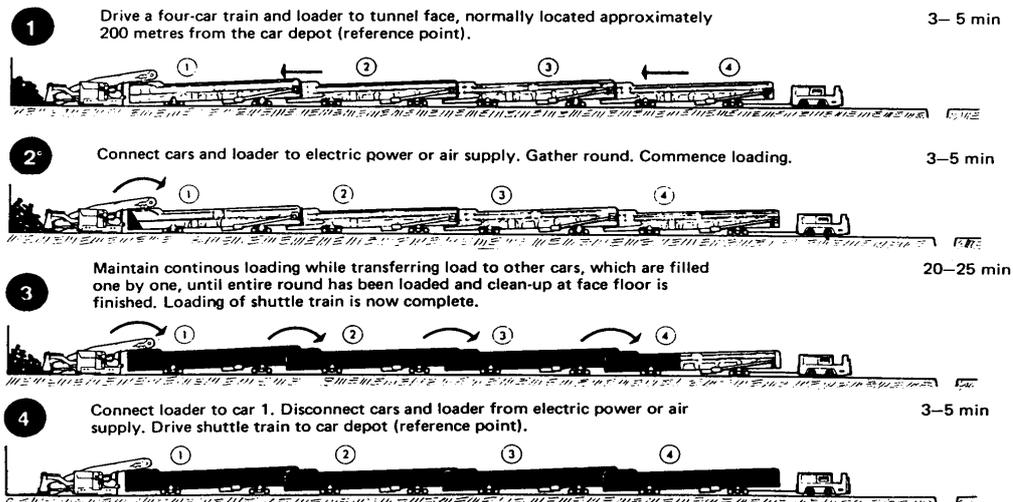


Shuttletrain C-type



Haulage estimation

Haulage of the entire round by one shuttletrain/shuttle cars of C-type
Blasted rock is assumed to measure 40–42 m³. Loader capacity is 2 m³/min



The loading cycle takes 30–40 minutes. Work is performed by two men on only one track, without passing sidings. The above example is based on a

four-car train, which is the most common. Haulage has been carried out with eight cars in a train but this imposes greater demands on air supply,

locomotive and personnel. We recommend that not more than six cars be used per train, this lending itself more readily to practical operation.

Abb. 3.2-20 Aufbau und Beladezyklus von Bunkerzügen [4]

3.2.2.4 Materialübergabeeinrichtungen

Die Übergabesysteme [2] nehmen im Gegensatz zu den Ladegeräten das Schuttermgut nicht selbständig auf. Sie werden daher als Bindeglied zwischen Vortriebs- bzw. Ladegerät und schienengebundenen Transportgerät eingesetzt. Die Übergabesysteme können auf den Ladegeräten installiert werden oder als eigene Geräte vorhanden sei.

Form und Größe der Materialübergabeeinrichtung wird durch den aufzufahrenden Hohlraumquerschnitt bestimmt.

Bandbeladeeinrichtung bei konventionellem Vortrieb [2]:

Einsatz:

Im Gleisbetrieb verwendet man meist gleisfahrbare Bandbeladeeinrichtungen (Förderband). Sie werden eingesetzt, wenn die Förderwagen nicht durch eine Wagenwechseleinrichtung an die Ortsbrust verschoben werden können.

Eine weitere Möglichkeit ist die Montage der Förderbänder in der Friste: Das Fristförderband kann mittels Rollen bewegt werden. Damit erfüllt es den gleichen Zweck wie die gleisfahrbare Bandbeladeeinrichtung. Das Fristförderband hat aber die folgenden Vorteile:

es ist platzsparender

Entkoppelung der Materialübergabe von den Tätigkeiten im Sohlbereich

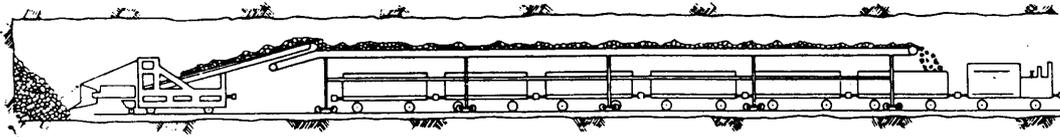


Abb. 3.2-21 Bandbeladeeinrichtung bei konventionellem Vortrieb [2]

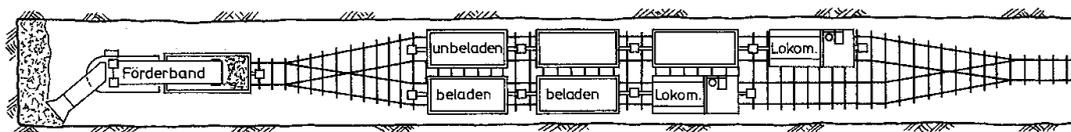
3.2.2.5 Wagenwechseleinrichtungen [4]

Ein Gleisbetrieb kommt meist dann zur Anwendung, wenn kleine, langgestreckte Ausbruchsquerschnitte vorliegen, daher erfolgt der Gleisbau aus Platz- und Kostengründen fast immer eingleisig.

Für Systeme mit Förderwagen ergibt sich das Problem des Wagenwechsels zwischen vollem und leerem Förderwagen beim Beladen an der Ortsbrust. Kann entweder eine seitliche Beladung vorgenommen werden oder kommen Bunkerzüge zum Einsatz, entfällt dieses Problem.[4]

- **Kaliforniaweiche:**

Die Kaliforniaweiche stellt eine zweigleisige Ausweichenanlage für den gesamten Zug dar. Sie ist beidseitig mit Rampen ausgestattet und liegt auf den normal verlegten Gleisen auf. Sie kann entweder gleitend oder auf Rollen fortbewegt werden.



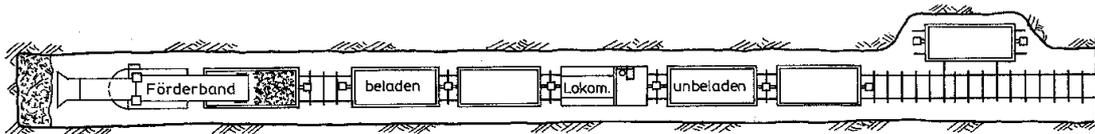
a) Kaliforniaweiche

Abb. 3.2-22 Kaliforniaweiche [2]

- **Schiebebühne:**

Eine Schiebebühne ist dann von Vorteil, wenn sehr enge Platzverhältnisse eine andere Lösung nicht zulassen oder diese bei sehr kurzen Vortrieben unwirtschaftlich wäre.

In Abständen werden Nischen aufgefahren, die das Hineinschieben eines leeren Förderwagens ermöglichen. Den Wagenwechsel ermöglicht die Schiebebühne mittels Rangierarbeit der Lokomotive.



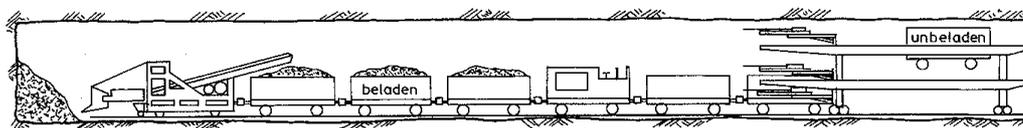
d) Schiebebühne

Abb. 3.2-23 Schiebebühne [2]

- **Wagenhebeeinrichtung:**

Cherry-Picker:

Der Cherry-Picker ist ein Kran, der die leeren Förderwagen über die bereits gefüllten Förderwagen hebt. Dabei ist die Wagenhebeeinrichtung stationär, sodass die Lokomotive die Rangierarbeit durchführen muss.

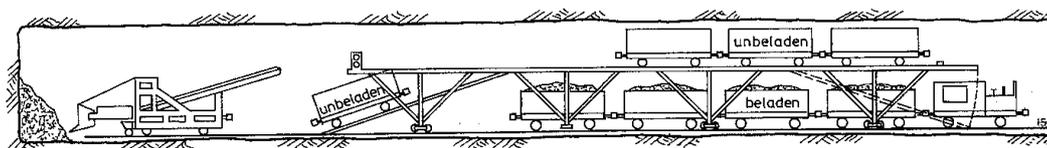


b) Cherry Picker

Abb. 3.2-24 Cherry-Picker [2]

Grasshopper:

Der Grasshopper ist eine Wagenwechseleinrichtung, bei dem die Förderwagen über eine Wagenbühne an die Ortsbrust fahren.



c) Grasshopper

Abb. 3.2-25 Grasshopper [2]

- **Sliding Floor:**

Der Sliding Floor ist ein sich auf der Tunnelsohle bewegender Verschiebebahnhof, der nur für große Ausbruchsquerschnitte geeignet ist und nur in Spezialfällen zur Anwendung kommt. Er besteht aus drei oder mehr Elementen, die mittels hydraulischen Pressen elementweise verschoben werden.

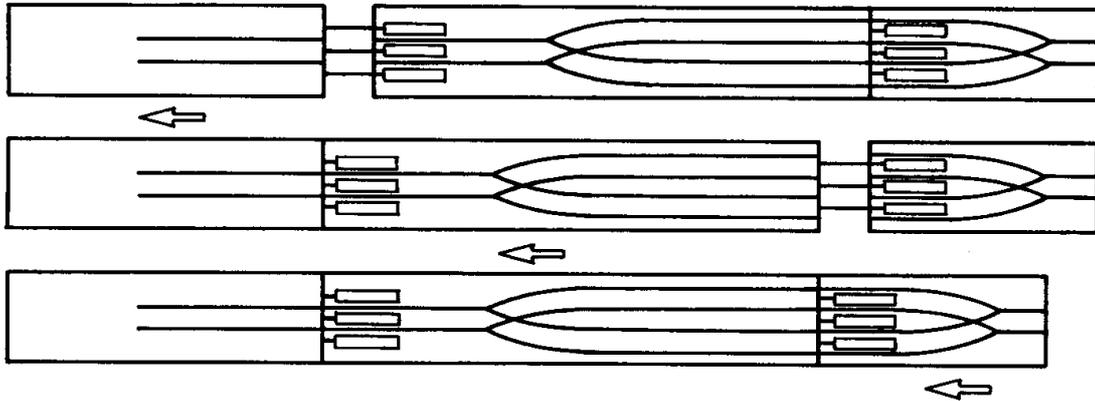


Abb. 3.2-26 Sliding Floor – Verschiebebahnhof [2]

3.3 Sicherung

3.3.1 Spritzbeton- Maschinenteknik

Die Maschinenpalette der Baumaschinenindustrie reicht von der Spritzmaschine mit manueller Beschickung und Düsenführung bis zum Spritzautomaten und Spritzroboter. Man unterscheidet Spritzmaschinen nach dem Trocken- und Nassspritzverfahren sowie der Dünn- oder Dichtförderung. Beim Trockenspritzverfahren wird ein Trockenbeton oder Trockenmörtel durch eine Spritzmaschine der Förderung zugeführt und im Dünnstrom mit Druckluft zur Spritzdüse gefördert in der die notwendige Wassermenge und ggf. flüssige Additive zugegeben werden. Beim Nassspritzverfahren wird Frischbeton oder Frischmörtel im Allgemeinen im Dichtstrom mit einer Pumpe zur Spritzdüse gefördert, in der ggf. flüssige Additive zugegeben werden und durch Einleitung von Druckluft die notwendige Materialbeschleunigung erreicht wird.[12]

3.3.1.1 Trockenspritzmaschinen

Man unterscheidet folgende drei Typen:

Druckkammermaschinen

Schneckenmaschinen

Rotormaschinen

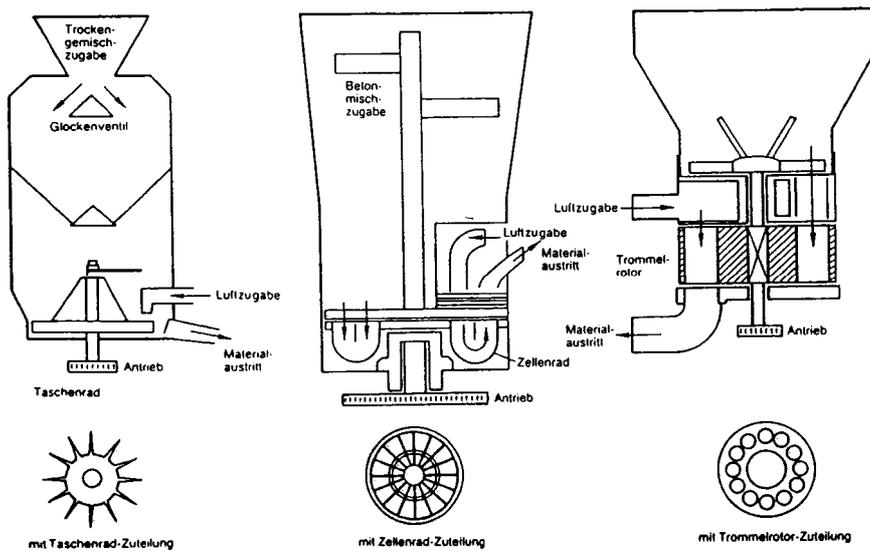


Abb. 3.3-1 Funktionsprinzip einer Betonspritzmaschine für das Trockenspritzverfahren [4]

Heutzutage sind die **Rotormaschinen** Standard. Sie bestehen aus flachen Stahlzylindern mit verschiedenen, parallel zur Achse angeordneten Öffnungen. Auf dieser waagrecht angeordneten Trommel ist ein Vorratstrichter aufgesetzt. Das eingebrachte Spritzmaterial füllt die Öffnungen des Zylinders und fällt bei Drehung des Rotors in den darunter befindlichen Ausblasestutzen. Durch die hier zugegebene Druckluft wird es in den Schlauch eingblasen.[12]

Im Zuge der Entwicklung von Spritzbetonzementen war eine neue Herstellungs- und Verarbeitungstechnik von Bereitstellungsgemischen notwendig; insbesondere bei Verwendung von feuchten Zuschlägen.[12]

Rombold-Spritzsystem: Diese Anlage besteht aus einem Druckkessel mit einer darunter angebrachten Dosier-Blasschnecke, an die der Spritzschlauch angekuppelt ist. Der Druckkessel wird mit Trockenbeton vorgefüllt und einsatzbereit im Tunnel geparkt. Mit der Dosier-Blasschnecke wird das Trockenmischgut gefördert. Die Blasschnecken haben einen Elektroantrieb und ein stufenloses Getriebe. Bei diesem Verfahren wird ein vorgemischtes Trockenmischgut mit Schnellzement verwendet, der ofengetrocknete Zuschläge erfordert.[2]

Mobil-Crete-Spritzbetonsystems: Das System ist eine mobile Kompakteinheit, bestehend aus Zuschlagbevorratung, Bindemittelsilo und zwei Spritzautomaten.[12] Bei diesem Verfahren kann der Spritzbeton aus Spritzbetonzement und Zuschlagstoffen mit einer Eigenfeuchte von bis zu 4% hergestellt werden. Die Zuschlagstoffe werden dabei mit LKW oder Radlader direkt zur Anlage befördert und in einem aufklappbaren Zuschlagbehälter

aufgegeben. Der Zement wird mittels Druckluft von einem beigestellten Silofahrzeug in die Anlage geblasen. Die Beschickung ist auch während des Spritzvorgangs möglich.[2]

3.3.1.2 Nassspritzmaschinen

Man unterscheidet aufgrund der unterschiedlichen Fördertechniken (Dünnstrom- und Dichtstromverfahren) zwei Maschinengruppen:

Spritzmaschinen für Dünnstromförderung:

Nassspritzmaschinen mit Taschenrad und Zellenrad oder Rotormaschinen (nur unwesentlich von den Trockenspritzmaschinen unterschiedlich)

Druckkammermaschinen mit Schneckenförderung

Pneumatische Pumpen mit Pfropfenförderung

Spritzmaschinen für Dichtstromförderung [2]:

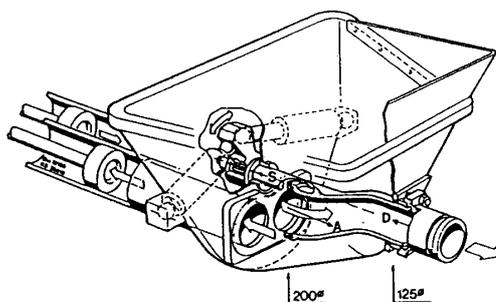
Standardmaschinen für das Nassspritzverfahren

Sie sind keine speziellen Spritzmaschinen. Es werden im Wesentlichen konventionelle Betonpumpen verwendet, die dem Tunneleinsatz durch Modifikationen angepasst werden:

- Kolbenpumpen (am häufigsten verwendet)
- Pumpen mit Schneckenförderung
- Rotorschlauchpumpen

Kolbenpumpen: Bei diesen Maschinen wird das Material mittels eines Kolbens oder zweier abwechselnd arbeitender Kolben in den Förderschlauch geschoben und gleichmäßig zur Einbaustelle gefördert.

Doppelkolbenpumpe



Schneckenpumpe

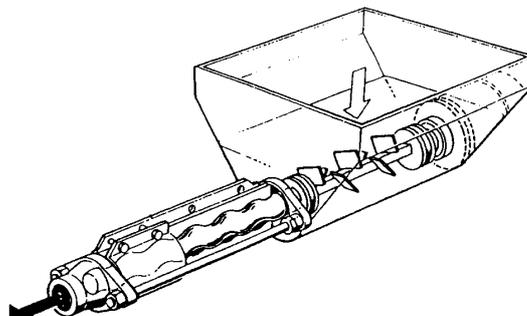


Abb. 3.3-2 Betonpumpen für Nassspritzbeton [4]

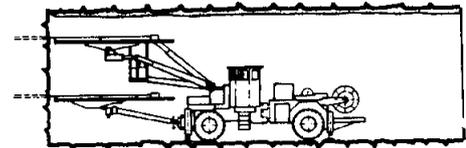
3.4 Geräteausstattung (Beispiel)

Die Wahl der Geräteausstattung wird von Randbedingungen wie Geologie, Tunnellänge und –querschnitt, Sohlgefälle, Vortriebsverfahren und vertraglicher Bauzeit beeinflusst.

Der Tunnelbau ist eine Linienbaustelle. Die Konsequenz daraus ist, dass zwischen allen anfallenden Arbeiten eine starke Abhängigkeit gegeben ist. Also die Geräte für die einzelnen Arbeitsgänge (Bohren, Sprengen, Schüttern, Sichern sowie Entsorgung und Versorgung) des konventionellen Vortriebs müssen optimal aufeinander abgestimmt werden.

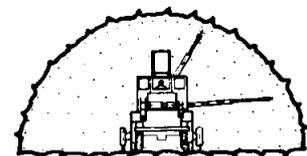
Die üblichen Geräteausstattungen im konventionellen Tunnelbau sind im Kapitel 3 ausführlich beschrieben. Ein Beispiel für die Gerätedisposition im Tunnel zeigen die folgenden Abbildungen [15]. Das Bauverfahren, der in diesem Beispiel angewendet wird, ist die „Neue Österreichische Tunnelbauweise“ (NÖT).

Die Abb. 3.4-1 zeigt das Bohren der Sprenglöcher an der Ortsbrust mit einem elektro-hydraulischen Bohrwagen.

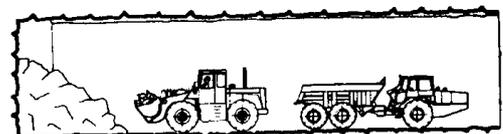


Abbohren der Ortsbrust

Abb. 3.4-1 Abbohren der Ortsbrust [15]



Die Abb. 3.4-2 zeigt das Verladen des Haufwerks nach dem Sprengen durch einen herkömmlichen Radlader. Es könnte aber auch ein Hydraulikbagger (Tunnelbagger) verwendet werden. Bei weniger standfesten Bodenarten kann zur Vermeidung von Sprengerschütterungen der Abbau direkt mit dem Tunnelbagger erfolgen. Der Abtransport des Haufwerks erfolgt in diesem Fall mit knickgelenkten Muldenkippern, die im Tunnelbereich noch wenden können.

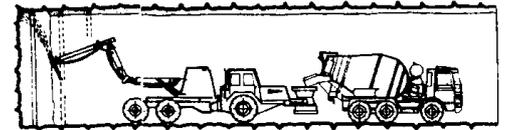


Schüttern des Haufwerks



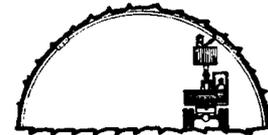
Abb. 3.4-2 Schüttern des Haufwerks [15]

Die Abb. 3.4-3 zeigt die Gewölbesicherung. Bei diesem Tunnel wird zur Sicherung Nassspritzbeton verwendet, welcher mithilfe eines Spritzbetonmanipulators aufgebracht wird. Der Antransport des Spritzbetons erfolgt mit Fahrmischern.

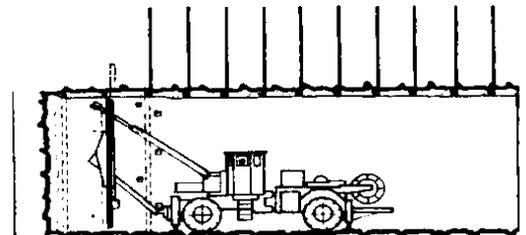


Bogen setzen, Spritzbeton aufbringen

Abb. 3.4-3 Gewölbesicherung [15]

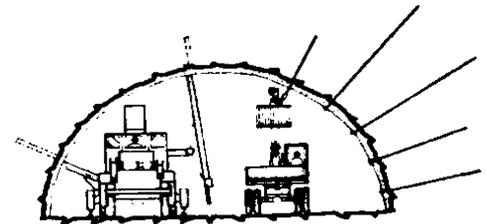


Die Abb. 3.4-4 zeigt die Ankersetzung (evtl., wenn die Anker notwendig sind). Als Ankerbohrgerät kann der gleiche Bohrwagen dienen, der bereits zum Bohren der Sprenglöcher verwendet wurde.



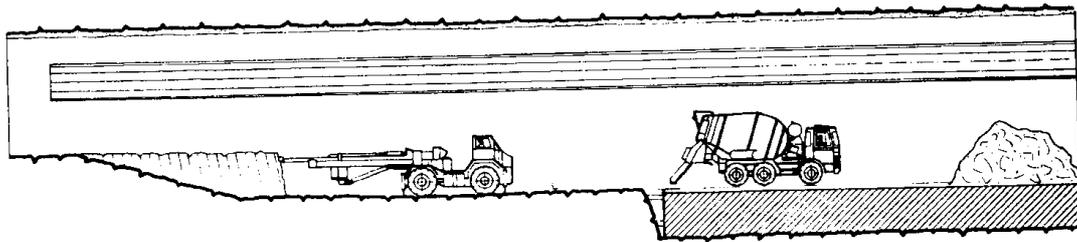
Anker bohren und setzen

Abb. 3.4-4 Ankersetzung [15]



Die Abb. 3.4-5 zeigt das waagerechte Abbohren und den Vortrieb der Strosse. Bei weniger standfestem Gebirge ist auch ein Reißen und Laden der Strosse mit einem Hydraulikbagger ohne Sprengen möglich.

Die Abb. 3.4-5 zeigt den Aushub und das Betonieren der Sohle. Ausgehoben wird meist mit einem Hydraulikbagger mit Tieflöffel. Wenn notwendig kann der Boden mit einer Hydraulikmeißleinrichtung oder einer Anbaufräse am Bagger gelöst werden.



Reißen der Mittelrampe, Abbohren der Seitenstöße

Sohlaushub und Einbau Sohlgewölbe, halbseitig

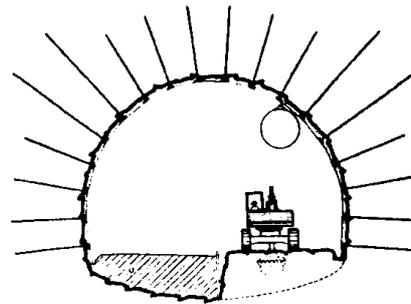
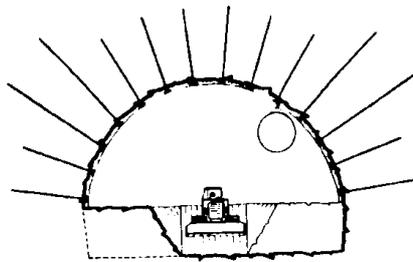
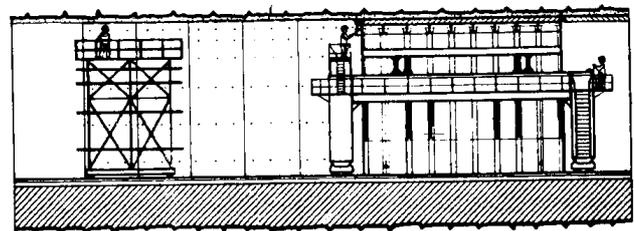


Abb. 3.4-5 Vortrieb der Strosse,

Aushub und das Betonieren der Sohle [15]

Die Abb. 3.4-6 zeigt den weiteren Ausbau des Tunnels mit der Befestigung der Isolierung und dem fahrbaren Schalwagen für die meist unbewehrte Innenschale. Der Schalwagen besitzt ein Portal, so dass die Arbeiten im vorderen Bereich des Tunnels ungehindert durchgeführt werden können. In der Schalhaut des Schalwagens befinden sich mehrere eingebaute Fenster, durch die der Beton mit einer herkömmlichen Betonpumpe eingebracht werden kann.



Isolierwagen

Schalwagen für Innenschale

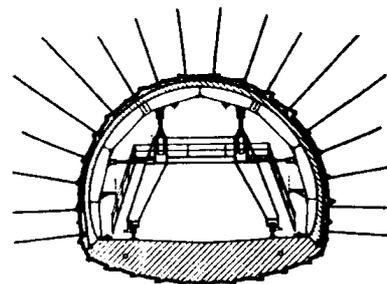


Abb. 3.4-6 Ausbau des Tunnels [15]

Die Abb.3.4-7 zeigt das Vortriebs- und Arbeitsschema des Arlbergtunnel West

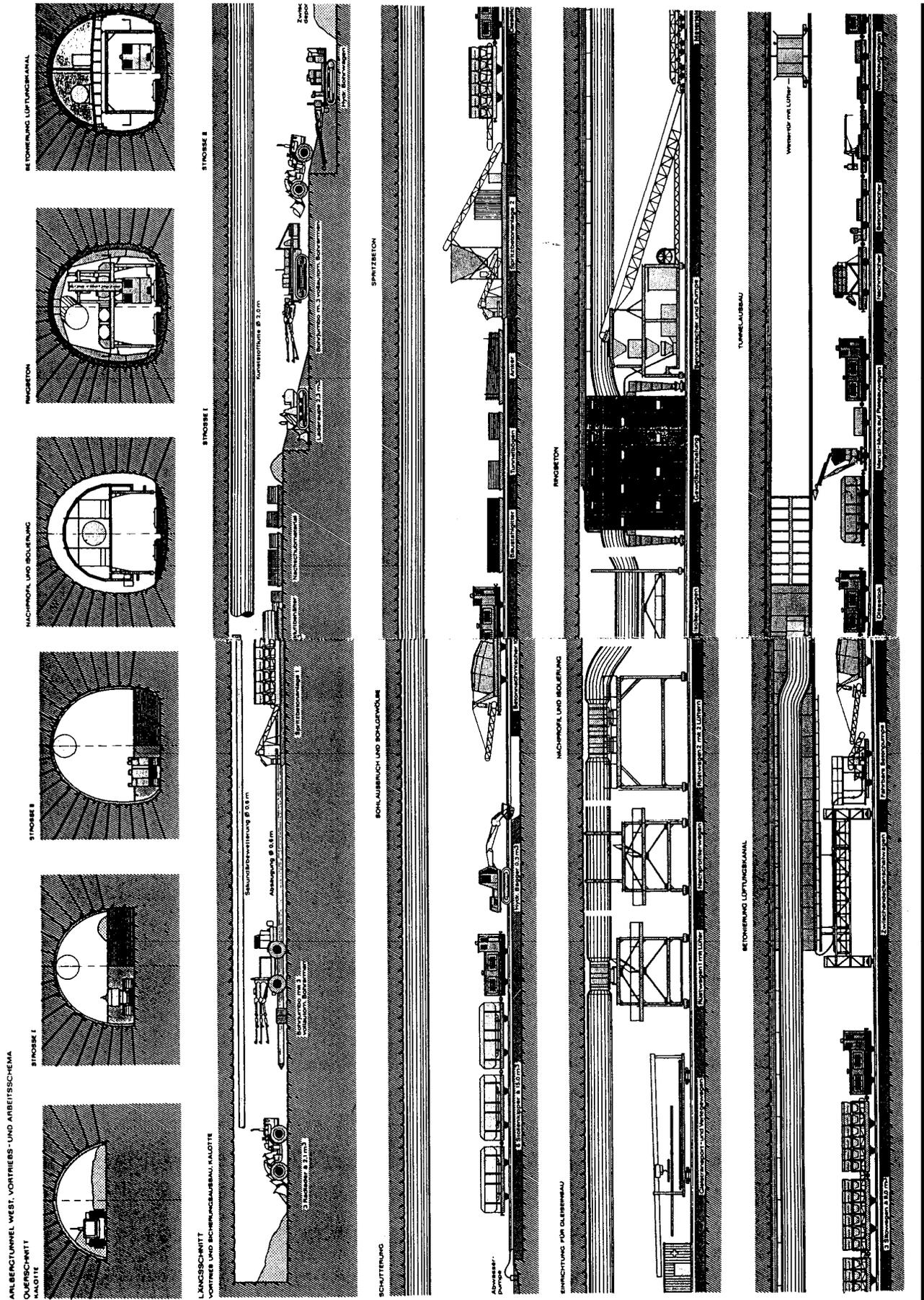


Abb. 3.4-7 Albergtunnel West, Vortriebs- und Arbeitsschema

4 **Beschreibung der neuen Entwicklungen in der Geräteausstattung beim zyklischen Vortrieb**

4.1 Voraussetzungen (Gründe)

Heute besitzt der konventionelle Vortrieb noch ein ziemlich hohes, ungenutztes Wirtschaftlichkeitspotential hinsichtlich gleichzeitiger, verbesserter zyklischer Arbeit. Die Gründe dafür liegen in den noch weitgehend handwerklich geprägten, teilweise mechanisierungsorientierten, sequentiellen Arbeitsprozessen, dieses aus vielen einzelnen Arbeitsphasen zusammengesetzten Bauverfahrens (siehe Kapitel 2.2).[13]

Der moderne Produktionsprozess in der Vortriebszone ist durch verschiedenste Arten von Spezialarbeitsgeräten für jeden zyklischen Arbeitsabschnitt geprägt.[13] In der Regel können die Geräte nur nacheinander zum Einsatz kommen. Dabei laufen die einzelnen Arbeitsgänge zeitlich nacheinander ab. Ein paralleler Ablauf der einzelnen Zyklen ist nur beschränkt möglich.

Die Arbeitssicherheit in den noch ungesicherten Bereichen, direkt nach dem Sprengen, ist wegen der Möglichkeit von Steinfällen kritisch.[13]

Es soll eine Verbesserung der Luftqualität durch kontinuierliches Nachführen der Lüftungslüfte geschaffen werden.[13]

Jede einzelne Komponente der unterstützenden Infrastruktur wie Container, Hilfsaggregate etc. sowie das gesamte Material wird einzeln umgesetzt, um dem Vortrieb zu folgen.[13]

Der Sprengvortrieb ist bei langen Tunneln und guten Gesteinsverhältnissen, wo hohe Vortriebsleistungen zu erwarten sind, gegenüber einem TBM-Vortrieb nicht konkurrenzfähig.[13] Lange Tunnelstrecken und kleine Tunnelprofile stellen besondere Anforderungen an die Logistik des konventionellen Tunnelvortriebes. Bohren, Sprengen, Schüttern, Sichern sowie Materialzutransporte müssen optimal aufeinander abgestimmt sein [2], damit eine bedeutende Leistungssteigerung erreicht werden kann. Dadurch kann eine neue Konkurrenzsituation geschaffen werden. Bei längeren Baulosen ist die Mechanisierung des Schütterbetriebs besonders wichtig. Das Beladen des Transportmittels und der Transport selbst bis zur Kippe sind als Gesamtheit zu betrachten.[2]

4.2 Ziele

Die Ziele ergeben sich aus den in Kapitel 4.1 angeführten Gründen für die Neuentwicklungen im Bereich der Geräteausstattung.

Hauptziel ist die Entwicklung eines Vortriebskonzeptes mit hoher durchschnittlicher Vortriebsleistung.[14] Um dieses Ziel zu erreichen, müssen einerseits die Vorteile der Methode - konventioneller Tunnelbau, beibehalten und andererseits ihre ungenutzten Effizienzpotentiale gestaltet werden. Das bedeutet, man muss die Flexibilität des Sprengvortriebs hinsichtlich Anpassungsfähigkeit auf Querschnittsformen und -größe sowie die Installation verschiedener Arten und Quantitäten an temporären Felssicherungen wahren. Es gibt zwei Bereiche des konventionellen Vortriebs, die ein Leistungssteigerungspotential haben [13]:

- der Vortriebsbereich (die zyklischen Arbeitsvorgänge)

- der rückwärtige Bereich für Vortriebsversorgung, zusätzliche Sicherungsmaßnahmen und Endausbau

Die Ziele in der Vortriebszone fokussieren auf die Verbesserung der zyklischen Vortriebsprozesse durch Mechanisierung und Robotisierung des individuellen, robusten Equipments [13]:

- mechanisiertes Schuttern mit Hochleistungs-Tunnelbaggern oder mit Vortriebsinstallationen (bestehend aus Hängebühne und Förderband, welche zum Beispiel im Lötschberg-Basistunnel (Baulos Mitholz) verwendet werden)

- mechanisierte Installation der temporären Sicherung

Die Ziele im rückwärtigen Bereich des konventionellen Tunnelvortriebs sind [13]:

- Trennung der linearen Transportflüsse

- Trennung der Arbeitsbereiche von den Transportprozessen

- Trennung der Hilfseinrichtungen von den Transportflüssen und Arbeitsbereichen

- gleichzeitige Bewegung der Versorgungsinfrastruktur, bestehend aus Aggregaten, Einrichtungen/Anlagen usw., die dem Vortriebsprozess folgen

- Trennung der Materialflüsse und Versorgungsinfrastruktur von den Park-, Lager- und Arbeitszonen sowie dem Bereich des Tunnelsohlausbruchs

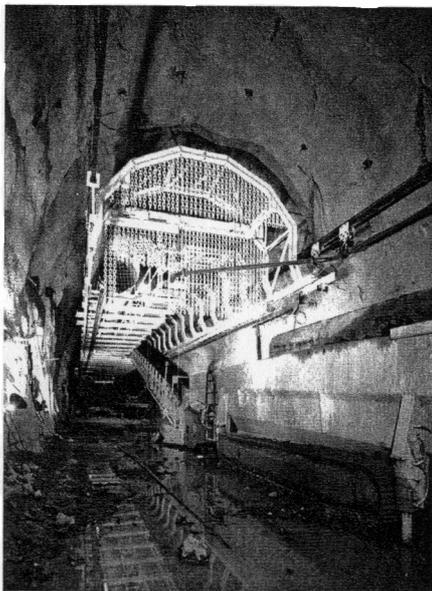
- parallele Arbeitsabläufe und parallele Transportflüsse, die im gleichen Bereich des Vortriebs stattfinden

- Erhöhung der Arbeitssicherheit (Humanisierung der Arbeit)

Wie und inwieweit die neue Methoden für Geräteausstattung ihrer Zielen erfüllen können, wird in den folgenden Kapiteln untersucht.

4.3 Hängebühnen [13]

Die Hängebühnen sind Nachläufersysteme, die als verschiebbare Infrastrukturträger dienen. Sie werden als Plattform auf aufgehängten Schienen nachgeführt. Die Verschiebung der Bühne vorwärts wird durch Vorschubzylinder, die auf jeder Seite der Plattform installiert sind, bewerkstelligt. Die beidseitigen Vorschubzylinder müssen gleichzeitig nachrücken.



Der vordere Bereich der aufgehängten Plattform wird während des Sprengens durch einen Kettenvorhang gegen Felstrümmer geschützt. (Abb.4.3-1) Der Abtransport des Ausbruchmaterials erfolgt durch ein Förderband, das auf der Plattform liegt. Auf diese Weise wird der Ausbruch über Park-, Lager- und Sohlaußbaubereich gefördert. Vor dem schrägen Zuführungsband ist ein Brecher angeordnet. Dieser rückt zum Schüttern bis ca. 30 m hinter die Ortsbrust vor.

Abb. 4.3-1 Trümmerschütz-Brecher-schräges Zuführungsband (Vereina-Tunnel) [2]

Die gesamte Hilfsinfrastruktur - Kabeltrommeln, Umformer, Kompressoren, Notstromaggregate, Sprengstoffcontainer, Container für Mannschaft und Vorarbeiten, Werkstatt, Magazin, Toiletten, Wasserinstallationen und Lutten mit Luttenpeicher (zur unterbruchsfreien Verlängerung der Bewetterungslutte) – auf der aufgehängten Nachläuferplattform vortriebsbegleitend mitgezogen. Auf der Hängebühne wird auch eine Fußgängerbrücke installiert.

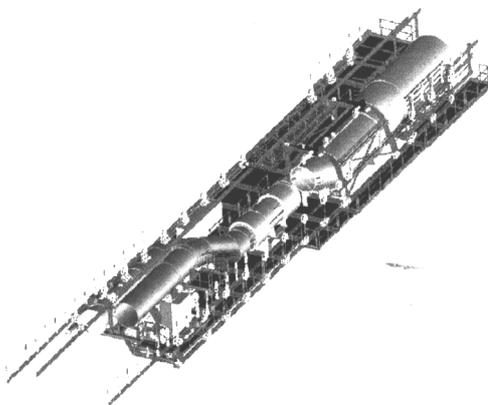


Abb. 4.3-2 Hängebühne mit Infrastruktur [16]

Der Umschlagbereich am Ende der Plattform hat zwei Materialflüsse zu bewältigen. Der Erste ist der Transport der Materialversorgung für den temporären Sicherungseinbau und weitere Arbeiten. Das Material wird mittels Überkopf-Schienenkran über den Sohlausbaubereich und die Parkzone transportiert. Der Zweite ist die Umladung des Ausbruchmaterials auf das Tunneltransportsystem (z.B. auf einen Schutterzug oder ein Streckenförderband).

Die Länge der Hängebühne muss zwischen dem Unternehmer und dem Hersteller für die vorgesehenen Leistungen und Abläufe des jeweiligen Projektes optimiert werden. Sie hängt von den folgenden Faktoren ab:

Anzahl und Art der Hilfsinfrastruktur auf der Plattform

Länge der Parkzone für nicht benutzte Vortriebsmaschinen

Länge des Sohlausbaubereiches

Länge der Materialumschlagzone, um den Ausbruch auf das Tunnelförderband, auf LKWs oder Züge für den Gleistransport aus dem Tunnel umzuladen

Die Abb. 4.3-3 zeigt die Bereiche Vortriebszone und rückwärtiger Bereich mit den verschiedenen Funktionszonen, in denen die einzelnen Prozessabläufe stattfinden. Sie veranschaulicht noch das neue Konzept der Nachläufer- Logistiksysteme. Durch die Verwendung solcher Nachläufer ist die Schaffung zweier unabhängigen Arbeitsebenen möglich:

obere Ebene mit Unterstützungsinfrastruktur, Ausbruchsabtransport und Luftversorgungsleitungen, die in einzelnen funktionalen Zonen untergebracht sind

untere Ebene mit Park- und Lagerzonen, Sohlausbau und Umschlagzone für Belieferung und Abtransport von Material

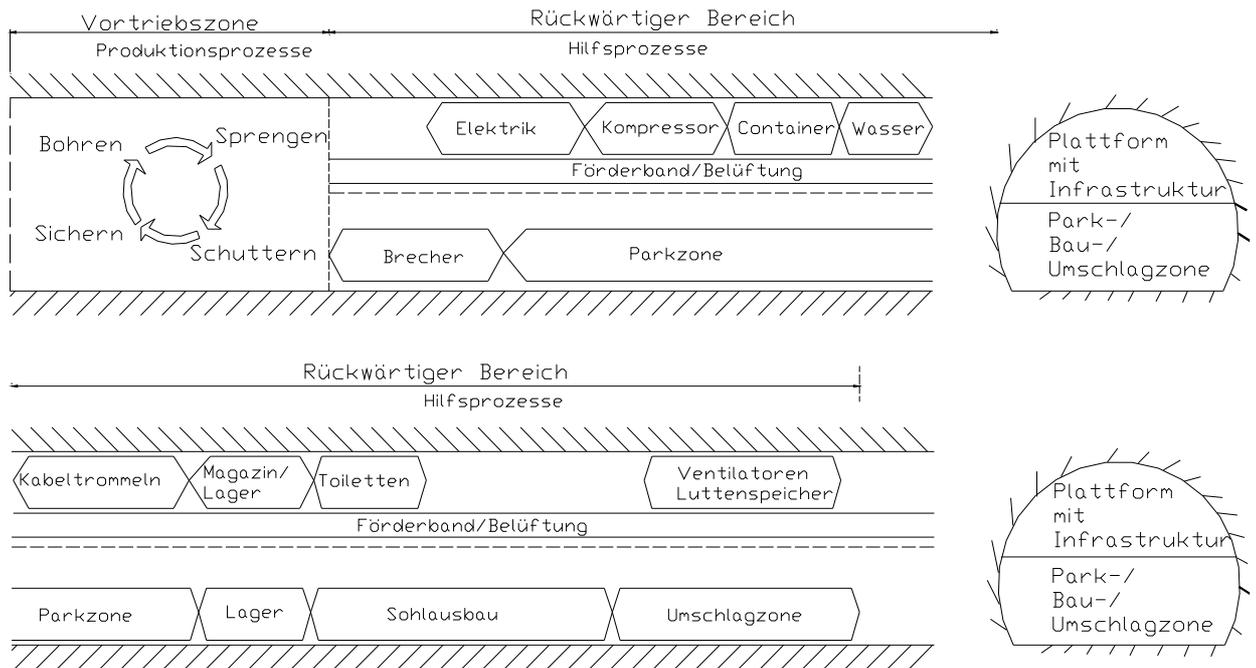


Abb. 4.3-3 Konzept der Nachläufer-Logistiksysteme [13]



Abb. 4.3-4 zwei Arbeitsebenen [16]

Dank der horizontalen Trennung des Querschnittes kann der Ausbau der Tunnelsohle laufend mit dem Vortrieb effizient und flexibel ausgeführt werden. Die Hängekonstruktion bietet einen abstützungsfreien Arbeits-, Manövrier- und Parkraum auf der Sohle. (Abb.4.3-4)

Das in den Abb. 4.3-4 und 4.3-5 dargestellte Nachläufersystem wurde beim Vereina-Tunnel (Baulos Süd) eingesetzt. Sein Konzept konzentriert sich auf die Parallelisierung der Arbeiten im rückwärtigen Bereich des Tunnels.

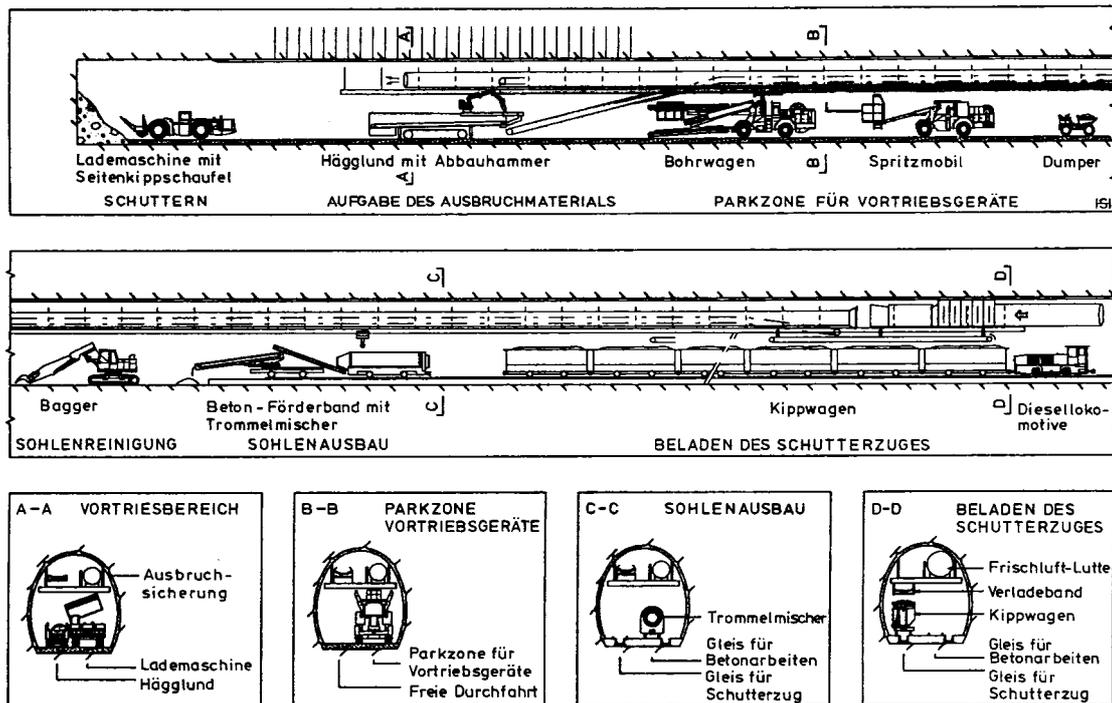


Abb. 4.3-5 Schematische Darstellung des Nachlaufsystems im Sprengvortrieb, Vereina-Tunnel Süd [2]

Die Nachläufersysteme für den konventionellen Vortrieb wurden für die Teilabschnitte der Neuen Eisenbahn-Alptransversale (Gotthard: 57 km, Lötschberg: 35 km) weiterentwickelt. Das Ziel der Weiterentwicklung dieser Systeme war es, die weitere Industrialisierung der Vortriebszone. Das bedeutet, gleichzeitige Ausführung der verschiedenen Arbeitsschritte (so weit es möglich ist) und Optimierung der Interaktion zwischen Vortrieb und rückwärtigem Bereich. Das Konzept der Weiterentwicklung des industrialisierten Hochleistungssprengvortrieb basiert auf dem Einsatz einer zweiten leichten Schnellläuferbühne neben der Infrastrukturhängebühne. Die beiden Nachläufer greifen ineinander.

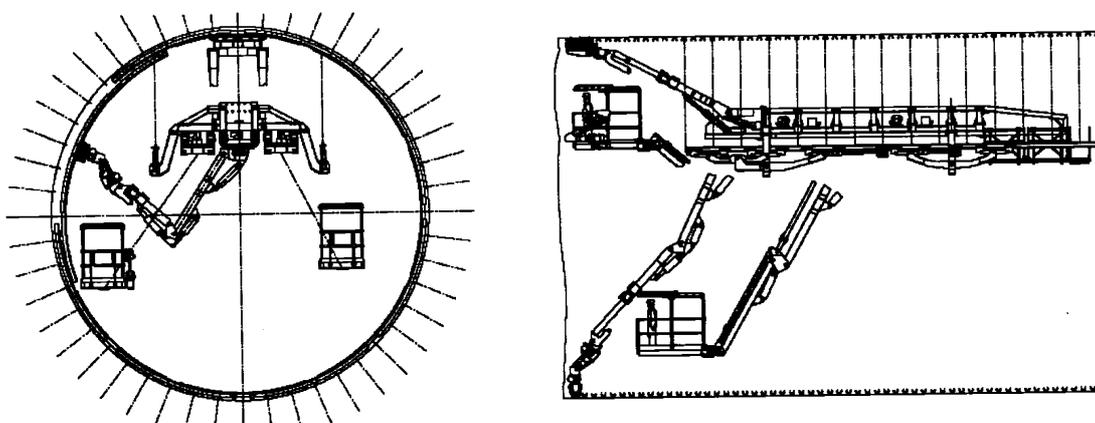


Abb. 4.3-6 Schnellläuferbühne [16]

Die Schnellläuferbühne kann mit verschiedenen multifunktionalen, hochleistungsfähigen Geräten für das Versetzen von Anker, Bogen und Hängeschienen auch mit einem Spritzbetonmanipulator bestückt werden. Weiters kann sie mit einer Lagerfläche für Netze und Ausbaubögen ausgerüstet sein. Durch die Integration der Schnellläuferbühne können auch die Arbeitsprozesse in der Vortriebszone getrennt werden, um das volle Effizienzsteigerungspotential dieses Tunnelbereiches zu entfalten.

4.3.1 Einsatzbereich

Das aufgehängte Nachläufersystem, das als Infrastrukturträger dient, kann in längeren Tunneln mit kleineren Ausbruchquerschnitten wirtschaftlich eingesetzt werden (z.B. beim Schmalspur-Eisenbahntunnel Vereina-Süd (in der Schweiz), der eine Länge von 7.500 m und ein Querschnitt von 39 m² aufweist.[2]

Das System, das aus einer leichten Schnellläuferbühne und einer Infrastrukturlängerbühne besteht, hat sich bis heute in Querschnitten bis zu 70 m² bewährt.

Bei Tunneln mit Ausbruchbreiten von:

weniger als 7 bis 9 m werden die Arbeiten Bohren/Laden, Schüttern, Anker setzen/Bogen stellen in Brust und Vortriebsbereich fortlaufend, nacheinander ausgeführt. Parallel dazu wird im rückwärtigen Bereich unter der aufgehängten Plattform die Sohle hergestellt.

mehr als 9 bis 10 m kann die Ausführung der Arbeitsvorgänge im Brust- und Vortriebsbereich weitgehend parallel verlaufen. Das bedeutet, die Sprenglöcher werden in der einen Profilhälfte gebohrt, während in der anderen das Setzen der Anker stattfindet. Anschließend erfolgt das Umstellen unter gleichzeitiger Ladung der Bohrlöcher und Vorbereitung der Zündung. Die Sohle kann während des Schütterns und Sicherns erstellt werden.

Einfluss auf den Einsatz dieses Systems haben nicht nur die Querschnittabmessungen, sondern auch der Ausbruch und die Sicherungsklassen.

Vortrieb im standfesten nachbrüchigen Fels

Beim Vortrieb in dieser Kategorie (1) müssen geringe bis erhebliche Sicherungsmaßnahmen in der Ortsbrust und im Tunnelquerschnitt vom Brust-/Vortriebs- bis rückwärtigen Bereich eingebaut werden. Die Infrastrukturlängerbühne wird in der

Friste an Hängeschienen aufgehängt. Sie wird ca. 70 m hinter der Ortsbrust nachgezogen. Die Schnellläuferbühne ist mit Geräten für das Versetzen von Anker, Bogen und Hängeschienen ausgerüstet. Sie trägt auch die Lagerfläche für Netze und Ausbaubögen. In der Lüftungsphase schiebt man die Schnellläuferbühne zur Ortsbrust vor. Die Brustreinigung kann mit einem Bagger mit Hochlöffel erfolgen. Wenn der Ausbruchquerschnitt größer als 70 m^2 ist, fährt dieser auf das Haufwerk. Für die Profilreinigungsarbeiten muss das Profil des gesprengten Abschlags frei sein. Das Setzen der Anker (mit oder ohne Netz) im Brust-/Vortriebsbereich erfolgt von der Schnellläuferbühne aus. Unter dem Schnellläufer kann man das Ausbruchmaterial mit einem Tunnelbagger oder Lader direkt in die Aufgabegosse des Brechers schüttern. Für die Schutterarbeiten müssen der Bagger und der Brecher bis an das gesprengte Haufwerk heranfahren und diesem während des Schütterns bis zur Ortsbrust folgen. Nach Beendigung des Schutterbetriebs fahren beide Geräte wieder zurück, um die weiteren Arbeiten im Vortriebszyklus nicht zu behindern.[14] Danach wird der Spritzbeton mit einem Spritzbetonroboter, wenn erforderlich, appliziert. Anschließend beginnt man wieder mit dem Bohren. Während des Bohrens wird der Spritzbeton im rückwärtigen Bereich aufgetragen.

Vortrieb im Gebirge mit geringer Standfestigkeit

In der Kategorie (2) müssen im Ortsbrust- und Vortriebsbereich massive Sicherungsmaßnahmen in der Ortsbrust und im Querschnitt eingebaut werden. Der Abbau kann durch Sprengen oder mechanisch mit Hydraulikhammer, Schrämmkopf oder Baggerschaufel erfolgen. Die Abschlagslänge bei dem sprengtechnischen Abbau soll kurz gehalten werden.

Die Infrastrukturhängebühne zieht man ca. 50 m hinter der Ortsbrust nach und die Schnellläuferbühne führt man bis ca. 10 m an die Ortsbrust heran. Von dem Schnellläufer aus werden die Spieße (falls sie erforderlich sind) in Brust und Kranz vorgetrieben. Auf der Schnellläuferbühne werden die Netze vorbereitet und die Ausbaubögen vormontiert. Gleichzeitig erfolgt unter ihr die Schutterung. Der parallele Ablauf des Abbaus in der einen Profilhälfte und des Stahlbogeneinbau in der anderen kann nur bei ausreichend großem Querschnitt durchgeführt werden. Infolge des Sohleinbaus ist die Parkzone unter dem Schnellläufer sehr beschränkt. Deswegen wird die Bühne mit einem Ankergerät und einem kleinen Spritzbetonmanipulator bestückt.

Wenn der Vortrieb in geologisch stark wechselnden Zonen durchgeführt werden muss, werden während des Vortriebs auch die Abbaumethoden (sprengtechnisch,

mechanisch) gewechselt. Der Übergang zwischen diesen muss fließend erfolgen. Die Schellläuferbühne muss auf die beiden Vortriebskategorien zugleich ausgelegt werden, damit die größtmögliche Vortriebsleistung des Systems mit zwei Hängebühnen erreicht werden kann.

4.3.2 Erfahrungen aus dem Betrieb der Hängebühnen [14]

In dem im Sprengvortrieb aufzufahrenden Abschnitt im Lötschberg Basistunnel West von Raron zum Fensterstollen Steg wird eine dem Vortrieb kontinuierlich folgende Hängebühne, die sämtliche erforderlichen Installationen aufnimmt, eingesetzt.[14] Die Hängebühne überbrückt die Sohlbaustelle und schafft freien Platz für den Einbau des Sohlbetons bereits unmittelbar nach dem Ausbruch. So kann man auch während der Bauzeit über die fertige Fahrbahn verfügen.

Die Hängebühne hat sich während des Vortriebes gut bewährt. Folgende Vorteile der Hängebühne wurden während des Betriebes festgestellt:

- die erwarteten hohen Leistungen wurden dank der kontinuierlichen Materialförderung und der zwei Arbeitsebenen vollumfänglich ermöglicht

- die Hängebühne erlaubt dank konsequenter Mechanisierung Spitzenleistungen im konventionellen Vortrieb. (Die langen Tunnels lassen sich auch im konventionellen Vortrieb effizient bauen.)

- die umfangreichen Sicherungsmaßnahmen können ohne Leistungseinbußen während des Vortriebs ausgeführt werden

- die Infrastruktur gewährt sichere Arbeitsplätze beim Vortrieb sowie bei der Sohlbetoneinbaustelle und bei den Bandverlängerungsarbeiten

- die Entflechtung von festen Installationen und Transport- und Ausbruchgeräten, die die Bühne bietet, erhöht die Sicherheit, die Arbeitsqualität und die Leistung

- durch den Einsatz der Bühne entfällt das aufwendige Umsetzen der einzelnen Installationen

- der Baustellenverkehr wird minimiert

Während des Betriebes entstandene Probleme:

Beim TBM-Vortrieb, wo das Konzept der Hängebühne entstanden ist, ist die Bühne der übliche Arbeitsplatz der Arbeiter. Die Arbeiter in diesem Projekt bevorzugten aber die

Sohle als Arbeitsfläche. Gründe dafür waren vermutlich der große Höhenunterschied (erforderliche lichte Höhe von 4,30 m unter der Bühne), die relativ geringe verbleibende Höhe oben, der durch die Lutten eingeschränkte Bewegungsraum auf der Hängebühne und die oben im Tunnel relativ schlechte Qualität der Luft. Demnach wurden auf der Bühne keine ständigen Arbeitsplätze eingerichtet.

Die Schienen für die Hängebühne sind mit Ketten an Swellex-Anker in der Friste aufgehängt. Das exakte Einmessen, Setzen und Prüfen der Anker für die Aufhängung der Bühne sowie ihre komplette Montage waren sehr aufwändig und nur bei eingeschränktem Vortrieb machbar. Außerdem war das Verfahren der Hängebühne sehr personalintensiv.

Die Arbeiter haben erst nach einer Anfangsphase die Neuerungen mental akzeptiert und sich eingearbeitet.

Durch die zunehmende Mechanisierung und Systematisierung der Vortriebsarbeiten steigen die Anforderungen an das Personal für Bedienung, Wartung und Einhaltung von Arbeitsschritten. In diesem Zusammenhang muss der Ausbildungsgrad der Arbeitskräfte durch adäquate Weiterbildungsmaßnahmen erhöht werden. Es sind höher qualifizierte Arbeiter nötig, um die Nachläufer als Logistiksysteme nutzen zu können.

Die hohe Mechanisierung des Sprengvortriebs bedeutet hohe Investitionskosten. Die Entscheidung, in diese Mechanisierung zu investieren, lohnt sich nur wenn höhere Leistungen erreicht werden.

4.4 Tunnelvortriebsportale

4.4.1 Aufbau und Merkmale des Tunnelvortriebsportal (TVP)

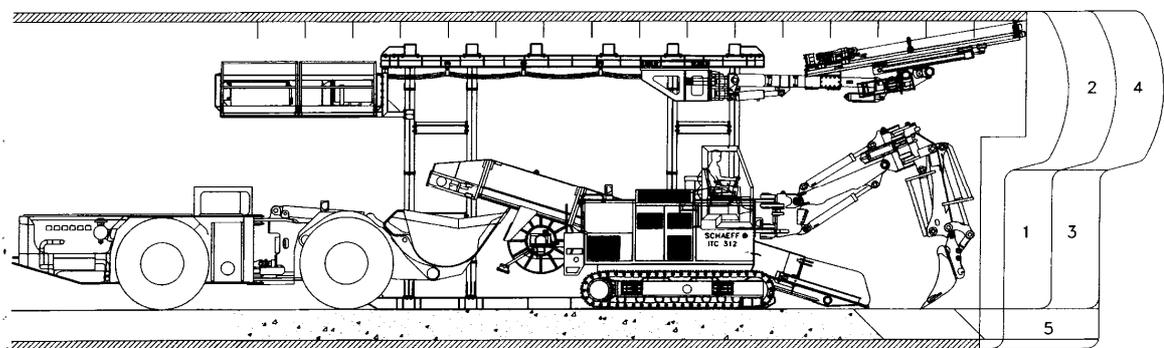


Abb. 4.4-1 Tunnelvortriebsportal mit dem Bagger Typ Schaeff ITC 312

Die Maschine besteht aus:

einer auf Kufen aufgesetzten Portalträgerkonstruktion in Elementbauweise mit bis zu drei Verschiebebahnen zur Aufnahme der Arbeitsmaschinen. Die Elementbauweise ermöglicht eine Anpassung an die Veränderungen des Tunnelquerschnitts

Arbeitsmaschinen: Bohreinrichtungen, Spritzmanipulatoren und Serviceplattform ggf. mit integrierten Handhabungsgeräten. Die Arbeitsmaschinen können unabhängig voneinander in der Längsrichtung (vor und zurück) verfahren. Die Konfiguration der Maschinen kann vom Kunden gewählt werden

unterhalb der aufgehängten Arbeitsmaschinen wird ein Tunnelbagger eingesetzt (z.B. ITC Schaeff-Bagger), welcher Löse- und Ladegerät in einem ist und somit den Bodenabbau bewerkstelligt

elektro-hydraulisches Powerpack (elektro-hydraulischer Antrieb) aufgesetzt auf einem Traggestell am Ende des Portals. Das TVP hat also eine unabhängige Versorgung von dem Lade und Lösebagger

Verbindungskonsolen, die an den Kufen des Portalgestells angebracht sind. Sie dienen zum Vorziehen des kompletten TVPs durch den Tunnelbagger Schaeff Typ ITC 312 (über den Raupenantrieb)

alternativ ist das TVP mit einem Eigenfahrantrieb ausrüstbar: Raupenfahrwerk oder selbstschreitende Kufenkonstruktion

Die Anbauteile (Bohrgeräte, Pumpenstation, Serviceplattform) wurden bei der in Abb. 4.4-1 dargestellten Ausführung von einem Boomer H135 der Firma Atlas Copco genommen.

Die Bohreinrichtungen und die Serviceplattform sind unabhängig in der Friste ca. 8 m verfahrbar und können so über den in der Streckenmitte stehenden Bagger hinweg gefahren werden. Dadurch wird der Parallelität der Arbeitsvorgänge ermöglicht.

Serviceplattform:

Die Serviceplattform wird im Streckenvortrieb für Arbeiten im Frist- sowie Stossenbereich eingesetzt. Sie kann im Raum so bewegt werden, dass sie für alle entsprechenden Tätigkeiten beim Tunnelvortrieb nutzbar ist. Durch die optimalen Bewegungsmöglichkeiten der Bühnenplattform werden diese Arbeiten in körpergerechter Haltung erledigt.

Die Serviceplattform verfährt über einen Triebstockantrieb. Die gesamte Einrichtung wird hydraulisch über das am Ende des Tunnelvortriebsportals angebaute Hydraulikaggregat versorgt.

Durch den Einsatz der Serviceplattform soll die Sicherheit bei den Vortriebsarbeiten erhöht und die Arbeit erleichtert werden.

Spritzmanipulator:

Der Spritzmanipulator wird auf der Schwenkbühne integriert. Er bestreicht den gesamten Streckenquerschnitt und wird im Ruhestand neben dem Arbeitskorb der Schwenkbühne geparkt.

Bohreinrichtungen:

Die Bohreinrichtungen hängen an zwei unterschiedlich, verfahrbaren Bohrarmkonsolen mit vier Tragkatzen, die ebenfalls in einer in der Friste des Tunnelvortriebsportals angeordneten Verschiebebahn laufen. Die Konsolen verfahren über einen Triebstockantrieb. Um der Vorschubkraft der Bohrlafette entgegenzuwirken ist eine Bremse in den Bohrarmkonsolen integriert, die automatisch zum Einsatz kommt, wenn der Triebstockantriebsmotor nicht mehr beaufschlagt wird. Die Bohreinrichtung kann für das Einbringen von Spießen oder Rohrschirmen, für die Ankerung und für das Einrammen von Sicherungsblechen genutzt werden.

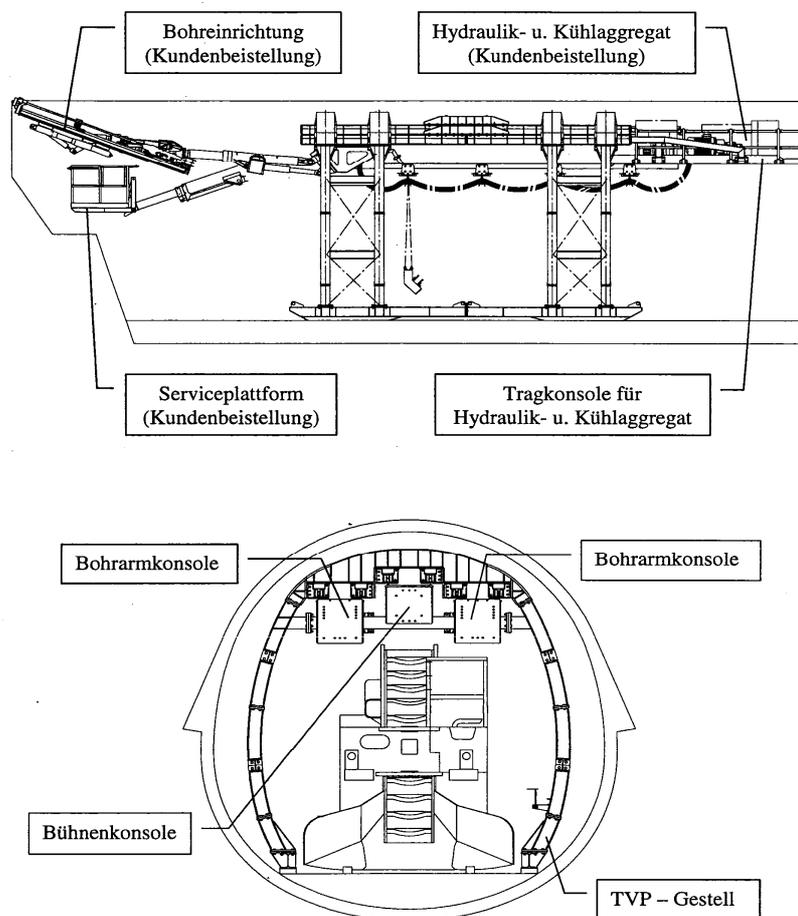


Abb. 4.4-2 Aufbau des Tunnelvortriebsportal [17]

Vorzüge des Tunnelvortriebsportals:

Höchstmaß an Flexibilität bei maximaler Parallelisierung von Arbeitsvorgängen im Tunnelvortrieb

Bohren, Ankern, Applikation des Spritzbetons, Einbringung von Stahlbögen und Gitterträgern aus der zweiten Arbeitsebene (aufwendige Ausweichmanöver des Baggers und Bohrgeräts und die Rangierarbeiten entfallen)

die flexible Anpassung des Systems an unterschiedlichste Anforderungen ist möglich
schnelle und variable Anpassung an unterschiedliche Streckenquerschnitte durch die Segmentbauweise der Portalträgerkonstruktion

es werden keine Lasten in die Tunnelfirste durch das TVP eingeleitet. Daraus folgt, dass das TVP auch bei schlechten Gebirgsverhältnissen und bei geringer Überdeckung eingesetzt werden kann

tunnelbaugerechte, robuste maschinentechnische Ausführung

Erhöhung der Arbeitssicherheit vor Ort

Verhinderung der Abgase durch den elektrischen Antrieb der eingesetzten Maschinen

4.4.2 Technische Daten

Portal:

Eigengewicht (inkl. Verschiebebahnen) (ohne Serviceplattform, Bohreinrichtungen, Hydraulikaggregat)	: ca. 32.500 kg
Gesamtgewicht	: ca. 47.500 kg
Gesamtlänge (inkl. Hydraulikstation)	: ca. 12.200 mm
Kufenlänge	: ca. 8.560 mm
Gesamtbreite	: ca. 5.100 mm
Öffnungsbreite zwischen den Kufen (Lichtprofil für Tunnelbagger)	: ca. 3.520 mm
Gesamthöhe	: ca. 5.470 mm
Öffnungshöhe (Lichtprofil für Tunnelbagger)	: ca. 3.800 mm

Tabelle 4.4-1 Technische Daten des Portals [18]

Verschiebebahn (2 oder 3 Stück):

Verfahrweg	: ca. 6.200 mm
Zug- und Schubkraft	: 15 kN
Haltekraft der Feststellbremse	: ≥ 25 kN

Tabelle 4.4-2 Technische Daten der Verschiebebahn [18]

Schwenkbühne:

Korbgröße	: 950 X 2.500 mm
absenkbar um max. Hub	: 2.600 mm
Zuladung	: 5 kN
Schwenkwinkel	: ca. $\pm 40^\circ$

Tabelle 4.4-3 Technische Daten der Schwenkbühne [18]

Spritzmanipulator:

Teleskophub	: 1.200 mm
Frontrotation	: 360°
Düsenrotation	: 360°
Düsenneigung	: 180°
Kreisbewegung Düse	: 5°

Tabelle 4.4-4 Technische Daten des Spritzmanipulators [18]

Bohrarm:

Schwenkwinkel	: ca. 84°
Neigungswinkel	: 58°
Teleskophub	: 1.500 mm
Doppelter Drehtrieb/ Schwenkwinkel	: je 360°

Tabelle 4.4-5 Technische Daten des Bohrarms [18]

Hydraulikaggregat:

Betriebsdruck	: max. 200 bar
Volumenstrom, max.	: 2 x 110 l/min + 1 x 40 l/min
Druckflüssigkeit	: Mineralöl
Elektrische Leistung, max.	: 75 kW

Tabelle 4.4-6 Technische Daten des Hydraulikaggregats [18]

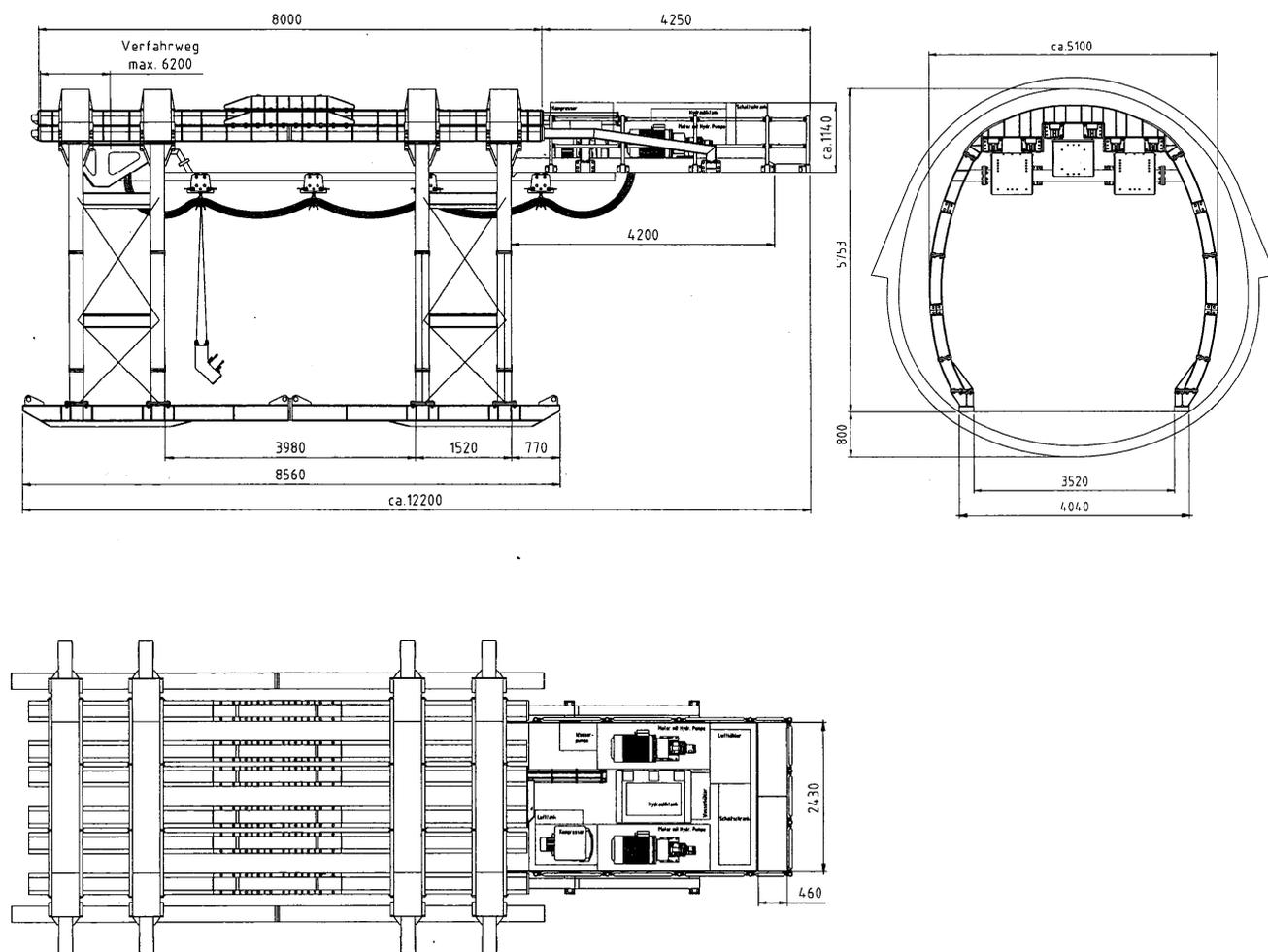


Abb. 4.4-3 Tunnelvortriebsportal [17]

5 Kostenvergleich der Geräteausstattungen- Beispiel

Meist verwendete Verkürzungen:

TVP - Tunnelvortriebsportal

A -Abschreibung

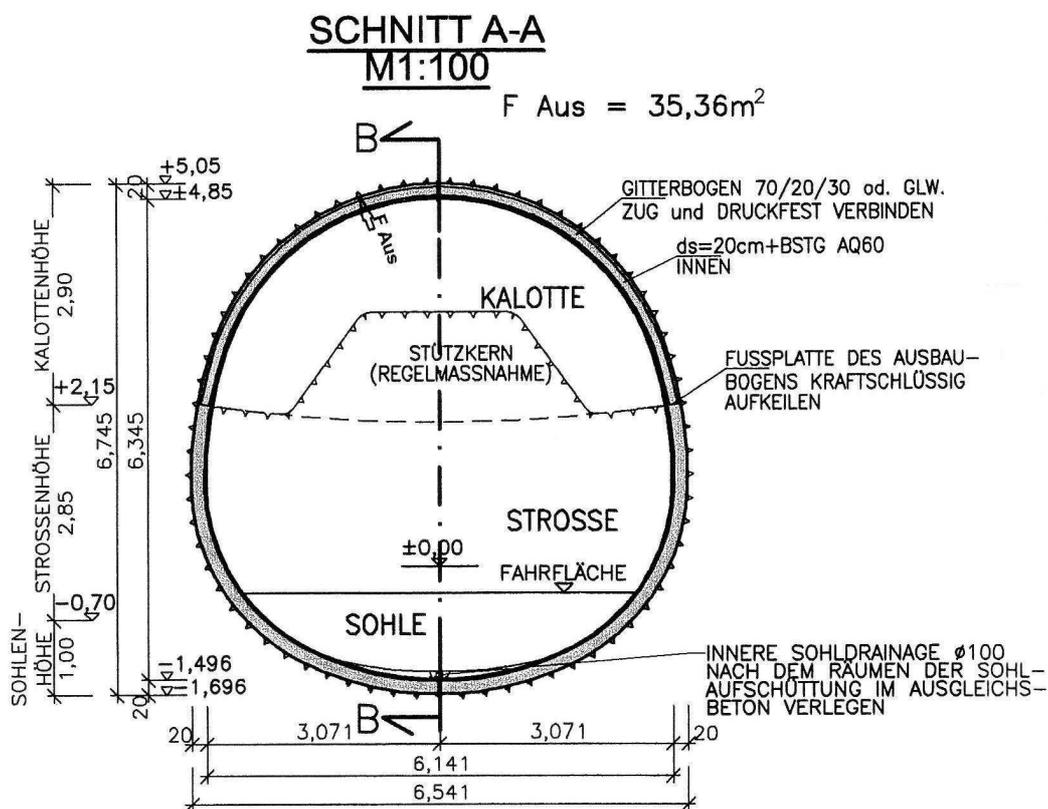
Die Untersuchung der neuen Entwicklungen im Bereich der Geräteausstattung im zyklischen Vortrieb, die in Rahmen der Diplomarbeit durchzuführen ist, soll anhand eines fiktiven Tunnels kalkulativ der bisher üblichen Geräteausstattung gegenübergestellt werden.

Im gegenständigen Beispiel wird der Einsatz eines Tunnelvortriebsportals von der Firma GTA untersucht. Parallel zu der Kalkulation der Ausbruchkosten mit TVP werden auch die Ausbruchkosten mit Bohrwagen ermittelt.

Der Tunnel hat folgende Kenngrößen:

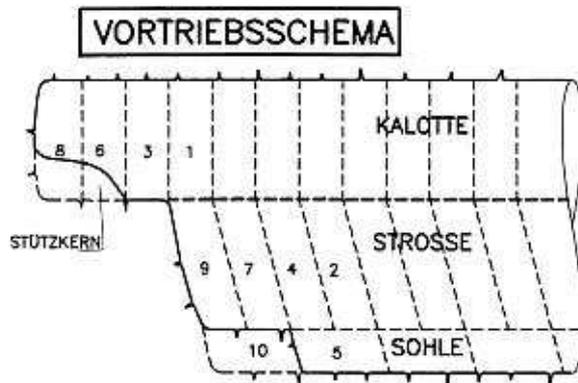
Tunnellänge = 2 km

Ausbruchquerschnitt = 35,36 m²



Der Tunnel wird nach der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode aufgeföhren. Die Abschlagslänge beträgt 1,0 m.

Bei dem Aufföhren des Tunnels soll man das folgende Vortriebsschema einhalten:



Die Vortriebsarbeiten werden im 4/3 Dekadendurchlaufbetrieb durchgeführt.

Für die Sicherung des Ausbruchs werden die folgenden Stützmittel verwendet.

Baustahlgitter	hohlraumseitig
Gitterbogen 70/20/30	1 Bogen je m Vortrieb
Spritzbeton Ortsbrust	5 cm
Spritzbeton Umfang	20 cm
Selbstbohrspieße L=4 m	18 Stk. Bei jedem 2ten Bogen

Es müssen die folgenden Berechnungen für die Kostenanalyse des Ausbruchs mittels Tunnelvortriebsportals und mittels Bohrwagens und Nassspritzmobils gemacht und gegenübergestellt werden:

- Personaldisposition
- Ermittlung der Vortriebsleistung (Zykluszeiten)
- Gerätedisposition
- Ermittlung der Gerätekosten (je Monat bzw. je lfm Vortrieb)

Personaldisposition:

Die Vortriebsarbeiten des Tunnels werden in einem 4/3 – Dekadendurchlaufbetrieb durchgeführt. Somit ergibt sich je Vortriebsmannschaft eine Schichtdauer von 8,0 h und eine durchschnittliche Anzahl von 22,0 Arbeitstagen pro Monat für jeden Arbeiter. Innerhalb eines 16-Tage-Rhythmus wird an 12 Tagen gearbeitet und 4 Tage sind frei. Die mittlere Wochenarbeitszeit ist dann:

$$8,0 \text{ h/AT} \times 7,0 \text{ Tage/Woche} \times 12/16 = 42,0 \text{ h/Wo}$$

Gewählte Vortriebsmannschaft setzt sich aus 6 Arbeitskräften:

Vortriebsmannschaft:	Anzahl:
Drittelführer	1
Mineure	5

Ein Schlosser und ein Elektriker werden bei Bedarf von der Werkstätte beigestellt. Bei Tunnellänge von zwei Kilometer, sind die Fahrzeiten zwischen Werkstätte und Vortriebsbereich noch wirtschaftlich vertretbar.

In diesem Beispiel wird angenommen, dass die Anzahl der Arbeitskräfte für die beiden Ausbruchvarianten mit TVP und mit dem Bohrwagen ist gleich.

Gerätedisposition:

Der Tunnelausbruch erfolgt mit einem Tunnelbagger geteilt in Kalotte, Strosse und Sohle nach der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode. Es sind umfangreiche Maßnahmen zur Sicherung der Ortsbrust und der Friste vorgesehen werden.

Variante mit Tunnelvortriebsportal:

Für Spießsetzung und Spritzbetonauftrag wird ein Tunnelvortriebsportal der Firma GTA mit zwei integrierten Bohrramen und einem Ladekorb mit Spritzbetonmanipulator verwendet.

Ein Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312-H3 wird für den Tunnelvortrieb und für die Ladearbeiten verwendet.

Für den Transport des Ausbruchsmaterials werden 2 knickgelenkten Muldenhinterkipper gewählt, die das Material auf eine Zwischendeponie bringen.

Variante mit Bohrwagen:

Es werden dieselben Geräte eingesetzt, nur anstatt des TVP wurde für die Spießsetzung ein zweiarmigen Bohrwagen ATLAS COPCO – Rocket Boomer 353S mit Ladekorb und für den Spritzbetonauftrag einen Nassspritzmobil Top-Shot-Runner TSR 30.10 von der Firma Schwing verwendet.

Kalkulation der Vortriebsleistung:

Das Ziel der Kalkulation der Vortriebsleistung ist die Berechnung des Abschlagszyklus. Es müssen die einzelnen Zeitanteile der Vortriebsarbeiten näher untersucht werden.

In der gegenwärtigen Kalkulation wird eine Übersicht über die Bohrzeit für die Spieße gegeben. Es wird auch der Zeitbedarf für die Schutterung bis zur Zwischendeponie sowie für die einzelnen Sicherungsmaßnahmen (Baustahlgitter, Tunnelbögen und Spritzbeton) ermittelt.

Variante mit Tunnelvortriebsportal

Um die Parallelisierung der Arbeitsvorgänge, die der Einsatz eines Tunnelvortriebsportals erlaubt, zu berücksichtigen, wurden die folgenden Annahmen getroffen:

Das Schuttern und die Spießsetzung erfolgen zugleich. In die Kalkulation der Abschlagsdauer wurde das Maximum der Beiden eingegeben.

Der prozentuelle Ansatz für Behinderungen aller Art wird kleiner in der Variante mit Bohrwagen angenommen.

Es wurde noch angenommen, dass das TVP eine kürzere Zeit für Rüsten und Vorbereiten als den Bohrwagen braucht.

Variante mit Bohrwagen

Dabei wurde angenommen, dass der Einsatz von Bohrwagen und Spritzbetonmobil zur Steigerung der Rangierzeiten führen kann. Deswegen nimmt man in der Kalkulation der Behinderungen einen größeren Wert als beim TVP an. Die andere wichtige Annahme

ist, dass diese Variante für Geräteausstattung keine parallelen Abläufe der einzelnen Arbeiten erlaubt.

Die Kalkulation der Vortriebsleistung beider Ausbruchvarianten ist im Anhang I angeführt. Hier werden ihre Abschlagszyklen angeführt, die einen Überblick über die Zeitanteile der Vortriebstätigkeiten je Abschlag, über die Abschlagsdauern und Tagesleistung geben. Grundlagen für die einzelnen Zeitanteile sind die oben genannten Berechnungen im Anhang I.

Abschlagszyklen		Variante mit Bohrwagen:	Variante mit TVP:
	Einheit		
Vorbereiten- Rüsten ¹	min	10,00	5,00
Spieße ²	min	44,25	44,25
Schüttern + Ablauten ²	min	175,03	175,03 ³⁾
geolog. Aufnahme ¹	min	5,00	5,00
Spritzbeton Ortsbrust ²	min	14,14	23,57
Baustahlgitter ²	min	20,55	20,55
Tunnelbögen ²	min	26,17	26,17
Spritzbeton Umfang	min	41,10	68,50
Summe Dauer - netto (SDn.)	min	336,25	323,83
Behinderungen ² (Bh.)	min	32,12	17,90
Summe Dauer - brutto(SDb.)	min	368,37	341,73

¹ durchschnittliche Erfahrungswerte - Annahmen

² Werte lt. Berechnung

³ In der Kalkulation geht dieser Wert ein, Grundlage dafür ist die Annahme, dass Schüttern und Spießsetzung zugleich erfolgen und dass das Maximum von der Beiden genommen werden muss

Abschlagsdauer	h	6,14	5,70
Abschläge pro Tag	Ab./AT	3,91	4,21
Abschlagslänge	m/Ab.	1,00	1,00
progn. Tagesleistung (progn.Ta.L.)	m/AT	3,91	4,21
progn. Vortriebsdauer	Mo	17,05	15,82

Tabelle 4.4-1 Abschlagszyklen der Varianten mit TVP und mit Bohrwagen

In den folgenden Abbildungen sind die einzelnen Zeitanteile eines Abschlagszyklus graphisch dargestellt.

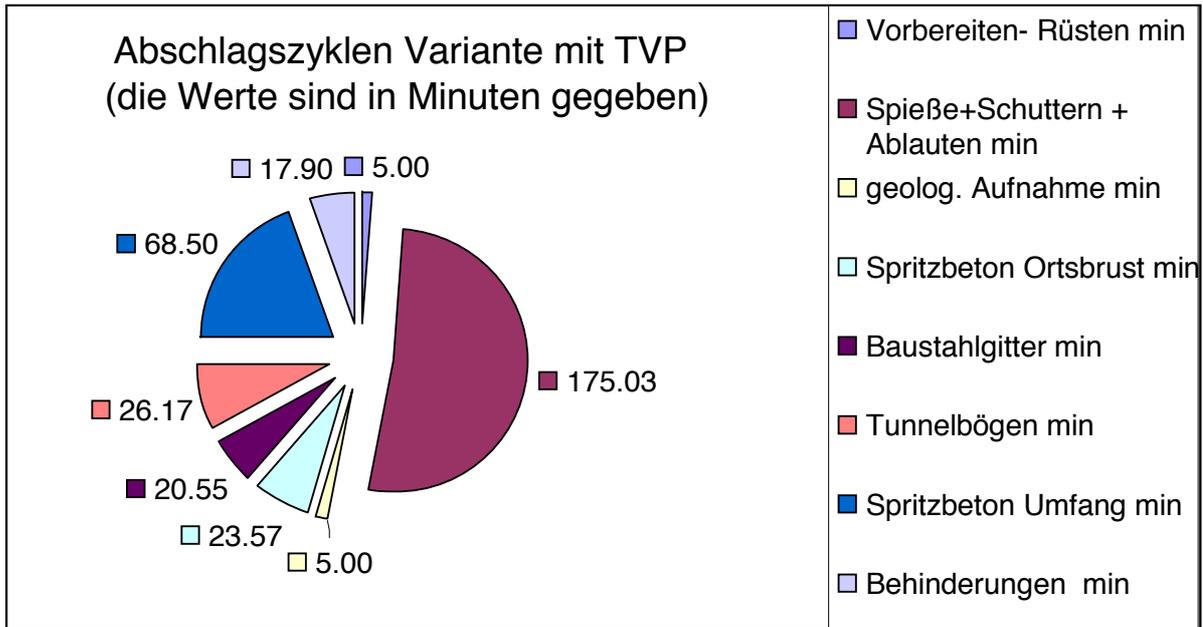


Abb. 4.4-1 Diagramm der Abschlagszyklen von der Variante mit TVP

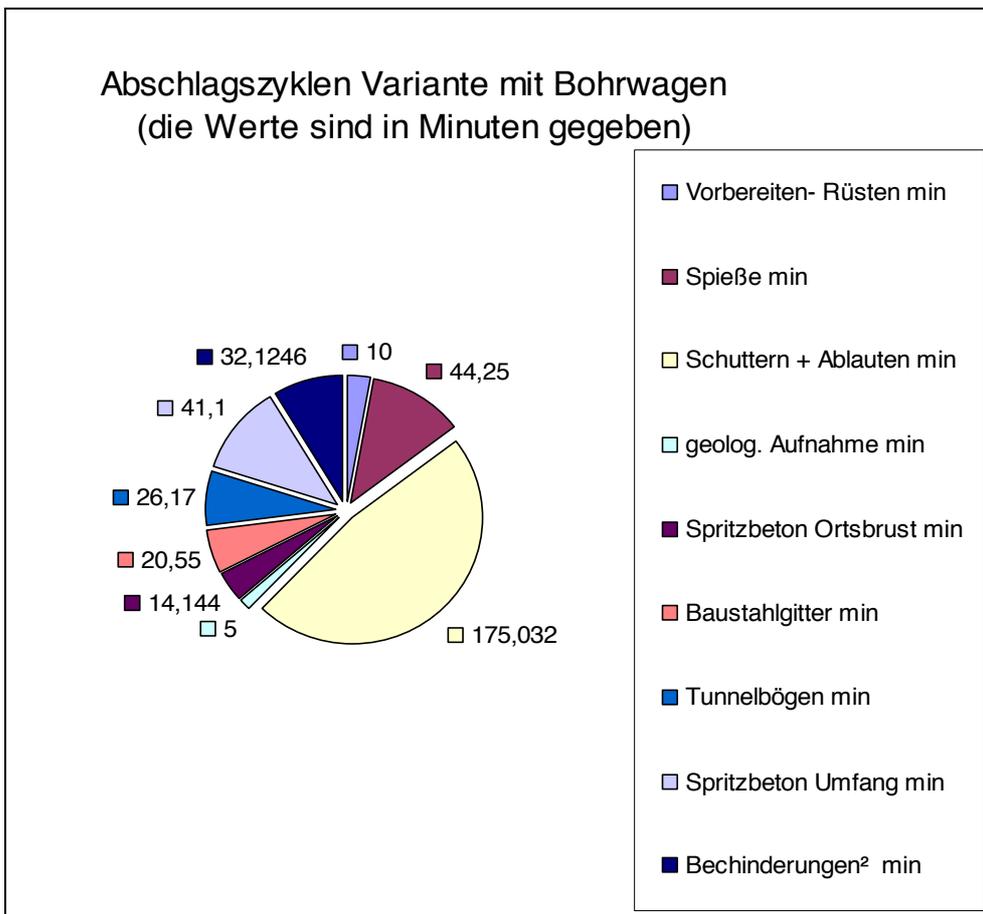


Abb. 4.4-2 Diagramm der Abschlagszyklen der Variante mit Bohrwagen

Es hat sich erwiesen, dass der Ausbruch mithilfe eines TVPs eine größere Leistung pro Arbeitstag gewährleisten kann (Abb. 4.4-3).

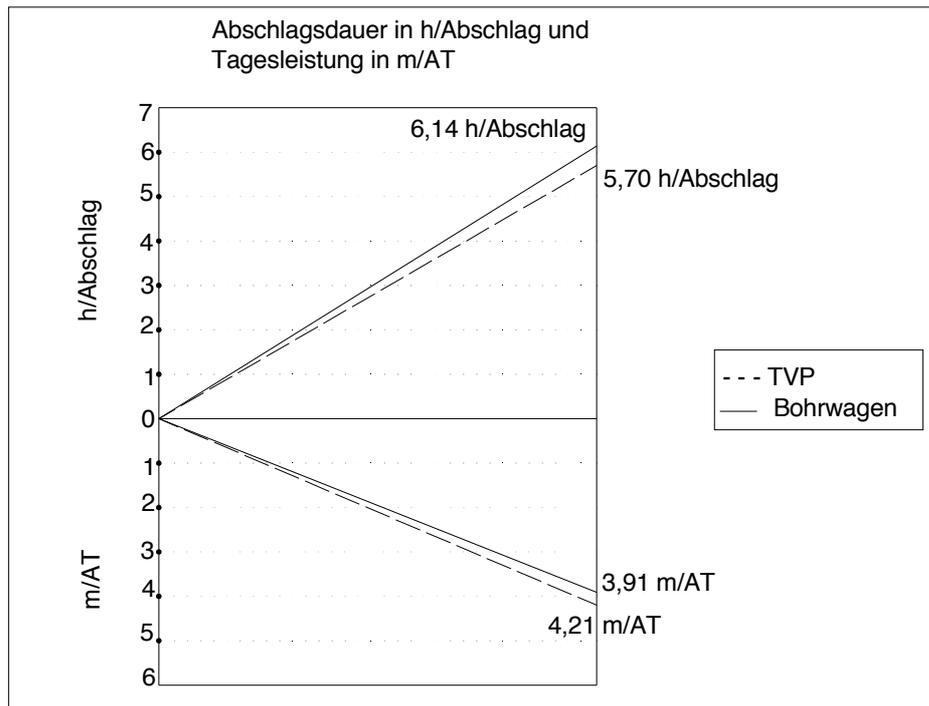


Abb. 4.4-3 Vergleich der Abschlagsdauer und der Tagesleistung der Varianten

Durch die größere Tagesleistung des Vortriebs mit TVP wird die Vortriebsdauer um ein Monat kürzer als jene der Variante mit Bohrwagen (Abb.4.4-4)

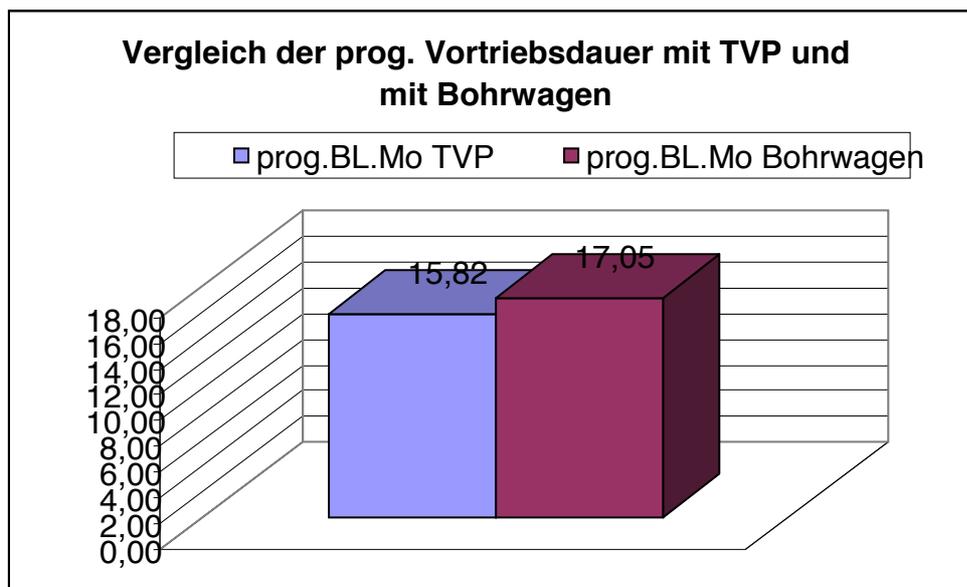


Abb. 4.4-4 Vergleich der prog. Baustellendauer mit TVP und mit Bohrwagen

Kostenermittlung

Aufbauend auf der Leistungsermittlung werden in der Folge die Kosten des Tunnelvortriebs untersucht. Unter die betrachteten Kosten fallen alle Personal- und Gerätekosten, die sich direkt auf den Tunnelvortrieb beziehen.

Die Kosten für den Tunnelausbau (Innenschale, Tunnelausrüstung), für die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten sowie für die Baustelleneinrichtung werden bei dieser Kostenzusammenstellung nicht weiter betrachtet.

Gerätekosten im Mehrschichtbetrieb:

Bei den Gerätekosten werden die Kosten für die Leistungsgeräte im Detail untersucht. Im Allgemeinen wurde bei der Ermittlung der Gerätekosten die „Berechnung nach der österreichischen Baugeräteliste“ herangezogen. Nur die Kosten des Tunnelvortriebsportals wurden nach der „Neuwertmethode“ ermittelt.

Variante mit Tunnelvortriebsportal

Folgende Geräte kommen bei dieser Variante zum Einsatz:

	Neuwert:
Tunnelvortriebsportal (Fa. GTA) „Neuwertmethode“:	400.000,00 € Herstellerangabe
Tunnelbagger mit Bandanlage Typ Schaeff ITC 312 ÖBGL Nr. 6009	551.000,00 € Herstellerangabe
2 Muldenhinterkipper Knickgelenk ÖBGL Nr. 29 51-0180	184.593,02 €

Tabelle 4.4-2 Gerätedisposition - Variante mit TVP

Auf dem TVP sind zwei Bohrrarme und einen Spritzmanipulator integriert. In dem Neuwert des TVPs sind ihre Preise berücksichtigt.

Bei der Berechnung der Kosten des TVPs hat man die folgenden Annahmen gemacht:

Vorhaltemonate ¹⁾= 17 Mo

Nutzungsdauer¹⁾= 2 Jahre

Reparaturanteil = 75%

Abschreibung auf dieser Baustelle²⁾ = 75%(erste Variante)

Abschreibung auf dieser Baustelle²⁾ = 100%(zweite Variante)

1) Die Vorhaltemonate und die Nutzungsjahre basieren auf die prognostizierte Baustellendauer (= 15,82 Mo). Es wurden größere Werte genommen, um die Installationszeit des TVPs berücksichtigt werden können.

Variante mit Bohrwagen

Folgende Geräte kommen bei dieser Variante zum Einsatz:

	Neuwert:
Nassspritzmobil Top-Shot-Runner TSR 30.10 (Fa. Schwing) ÖBGL Nr. 2550-2551	250.000,00 €
Tunnelbagger mit Bandanlage Typ Schaeff ITC 312 ÖBGL Nr. 6009	551.000,00 € Herstellerangabe
2 Muldenhinterkipper Knickgelenk ÖBGL Nr. 29 51-0180	184.593,02 €
Bohrwagen ÖBGL Nr. 6542-0125	335.755,81 €

Tabelle 4.4-3 Gerätedisposition - Variante mit Bohrwagen

Die Kalkulation der Gerätekosten der beiden Varianten ist im Anhang II durchgeführt. Hier wurden die Ergebnisse angeführt und zusammengestellt.

Ergebnisse:

in €pro Monat	Variante mit TVP:	Variante mit Bohrwagen:
Summe Gerätekosten/Mo gesamt:	62.186,54 €/Mo-75% A 70.800,52 €/Mo-100% A	59.640,01€/Mo
Summe Gerätekosten+Lohnkosten/Mo gesamt:	255.745,68 €/Mo-75% A 266.708,92 €/Mo-100% A	254.106,25 €/Mo

Tabelle 4.4-4 Gerätekosten in €pro Monat

Die prognostizierte Vortriebsdauer:

- beim Ausbruch mit TVP= 15,82 Mo
- beim Ausbruch mit Bohrwagen= 17,05 Mo

Die Summe der Gerätekosten für die gesamte Dauer des Tunnelsausbruchs ergibt sich wie folgt:

Ausbruch mit TVP: 15,82 Mo x 62.186,54 €/Mo= 983,791.14 €

Ausbruch mit Bohrwagen: 17,05 Mo x 59.640,01€/Mo= 1,016,862.24 €

In der Abb. 4.4-5 werden die Ergebnisse der Gerätekosten pro Monat der beiden Varianten gegenübergestellt. Daraus ist es ersichtlich, dass die Investitionskosten pro Monat für den Ausbruch mit TVP höher als jene für den Ausbruch mit Bohrwagen sind. Bedingt durch die kürzere Vertriebsdauer ist bei der Variante mit TVP die Summe der Gerätekosten für die gesamte Dauer niedriger.

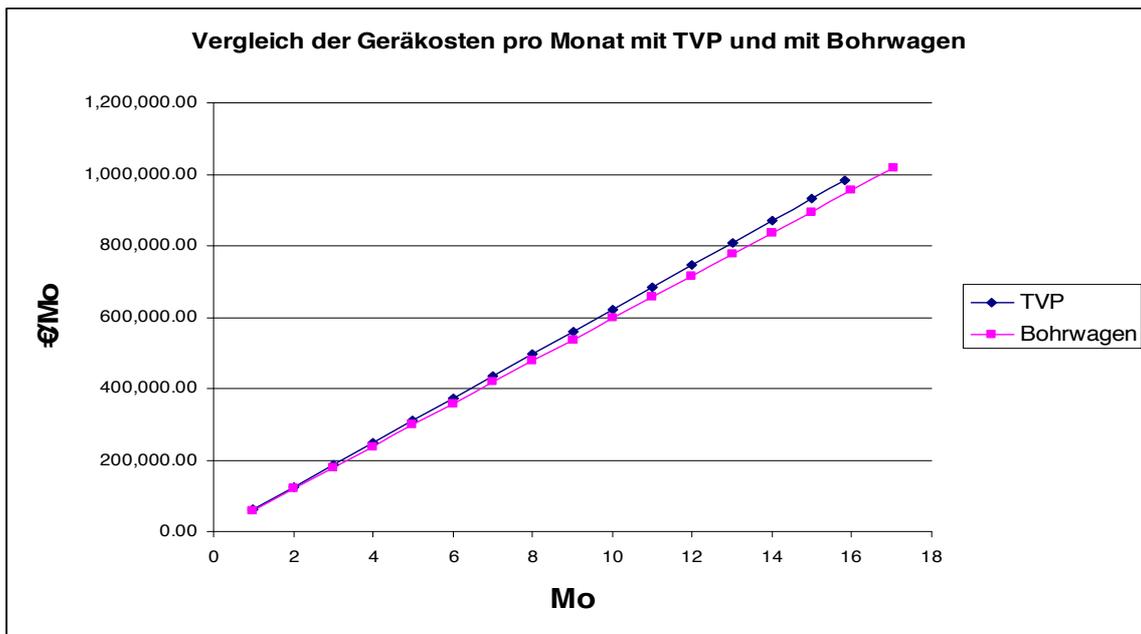


Abb. 4.4-5 Gerätekostenvergleich der Ausbruch mit TVP und mit Bohrwagen

in €/pro lfm-Tunnel	Variante mit TVP:		Variante mit Bohrwagen:
	100% A auf die Baustelle:	75% A auf die Baustelle:	
Summe Gerätekosten/lfm gesamt:	560,06 €/lfm	491,92 €/lfm	508,56 €/lfm
Summe Gerätekosten+Lohnkosten/lfm gesamt:	2,109.77 €/lfm	2.023,05 €/lfm	2.166,79 €/lfm

Tabelle 4.4-5 Gerätekosten in €/lfm-Tunnel

Bezogen auf die gesamte Tunnellänge(=2000m) bekommt man die folgenden Gerätekosten bei den verschiedenen Varianten.

	Variante mit TVP:		Variante mit Bohrwagen:
	100% A auf die Baustelle	75% A auf die Baustelle	
Summe Gerätekosten/lfm gesamt:	1.120.120,21 €	983.791,14 €	1.017.112,39 €
Summe Gerätekosten+Lohnkosten/lfm gesamt:	4.219.546,19 €	4.046.099,13 €	4.333.577,39 €

Tabelle 4.4-6 Gerätekosten pro 2000 lfm

Aus Abb.4.4-6 und Abb.4.4-7 ist ersichtlich, dass die Gerätekosten des Vortriebs, mit TVP beim 75%-iger Abschreibung auf der Baustelle, kostengünstiger als der Ausbruch mit Bohrwagen erscheint, wobei sich der Vergleich mit 100%-iger Abschreibung auf der Baustelle umgekehrt verhält.

Bei zusätzlicher Betrachtung der Lohnkosten und 100%-iger Abschreibung auf der Baustelle ist der Vortrieb mit TVP wiederum rentabler.

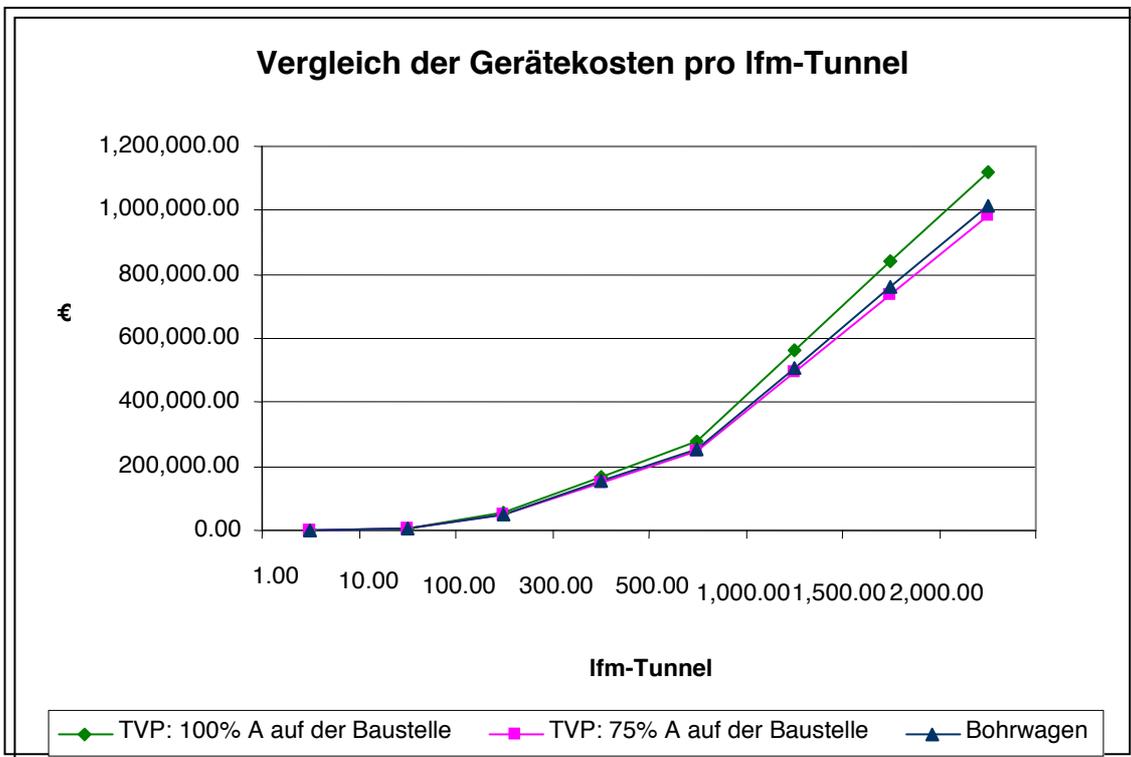


Abb. 4.4-6 Vergleich der Gerätekosten pro lfm mit Betrachtung der 75% und 100%-iger A auf der Baustelle

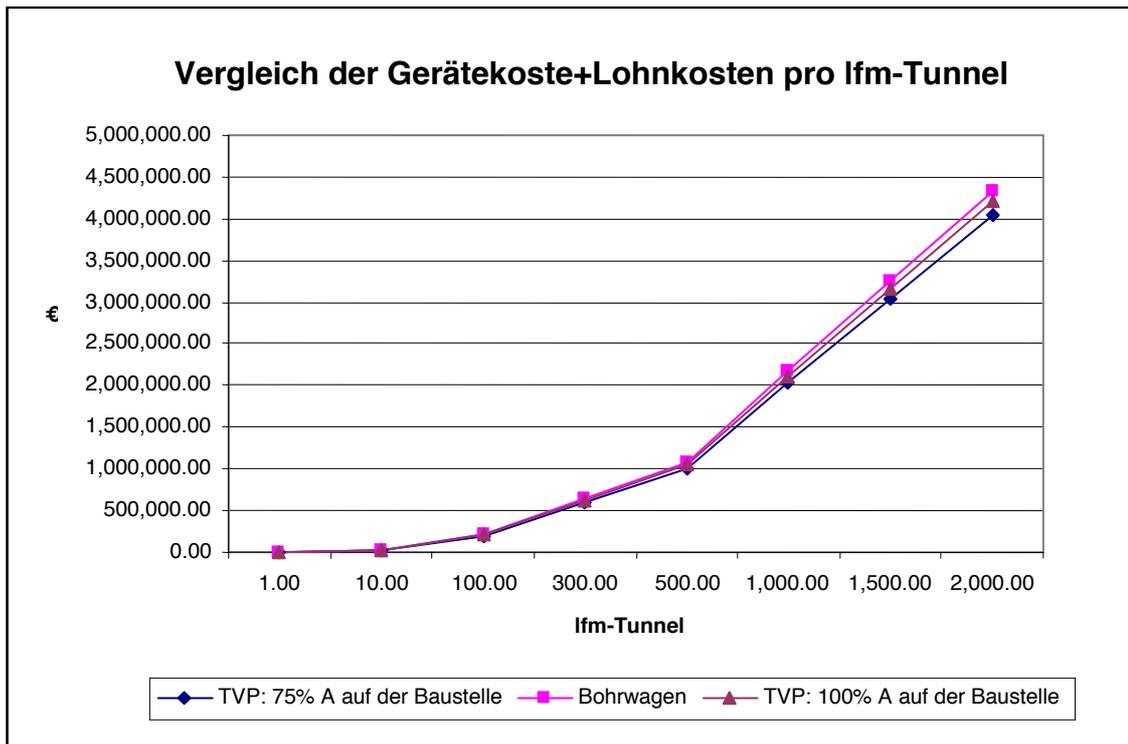


Abb. 4.4-7 Vergleich der Gerätekosten + Lohnkosten pro lfm mit Betrachtung der 75% und 100%-iger A auf der Baustelle

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Tunnelbau, speziell der Vortrieb mit neuen und gebrauchten Tunnelvortriebsmaschinen, hat in den letzten drei Jahrzehnten zugenommen. Andererseits ist der Sprengvortrieb in dieser Zeit ohne wesentliche Entwicklungsschübe verblieben. Deshalb steht dieser heute in einem intensiven Wettbewerb mit dem maschinellen Vortrieb.

Erst seit den späten 80er Jahren haben die geplanten langen Alpendurchstiche (z.B. Brenner und Semmerring in Österreich, Neat in der Schweiz), die Strecken in sehr harten Felsformationen durchhören müssen, dazu geführt, dass das Entwicklungspotential des Sprengvortriebs erkannt wurde.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden die Bereiche des konventionellen Vortriebes, die ein Effizienzsteigerungspotential haben, festgestellt. Aufgrund der Beschreibung des Baubetriebes des zyklischen Vortriebes und der bisher üblichen, in den einzelnen Zyklen eingesetzten Geräte und ihrer Ausstattung hat sich erwiesen, dass der Sprengvortrieb:

- durch handwerkliche zyklische Arbeiten charakterisiert ist und
- ein mittleres Niveau in Bezug auf:
 - Automatisierung mechanisierter Prozesse,
 - Arbeitssicherheit und
 - Humanisierung der Arbeit besitzt
- bei Tunneln mit einer Länge von mehr als drei Kilometern meist eine mittlere Leistung aufweist
- hohe Gesamtarbeitskosten erfordert
- ein ungenutztes Leistungspotential hinsichtlich gleichzeitiger, verbesserter zyklischer Arbeit, und der Logistik des rückwärtigen Bereiches hat.

Der konventionelle Vortrieb ist ein zyklischer Betrieb, in dem die verschiedensten Tätigkeiten nur nacheinander, auf dem kritischen Weg liegend, auszuführen sind. Für jeden einzelnen Arbeitsgang (Zyklus) werden verschiedene Geräte verwendet. Der Einsatz dieser Geräte in den beengten Verhältnissen des Untertagebaus erfordert, dass alle einzelnen Arbeitsphasen des Betriebes optimiert und als ein System betrachtet werden.

Die bisher übliche Geräteausstattung hat folgende Grundsätze:

- Disposition aller Vortriebsgeräte (wie z.B. Bohrwagen, Spritzbetonmobile, Lade- und Transportgeräte) nur auf einer Arbeitsfläche - der Tunnelsohle
-

- Versorgung des Vortriebsbereiches mit den notwendigen Materialien und Entsorgung des Haufwerks über die Tunnelsohle
- einzelne Komponenten der unterstützenden Infrastruktur (z.B. Container, Hilfsaggregate etc.) im rückwärtigen Bereich werden einzeln umgesetzt, um dem Vortrieb zu folgen.

Diese Möglichkeit der Geräteausstattung hat sich bei großen Querschnitten und nicht sehr langen Tunneln gut bewährt. Bei langen Tunneln mit kleinem Querschnitt ist die Verwendung eines solchen logistischen Konzepts immer problematisch gewesen. Die Ursache der Probleme ist die Voraussetzung, dass alle Bauabläufe auf einer Fläche stattfinden müssen. Die Vortriebsleistung ist dabei von den folgenden Abläufen stark abhängig:

- Gerätewechsel und daraus folgenden Rangierzeiten– sie können als „Totzeit“ bezeichnet werden. In einem kleinen Tunnelquerschnitt können sich diese Zeiten wesentlich steigern, und zu niedrigen Leistungen führen
- Schüttern – es liegt immer auf dem kritischen Weg. Je länger einen Tunnel ist, desto kostenaufwendiger und zeitraubender ist der Schütternvorgang. Für kleine Tunnelprofile wurden kontinuierliche Schütternvorgänge erst mit der Verwendung von Förderbändern und später der Bunkerzüge möglich
- Sicherungsarbeiten – die Durchörterung schwieriger Gebirgsstrecken (z.B druckhafte Zonen) verlangt einen größeren Zeit- und Materialaufwand. Diese werden durch die folgenden zusätzlichen Arbeiten bestimmt:
 - Setzung der vorauseilenden Sicherung (Spieße, Bleche)
 - Unterbrechung des Ausbruchs- und Schütternvorgangs für Auftrag des Spritzbetons bei nicht standfesten Gebirgsformationen
 - schwierige endgültige Sicherung - die Anzahl der Anker und die Dicke der Betonschicht werden größer.
- Daraus ergibt sich, dass die Geräte öfter gewechselt werden müssen und somit die Rangierzeiten größer werden.

Das Konzept der in jüngster Zeit aufgetretenen Entwicklungen (Hängebühnen, Tunnelvortriebsportale), die ein Innovationsschritt in der Logistik des Tunnels sind, wurde aufgrund der Erfahrungen aus dem Betrieb der konventionellen Geräteausstattung unter Berücksichtigung ihrer Schwächen erstellt. Als Einsatzbereich dieser Entwicklungen haben sich bisher die Tunnels mit einem kleinen Querschnitt (für Hängebühnen – Querschnitte bis zu 70 m²) bewährt. Gemeinsam für die Hängebühnen und Tunnelvortriebsportale gilt, dass

sie, jede nach ihrer Art und Weise (siehe Kapitel 4), das Tunnelprofil horizontal in zwei Arbeitsflächen teilen. Die folgenden Vorteile dieser Innovationen werden nochmals angeführt:

- Minimierung der Rangierzeiten, Schaffung von parallelen Arbeitsabläufen und parallelen Transportflüssen, die im gleichen Bereich liegen, durch:
 - die Entflechtung der linearen Transportflüsse (Hängebühnen)
 - die Trennung der Arbeitsbereiche von den Transportprozessen
 - die Trennung der Hilfseinrichtungen von Transportflüssen und Arbeitsbereichen (Hängebühnen)
 - der gleichzeitige Umschlag des Transports der einzelnen Infrastrukturelemente (Hängebühnen)
 - die Möglichkeit, dass das Bohren, der Spritzbetonauftrag, die Ver- und Entsorgungsflüsse etc. schon aus einer zweiten Arbeitsebene ausführbar sind, wobei durch die Integration der einzelnen Geräte auf dem TVP oder auf der Hängebühne die Sohle für das Schüttern und/oder für den Ausbau frei gehalten wird
- Erhöhung der Sicherheit und Humanisierung der Arbeit durch die Trennung der Transportprozesse von den Arbeits- und Maschineneinsatzbereichen

Aufgrund der Erfahrungen aus dem Betrieb dieser Ausstattungen, sind dennoch die folgenden Probleme zu bewältigen:

- Die Aufhängung und die Montage der Hängebühnen ist zehr aufwendig und personalintensiv.
 - Der Ausfall eines Teils des Nachläufersystems (Brecher-Bühne-Förderband) führt zum Stillstand der Gesamtanlage. Die dringend erforderlichen Wartungsarbeiten insbesondere an der Bandanlage und am Brecher müssen täglich durchgeführt werden.
 - Die Anforderungen an das Personal sind ungleich höher als in der üblichen Geräteausstattung. Daraus folgt, dass die Arbeiter und die Führungskräfte hoch qualifiziert sein müssen, um die Hängebühnen und TVP als Logistiksysteme nutzen zu können.
 - Die Arbeiter müssen die Industrialisierungen mental akzeptieren.
 - Die Verwendung dieser Systeme ist mit hohen Investitionskosten verbunden.
-

Beim Betrieb der Nachläufersystem im Teilabschnitt Raron des Basistunnels Löttschberg hat sich gezeigt, dass trotz zunehmendem Einsatz von High Tech und Übernahme von Ideen aus dem TBM-Vortrieb der konventionellen Vortrieb ein zyklischer Betrieb ist und dass es in ihm Arbeitsplätze mit Fließbandcharakter nicht gibt.

In der Zukunft werden die beschriebenen Systeme (Hängebühnen, Tunnelvortriebsportale) im Untertagebau immer mehr an Bedeutung gewinnen. Bei der Konzeption muss man in der Zukunft die folgenden Kriterien noch weiter bearbeiten:

- Konzentration auf das Wesentliche mit einfachen robusten Konstruktionen
- In der Gesamtauslegung ist noch zu Berücksichtigen, dass eine Hängebühne gute Voraussetzungen leitet, um Bewetterung, Klimatisierung und Entstaubung an die steigenden Forderungen anzupassen.

Das Potential der Geräteausstattungen im konventionellen Vortrieb muss mit Kreativität und Erfahrungen aus der Praxis genutzt werden. Nur Platz sparende, kostengünstige, auf die Kenngrößen des jeweiligen Projektes optimierte Geräteausstattungen, die einen Hochleistungsvortrieb schaffen können, werden in der Zukunft beim Sprengvortrieb verwendet werden, damit dieser eine flexible, leistungsfähige und wirtschaftliche Alternative zum TBM-Vortrieb darstellt.

7 **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 2.1-1 a)Querschnitt b)Längsschnitt	- 3 -
Abb. 2.2-1 Einflussfaktoren maßgebend für die Bohrbarkeit [2].....	- 6 -
Abb. 2.2-2 Gesteinssprengstoffeinteilung [5].....	- 8 -
Abb. 2.2-3 Ripperzahn an Liebherr-Maschine [3].....	- 16 -
Abb. 2.2-4 Aufreißleistung nach Kühn [3].....	- 16 -
Abb. 2.2-5 Teilschnittmaschine [3]	- 18 -
Abb. 2.2-6 Gesteinslöseprozess [3]	- 19 -
Abb. 2.2-7 Rundschaftmeißel [3]	- 20 -
Abb. 2.2-8 Knickausleger [3].....	- 20 -
Abb. 2.2-9 Gesteinslöseprozess [3]	- 21 -
Abb. 3.1-1 Druckluftbohrhammer AC COP A 15 [4].....	- 25 -
Abb. 3.1-2 Aufbau der Hydraulikbohrhammer [2]	- 25 -
Abb. 3.1-3 Bohrlafette [4]	- 26 -
Abb. 3.1-4 Bohrlafetten, einfach und teleskopierbar [2].....	- 27 -
Abb. 3.1-5 Bewegungsmöglichkeiten und Aufbau des Bohrarms [2]	- 27 -
Abb. 3.1-6 Kinematik der Parallelautomatik des Bohrarmes [2].....	- 28 -
Abb. 3.1-7 Hydraulisch teleskopierbare Arbeitsplattform [2].....	- 29 -
Abb. 3.1-8 Schematische Darstellung- Bohrgestänge [4]	- 29 -
Abb. 3.1-9 Übersicht den Bohrkronen [2]	- 30 -
Abb. 3.1-10 Prinzipskizze der Kühlung, Spülung und.....	- 30 -
Abb. 3.1-11 Hochleistungsbohrwagen und die Komponenten zur Automatisierung der Steuertechnik [2].....	- 31 -
Abb. 3.1-12 Einmessen der Bohrlafetten mit Richtungslaser [2].....	- 32 -
Abb. 3.2-1 Allgemeiner Aufbau eines Hydraulikbaggers [2].....	- 34 -
Abb. 3.2-2 Tunnelbagger mit Löffel-Hammer-Kombination [2].....	- 34 -
Abb. 3.2-3 Grabkurven Tunnelbagger [4].....	- 35 -
Abb. 3.2-4 Tunnelladebagger Schaeff ITC 420 [7]	- 36 -
Abb. 3.2-5 Hochlöffelladebagger Brøyt ED600T [8].....	- 37 -
Abb. 3.2-6 Radlader (Typ Orenstein&Koppel L35)[2]	- 38 -
Abb. 3.2-7 Fahrlader Toro 301 [4].....	- 39 -
Abb. 3.2-8 Laderaupe LR 622 Litronic [4].....	- 40 -
Abb. 3.2-9 Radlader O&K L 35.5 [9].....	- 41 -
Abb. 3.2-10 Überkopflader [2].....	- 41 -
Abb. 3.2-11 Schwenkschaufellader [2].....	- 42 -
Abb. 3.2-12 Seitenkipplader mit Raupenfahrwerk [5]	- 42 -

Abb. 3.2-13 Muldenkipper MHK Atlas Copco MT 5010 - gedrungene Tunnelausführung [10]	- 44 -
Abb. 3.2-14 Vorder(hoch-)kipper Lifton 1200 [11]	- 46 -
Abb. 3.2-15 Standard – Diesellokomotive 45t, 250 kW [4].....	- 48 -
Abb. 3.2-16 Rotationskipper [4].....	- 49 -
Abb. 3.2-17 Rotationskipper mit Rotationskippe [2].....	- 50 -
Abb. 3.2-18 Einseitenselbstentlader [4].....	- 50 -
Abb. 3.2-19 Einseitenselbstentlader [2].....	- 50 -
Abb. 3.2-20 Aufbau und Beladezyklus von Bunkerzügen [4].....	- 52 -
Abb. 3.2-21 Bandbeladeeinrichtung bei konventionellem Vortrieb [2].....	- 53 -
Abb. 3.2-22 Kaliforniaweiche [2].....	- 53 -
Abb. 3.2-23 Schiebebühne [2].....	- 54 -
Abb. 3.2-24 Cherry-Picker [2].....	- 54 -
Abb. 3.2-25 Grasshopper [2].....	- 54 -
Abb. 3.2-26 Sliding Floor – Verschiebebahnhof [2]	- 55 -
Abb. 3.3-1 Funktionsprinzip einer Betonspritzmaschine für das Trockenspritzverfahren [4]	- 56 -
Abb. 3.3-2 Betonpumpen für Nassspritzbeton [4].....	- 57 -
Abb. 3.4-1 Abbohren der Ortsbrust [15]	- 58 -
Abb. 3.4-2 Schüttern des Haufwerks [15].....	- 58 -
Abb. 3.4-3 Gewölbesicherung [15].....	- 59 -
Abb. 3.4-4 Ankersetzung [15].....	- 59 -
Abb. 3.4-5 Vortrieb der Strosse, Aushub und das Betonieren der Sohle [15]	- 60 -
Abb. 3.4-6 Ausbau des Tunnels [15].....	- 60 -
Abb. 3.4-7 Albergstunnel West, Vortriebs- und Arbeitsschema	- 61 -
Abb. 4.3-1 Trümmerschutz-Brecher-schräges Zufahrungsband (Vereina-Tunnel) [2].....	- 64 -
Abb. 4.3-2 Hängebühne mit Infrastruktur [16].....	- 64 -
Abb. 4.3-3 Konzept der Nachläufer-Logistiksysteme [13].....	- 66 -
Abb. 4.3-4 zwei Arbeitsebenen [16]	- 66 -
Abb. 4.3-5 Schematische Darstellung des Nachlaufsystems im Sprengvortrieb, Vereina- Tunnel Süd [2]	- 67 -
Abb. 4.3-6 Schnellläuferbühne [16].....	- 67 -
Abb. 4.4-1 Tunnelvortriebsportal mit dem Bagger Typ Schaeff ITC 312.....	- 71 -
Abb. 4.4-2 Aufbau des Tunnelvortriebsportal [17]	- 73 -
Abb. 4.4-3 Tunnelvortriebsportal [17].....	- 76 -
Abb. 4.4-1 Diagramm der Abschlagszyklen von der Variante mit TVP	- 82 -
Abb. 4.4-2 Diagramm der Abschlagszyklen von der Variante mit Bohrwagen	- 82 -

Abb. 4.4-4 Vergleich der prog. Baustellendauer mit TVP und mit Bohrwagen	- 83 -
Abb. 4.4-5 Gerätekostenvergleich der Ausbruch mit TVP und mit Bohrwagen.....	- 86 -
Abb. 4.4-6 Vergleich der Gerätekosten pro lfm mit Betrachtung der 75% und 100%-iger A auf der Baustelle.....	- 87 -
Abb. 4.4-7 Vergleich der Gerätekosten + Lohnkosten pro lfm mit Betrachtung der 75% und.....	- 88 -

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.2-1 Klassifizierung der TSM [3].....	- 18 -
Tabelle 3.1-1 Einteilung der Bohrhämmer [3].....	- 23 -
Tabelle 3.1-2 Übersicht über einige Kategorien derzeit im Tunnelbau einsetzbarer Bohrhämmer (nach Firmenunterlagen) [6]	- 24 -
Tabelle 3.1-3 Formen von Hartmetallstiften in Bohrkronen und ihre Eignung in verschiedenen Gesteinen [4]	- 30 -
Tabelle 3.1-4 Die Kenngrößen den Untertagebohrwagen [4]	- 32 -
Tabelle 3.2-1 Kennwerte des Tunnelbaggers [4].....	- 35 -
Tabelle 3.2-2 Kenngrößen des Tunnelladebaggers [4].....	- 37 -
Tabelle 3.2-3 Kenngrößen des Radladers [4].....	- 39 -
Tabelle 3.2-4 Kenngrößen des Fahrladers [4].....	- 39 -
Tabelle 3.2-5 Kenngrößen des Raupenladers oder der Laderaupe [4].....	- 40 -
Tabelle 3.2-6 Kenngrößen Muldenhinterkipper [4]	- 45 -
Tabelle 3.2-7 Kenngrößen Vorderkipper [4]	- 46 -
Tabelle 4.4-1 Technische Daten des Portals [18].....	- 74 -
Tabelle 4.4-2 Technische Daten der Verschiebebahn [18].....	- 75 -
Tabelle 4.4-3 Technische Daten der Schwenkbühne [18]	- 75 -
Tabelle 4.4-4 Technische Daten des Anspritzmanipulator [18].....	- 75 -
Tabelle 4.4-5 Technische Daten des Bohrarms [18].....	- 75 -
Tabelle 4.4-6 Technische Daten des Hydraulikaggregats [18]	- 76 -
Tabelle 4.4-1 Abschlagszyklen der Varianten mit TVP und mit Bohrwagen	- 81 -
Tabelle 4.4-2 Gerätedisposition - Variante mit TVP.....	- 84 -
Tabelle 4.4-3 Gerätedisposition - Variante mit Bohrwagen.....	- 85 -
Tabelle 4.4-4 Gerätekosten in € pro Monat	- 85 -
Tabelle 4.4-5 Gerätekosten in €/lfm-Tunnel	- 86 -
Tabelle 4.4-6 Gerätekosten pro 2000 lfm	- 87 -

9 Quellenverzeichnis

- [1] ÖN B 2203-1 Untertagebauarbeiten-Wertvertragsnorm Teil1: Zyklischer Vortrieb; Wien, Österreichisches Normungsinstitut, Angabe 01.12.2001
 - [2] Maidl Bernhard unter Mitarb. von Jodl H., Schmid L., Petri P. : Tunnelbau im Sprengvortrieb, Berlin: Springer, 1997
 - [3] Girmscheid Gerhard: Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau ; Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH 2000
 - [4] Jodl Hans, Schlosser Wolfgang: Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahrenstechnik; TU Wien, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft , Stand 2004/2005 – Version03
 - [5] Maidl Bernhard: Handbuch des Tunnels- und Stollenbaus Band I ; Essen, Glückauf GmbH 1984
 - [6] Jodl Hans, Goger G.: Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahren im Hohlraumbau, TU Wien, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, Stand 2002/2003
 - [7] http://www.schaeff-cmt.de/produkte_tunnel_itc420.htm (21.09.2004)
 - [8] http://www.rowa-ag.ch/index_d.htm (21.09.2004)
 - [9] <http://www.smc.sandvik.com/> (21.09.2004)
 - [10] <http://www.atlascopcowagner.com/> (21.09.2004)
 - [11] <http://www.neuson.com> (21.09.2004)
 - [12] Eichler Klaus u.a.: Fels- und Tunnelbau; Renningen-Malmsheim, expert-Verl.; Wien, Linde 2000
 - [13] Girmscheid G.: Bauingenieur, Band 77, Juni 2002, Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – Industrialisierungstendenz im Sprengvortrieb
 - [14] STUVA Tagung2003,40Forschung + Praxis:Tunnel-Labensadern der mobilen Gesellschaft (Lötschberg-Basistunnel-Vergleichende Analyse und Innovative Problemlösungen beim TBM-Vortrieb und Sprengvortrieb); Gütersloh: Bauverlag BV GmbH, 2003
 - [15] König Horst: Maschinen im Baubetrieb: Grundlagen und Einsatzbereiche; Berlin: Bauverlag 1996
 - [16] Unterlagen ROWA: Übersicht Lötschberg und Gotthart Basistunneln
 - [17] GTA: Betriebsanleitung für Tunnelvortriebsportal: Stand 2004
 - [18] Unterlagen GTA: Tunnelvortriebsportal TVP
-

10 Anhang I

Kalkulation der Vortriebsleistung

Variante mit Bohrwagen

Kalkulation der Vortriebsleistung

Eingangsparameter

	Einheit	bergseitig	hohlraumseitig	Kalotte(hohlraumseitig)	Kalotte(bergseitig)
Ausbruchquerschnitt (Aqu.)	m ²	35.36	31.37	12.17	14.00
Umfang	m ²	21.20	19.90	8.70	9.34
Abschlagslänge	m ²	1.00	1.00	1.00	1.00
Ausbruchskubatur m ³ (m ³ _{fest})(Akub fest)	m ³	35.36	31.37	12.17	14.00

Spieße

	Einheit		Bemerkung	Formel
Anzahl Spieße pro Abschlag (AzS)	Stk.	9.00	* bei jeden zweiten Abschlag	AzS*LS
Länge der Spieße (LS)	m	4.00		
Ges. Länge der Spieße pro Abschlag	m	36.00		
Nettobohrleistung (Nbl.)	m/min	3.00		
Anbohren, Rückziehen, Umsetzen (Ums.)	min/BL	0.50		
Bruttobohrleistung (Bbl.)	m/min	2.18		Nbl.*LS/(LS+Ums*Nbl.)
Einbauzeit pro Spieß(Ebz.)	min/m	2.00		
Spießeeinbau pro Abschlag (Sp.Abs.)	min/Ab.	44.25	2 Bohrräume	(Ges.Länge S./Bbl+Ges.Länge S.*Ebz.)/2

Schuttern

	Einheit		Bemerkung	Formel
Ausbruchquerschnitt	m ²	35.36		Aqu.*1,1(MA)
Abschlagslänge	m ²	1.00		
Ausbruchskubatur m ³ (m ³ _{fest})	m ³	35.36		
Mehrausbruch in % (MA)	%	10.00		
Ausbruch (inkl. Mehrausbruch)(AiMA)	m ³	38.90		
Auflockerungsfaktor (Auf.)	%	20.00		AiMA*1,2(Auf)
Ausbruchkubatur lose (km ³) (Akub. Lose)	m ³	46.68		
Baggervortrieb Schaeff Typ ITC 312-H3 Bgger mit Bandanlage				
Füllungsfaktor Ladeschaufel (Ff.Lsch.)		0.50		Ff.Lsch.*Tli.*LSP. (Akub lose/LI)*60
Tieflöffelinhalt (Tli.)	m ³	0.80		
Ladespiele pro Stunde (LSP.)	Spiele/h	40.00		
Ladeleistung (lm ³) pro Stunde	m ³ /h	16.00		
Abbau+Schuttern pro Abschlag (Abb.+Scht.)	min/Ab.	175.03		

Spritzbeton Ortsbrust	Einheit		Bemerkung	Formel
Spritzbeton Dicke(theoretisch)	m	0.05		
m ³ -SpB/lfm (theoretisch)(teor.)	m ³ /lfm	1.77		(theor.*Aqu.)/Ab.L.
Faktor Rückprall (FRp.)		2.00		
Der Rückprall- und Überprofilfaktor liegt in der Praxis zwischen 2 und 3				
m ³ -SpB/lfm (tatsächlich)(tat.)	m ³ /lfm	3.54		teor.*FRp.
Spritzleistung pro Düse (SpB.L.)	m ³ /h	15.00	Spritzdüse Anzahl (AnzD.)=	1
Dauer Spritzbeton	min/lfm	14.14		(tat./(SpB.L.*AnzD.))*60
Abschlagslänge (Ab.L.)	m	1.00		
Zeitbedarf SpB pro Abschlag (SpBZ Ab.)	min/Ab.	14.14		DSpB*Ab.L.

Baustahlgitter	Einheit		Bemerkung	Formel
CQS 6 - Baustahlgitter	kg/m ²	3.13		
Tunnelumfang (Tum.)	m	20.55	Mittlerer Umfang=	20.55
Baustahlgitter pro lfm (Bstg.lfm)	m ² /lfm	20.55		1*TUm.
			einlagig	
Baustahlgitter pro Abschlag	m ² /Ab.	20.55		Bstg.lfm*Ab.L.
Aufwandsansatz für den Einbau (Awz.)	min/m ²	1.00		
Baustahlgitter pro Abschlag (Bsg. Ab.)	min/Ab.	20.55		Bstg.lfm*Awz.

Gitterbogen	Einheit		Bemerkung	Formel
Tunnelumfang	m	13.09	Mittlerer Umfang=	13.1
Abschlagslänge	m	1.00		
Abstand Tunnelbögen	m	1.00		
Anzahl Tunnelbögen pro Abschlag (AnzTb.)	Stk.	1.00		
Aufwandsansatz für den Einbau (Awz.)	min/lfm	2.00		
Bogeneinbau Pro Abschlag (B Ab.)	min/Ab.	26.17		Tum.*AnzTb.*Awz.

Spritzbeton Umfang	Einheit		Bemerkung	Formel
Tunnelumfang	m	20.55	Mittlerer Umfang=	20.55
Spritzbetondicke (theoretisch)(SpBD.)	m	0.20		
m ³ -SpB/lfm (theoretisch) (theor.)	m ³ /lfm	4.11		Tum.*SpBD.
Faktor Rückprall (FRp.) und Überprofil (FRp.)		2.50	von 2 bis3	
m ³ -SpB/lfm (tatsächlich) (tat.)	m ³ /lfm	10.28		theor.*FRp
Spritzleistung pro Düse (SpB.L.)	m ³ /h	15.00	1 Spritzdüse Anzahl (Anz)	1
Dauer Spritzbeton (DSpB)	min/lfm	41.10		(tat./((SpB.L.*AnzD.))*60
Abschlagslänge (Ab.L.)	m	1.00		
Zeitbedarf SpB pro Abschlag (SpBU Ab.)	min/Ab.	41.10		DSpB*Ab.L.

Behinderungen	Einheit		Formel
Abschlagsdauer *)	min/Ab.	321.25	(Sp.Abs.)+(Abb.+Scht.)+(SpBZ Ab.)+(Bsg. Ab.)+(B Ab.)+(SpBU Ab.)
*) ohne Überschneidung und Behinderung			
Verlängerung des Abschlagszyklus *)	%	10%	
*) die angenommen %-Werte sind Erfahrungswerte und sind projektspezifisch zu berücksichtigen			
Behinderungen pro Abschlag	min/Ab.	32	Ab.D.*0,05

Abschlagszyklen	Einheit		Formel
Vorbereiten- Rüsten ¹	min	10.00	
Spieße ²	min	44.25	
Schüttern + Ablautern ²	min	175.03	
geolog. Aufnahme ¹	min	5.00	
Spritzbeton Ortsbrüst ²	min	14.14	
Baustahlgitter ²	min	20.55	
Tunnelbögen ²	min	26.17	
Spritzbeton Umfang	min	41.10	
Summe Dauer - netto (SDn.)	min	336.25	
Behinderungen ² (Bh.)	min	32.12	
Summe Dauer - brutto(SDb.)	min	368.37	

¹ durchschnittliche Erfahrungswerte - Annahmen

² Werte lt. Berechnung

Abschlagsdauer	h	6.14	SDb./60
Abschläge pro Tag	Ab./AT	3.91	24/Ab.D.
Abschlagslänge	m/Ab.	1.00	
progn. Tagesleistung	m/AT	3.91	Ab./AT*Ab.L.
Tunnellänge	m	2,000.00	
progn. Baustellendauer	AT	511.63	Tl./progn.Ta.L.
progn. Baustellendauer	Mo	17.05	progn.BL./30
Betriebsstunden unter Vollast auf der Baustelle im Einsatz		3,751.92	progn.BL.Mo*Es.ST.Mo.

Variante mit Tunnelvortriebsportal (TVP) - 75% Abschreibung des TVPs auf der Baustelle

Kalkulation der Vortriebsleistung

Eingangsparameter

	Einheit	bergseitig	hohlraumseitig	Kalotte(hohlraumsei	Kalotte(bergseitig)
Ausbruchquerschnitt (Aqu.)	m ²	35.36	31.37	12.17	14.00
Umfang	m ²	21.20	19.90	8.70	9.34
Abschlagslänge	m ²	1.00	1.00	1.00	1.00
Ausbruchskubatur m ³ (m ³ _{fest})(Akub fest)	m ³	35.36	31.37	12.17	14.00

Spieße

	Einheit		Bemerkung	Formel
Anzahl Spieße pro Abschlag (AzS)	Stk.	9.00	*bei zweiten Abschlag	
Länge der Spieße (LS)	m	4.00		
Ges. Länge der Spieße pro Abschlag	m	36.00		AzS*LS
Nettobohrleistung (Nbl.)	m/min	3.00		
Anbohren, Rückziehen, Umsetzen (Ums.)	min/BL	0.50		
Bruttobohrleistung (Bbl.)	m/min	2.18		Nbl.*LS/(LS+Ums*Nbl.)
Einbauzeit pro Spieß(Ebz.)	min/m	2.00		
Spießeinbau pro Abschlag (Sp.Abs.)	min/Ab.	44.25	2 Bohrräume	(Ges.Länge S./Bbl+Ges.Länge S.*Ebz.)/2

Schuttern

	Einheit		Formel
Ausbruchquerschnitt	m ²	35.36	
Abschlagslänge	m ²	1.00	
Ausbruchskubatur m ³ (m ³ _{fest})	m ³	35.36	
Mehrausbruch in % (MA)	%	10.00	
Ausbruch (inkl. Mehrausbruch)(AiMA)	m ³	38.90	Aqu.*1,1(MA)
Auflockerungsfaktor (Aufl.)	%	20.00	
Ausbruchkubatur lose (km ³) (Akub. Lose)	m ³	46.68	AiMA*1,2(Aufl)
Baggervortrieb Schaeff Typ ITC 312-H3 Bgger mit Bandanlage			
Füllungsfaktor Ladeschaufel (Ff.Lsch.)		0.50	
Tieflöffelinhalt (Tli.)	m ³	0.80	
Ladespiele pro Stunde (LSP.)	Spiele/h	40.00	
Ladeleistung (lm ³) pro Stunde	m ³ /h	16.00	Ff.Lsch.*Tli.*LSP.
Abbau+Schuttern pro Abschlag (Abb.+Scht.)	min/Ab.	175.03	(Akub lose/LI)*60

Spritzbeton Ortsbrust	Einheit		Bemerkung	Formel
Spritzbeton Dicke(theoretisch)	m	0.05		(theor.*Aqu.)/Ab.L.
m³-SpB/lfm (theoretisch)(teor.)	m³/lfm	1.77		
Faktor Rückprall (FRp.)		2.00		
Der Rückprall- und Überprofilfaktor liegt in der Praxis zwischen 2 und 3				
m³-SpB/lfm (tatsächlich)(tat.)	m³/lfm	3.54		teor.*FRp.
Spritzleistung pro Düse (SpB.L.)	m³/h	4.50	Spritzdüse Anzahl (Anz)	2
Dauer Spritzbeton	min/lfm	23.57		(tat./((SpB.L.*AnzD.))*60
Abschlagslänge (Ab.L.)	m	1.00		
Zeitbedarf SpB pro Abschlag (SpBZ Ab.)	min/Ab.	23.57		DSpB*Ab.L.

Baustahlgitter	Einheit		Formel
CQS 6 - Baustahlgitter	kg/m²	3.13	Mittlerer Umfang= 20.55 1*TUm.
Tunnelumfang (Tum.)	m	20.55	
Baustahlgitter pro lfm (Bstg.lfm)	m²/lfm	20.55	
		einlagig	
Baustahlgitter pro Abschlag	m²/Ab.	20.55	Bstg.lfm*Ab.L.
Aufwandsansatz für den Einbau (Awz.)	min/m²	1.00	
Baustahlgitter pro Abschlag (Bsg. Ab.)	min/Ab.	20.55	Bstg.lfm*Awz.

Gitterbogen	Einheit		Bemerkung	Formel
				13.1
Tunnelumfang	m	13.09	Mittlerer Umfang=	
Abschlagslänge	m	1.00		
Abstand Tunnelbögen	m	1.00		
Anzahl Tunnelbögen pro Abschlag (AnzTb.)	Stk.	1.00		
Aufwandsansatz für den Einbau (Awz.)	min/lfm	2.00		
Bogeneinbau Pro Abschlag (B Ab.)	min/Ab.	26.17		Tum.*AnzTb.*Awz.

Spritzbeton Umfang	Einheit		Bemerkung	Formel
Tunnelumfang	m	20.55	Mittlerer Umfang=	20.55
Spritzbetondicke (theoretisch)(SpBD.)	m	0.20		
m³-SpB/lfm (theoretisch) (theor.)	m³/lfm	4.11		Tum.*SpBD.
Faktor Rückprall (FRp.) und Überprofil (FRp.)		2.50	von 2 bis3	
m³-SpB/lfm (tatsächlich) (tat.)	m³/lfm	10.28		theor.*FRp
Spritzleistung pro Düse (SpB.L.)	m³/h	4.50	1 Spritzdüse Anzahl	2
Dauer Spritzbeton (DSpB)	min/lfm	68.50		(tat./(SpB.L.*AnzD.))*60
Abschlagslänge (Ab.L.)	m	1.00		
Zeitbedarf SpB pro Abschlag (SpBU Ab.)	min/Ab.	68.50		DSpB*Ab.L.

Behinderungen	Einheit		Formel
Abschlagsdauer *)	min/Ab.	358.08	(Sp.Abs.)+(Abb.+Scht.)+(SpBZ Ab.)+(Bsg. Ab.)+(B Ab.)+(SpBU Ab.)
*) ohne Überschneidung und Behinderung			
Verlängerung des Abschlagszyklus *)	%	5.00	
*) die angenommen %-Werte sind Erfahrungswerte und sind projektspezifisch zu berücksichtigen			
Behinderungen pro Abschlag	min/Ab.	18	Ab.D.*0,05

Abschlagszyklen	Einheit		Formel
Vorbereiten- Rüsten ¹	min	5.00	
Spieße ²	min	44.25	
Schüttern + Ablauten ²	min	175.03	
geolog. Aufnahme ¹	min	5.00	
Spritzbeton Ortsbrust ²	min	23.57	
Baustahlgitter ²	min	20.55	
Tunnelbögen ²	min	26.17	
Spritzbeton Umfang	min	68.50	
Summe Dauer - netto (SDn.)	min	323.83	
Behindernungen ² (Bh.)	min	17.90	
Summe Dauer - brutto(SDb.)	min	341.73	SDn.+Bh.

¹ durchschnittliche Erfahrungswerte - Annahmen

² Werte lt. Berechnung

³ Es wird angenommen, dass das Schüttern und die Spießsetzung zugleich erfolgen \Rightarrow das Maximum der Beiden geht in die Kalkulation der Abschlagsdauer ein.

Abschlagsdauer	h	5.70	SDb./60
Abschläge pro Tag	Ab./AT	4.21	24/Ab.D.
Abschlagslänge	m/Ab.	1.00	
progn. Tagesleistung (progn.Ta.L.)	m/AT	4.21	Ab./AT*Ab.L.
Tunnellänge (Tl.)	m	2,000.00	
progn. Baustellendauer (progn.BL.)	AT	474.62	Tl./progn.Ta.L.
progn. Baustellendauer (progn.BL.Mo)	Mo	15.82	progn.BL./30
Betriebsstunden der Baustelle (Bst.B):		3,740.00	progn.BL.Mo*Es.ST.Mo.
Betriebsstunden gesamt:		4,986.67	Bst.B/A.B

11 **Anhang II**

Kostenermittlung

Variante mit Bohrwagen

Kostenermittlung

Zusammenstellung Leistungsgeräte

Leistungsgeräte Kalkulationsgrundlagen	Neuwert lt.ÖBGL od. Hersteller	Motorleistung	Vorhaltemonate	Nutzungsdauer	monatlichen Satz für Rep.	monatlichen Satz für A. und V.
Einheit	€	kW	Mo	Jahre		% vo Neuwert
Bohrwagen ÖBGL Nr. 6542-0125	335,755.81	125	40	6	2.50%	3.00%
Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 ÖBGL Nr. 6009	551,000.00	90 112	40	5	2.50%	2.90%
Muldenhinterkipper, knickgelenkt ÖBGL Nr. 29 51-0180	184,593.02	148	45	4	2.20%	2.50%
Nassspritzmobil Top-Shot-Runner TSR 30.10 (Fa.Schwing) ÖBGL Nr. 25 50-2551	250,000.00	55 50	50	8	3.00%	2.00%

Dieselposten in €/Liter	0.65
Schmiermittelfaktor (SMF) - 1,05-1,10	1.05
Stromkosten in €/kWh	0.15
Verbrauch Leistungsgeräte	0.3
Reparatur-Mehrschichtfaktor	1.1
Zeit-Mehrschichtfaktor (von 1,2 bis 1,75)	1.3
1€= ?ATS	13.76
ÖBGL-Abminderung Abschreibung	0.6
ÖBGL-Abminderung Reparatur	0.7
Zinssatz = 6,5%	0.065
Einsatzstunden pro Monat h/Mo	220

Leistungsgeräte Kostengrundlagen	monatl. A/V	monatl. Rep. L:S=50:50	Betriebskosten	Summe Kosten/Mo Gerät	Summe Kosten/Mo Stoff	Summe Kosten/Mo gesamt
Einheit	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo
Bohrwagen	7,856.69	8,402.29	4,331.25	7,856.69	8,532.39	16,389.08
Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 ¹ ÖBGL Nr. 6009	12,463.62	13,788.78	3,503.81	12,463.62	10,398.20	22,861.82
Muldenhinterkipper, knickgelenkt ÖBGL Nr. 29 51-0180	3,599.56	4,065.11	5,128.20	3,599.56	7,160.75	10,760.32
Nassspritzmobil Top-Shot-Runner TSR 30.10 (Fa.Schwing) ¹ ÖBGL Nr. 25 50-2551	3,900.00	7,507.50	1,975.05	3,900.00	5,728.80	9,628.80
						59,640.01

¹Die Betriebskosten von Tunnelbagger ITC 312 und von Naßspritzmobil = 80% von ihrem Elektroantrieb + 20% von ihrem Dieselantrieb

Σ **Gerätekosten**

254,106.25

Σ
**Gerätekosten+
Lohnkosten**

Vorteilsleistung pro AT	m/AT	3.91
Vorteilsleistung pro Mo	m/Mo	117.27

Gerät	Anzahl in Stk.	Gerätekosten		Stoffkosten		Summe Kosten/Mo gesamt in €pro lfm- Tunnel
		Gerätekosten (GK)	Stoffkosten (SK)	Gerätekosten (GK)	Stoffkosten (SK)	
		pro Gerät und Mo		in €pro lfm- Tunnel		
Bohrwagen	1	7,856.69	8,532.39	66.99	72.76	139.75
Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 6009 ÖBGL	1	12,463.62	10,398.20	106.28	88.67	194.94
Muldenhinterkipper, knickgelenkt Nr. 29 51-0180 ÖBGL	2	3,599.56	7,160.75	30.69	61.06	91.75
Nassspritzmobil	1	3,900.00	5,728.80	33.26	48.85	82.11
Σ Gerätekosten				237.22	271.33	508.56

Vortriebsmannschaft

Vortriebsdrittel	Drittelführer	1
	Mineure	5
Mannanzahl je Drittel		6

Nazahl der Schichten im 4/3-Betrieb		4.0
3 Schichten a 8 Stunden/ 12 Tage Arbeit + 4 Tage frei		
Arbeitsstunden pro Woche h/Wo		42.0
mittl. Wochenarbeitszeit = 8,0 h x 7 AT/Wo x 12/16		
Arbeitsstunden pro Monat h/Mo		182.7
mittl. Monatsarbeitszeit = 42 x 4,35 Wo/Mo		

Mittellohnkosten €/h (Preisbasis 2001)		40.5
---	--	------

Personalkosten

	Einheit		PK/Mo+50%RepK
Personalkosten pro Monat	€/Mo	177,584.40	194,466.24
Vortriebsleistung	m/Mo	117.27	
Personalkosten pro lfm-Tunnel	€/lfm	1,514.28	1,658.23

	€/lfm-Tunnel
Σ Gerätekosten	508.56
Personalkosten	1,658.23
Σ	2,166.79

Variante mit Tunnelvortriebsportal (TVP) - 75% Abschreibung des TVPs auf der Baustelle

Kostenermittlung

Zusammenstellung Leistungsgeräte

Leistungsgeräte Kalkulationsgrundlagen	Neuwert lt.ÖBGL od. Hersteller	Motorleistung	Vorhaltemonate	Nutzungsdauer	monatlichen Satz für Rep.	monatlichen Satz für A. und V.	Rep.anteil:
Einheit	€	kW	Mo	Jahre		% vo Neuwert	
Tunnelvortriebsportal Neuwertmethode ^{1,2}	400,000.00	75	17	2	-	-	75%
Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 ÖBGL Nr.6009	551,000.00	90 112	40	5	2.50%	2.90%	-
Muldenhinterkipper, knickgelenkt ÖBGL Nr. 29 51-0180	184,593.02	148	45	4	2.20%	2.50%	-

Abschreibung auf dieser Baustelle (A.B):	75%
Dieselskosten in €/Liter	0.65
Schmiermittelfaktor (SMF) - 1,05-1,10	1.05
Stromkosten in €/kWh	0.15
Verbrauch Leistungsgeräte	0.3
Reparatur-Mehrschichtfaktor	1.1
Zeit-Mehrschichtfaktor (von 1,2 bis 1,75)	1.3
1€= ?ATS	13.76
ÖBGL-Abminderung Abschreibung	0.6
ÖBGL-Abminderung Reparatur	0.7
Zinssatz = 6,5%	6.50%
Einsatzstunden pro Monat h/Mo (Es.ST.Mo.)	220

Leistungsgeräte Kostengrundlagen	monatl. A.	monatl. V.	monatl. Rep. L:S=50:50	Betriebskosten	Summe Kosten/Mo Gerät	Summe Kosten/Mo Stoff	Summe Kosten/Mo gesamt
Einheit	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo
Tunnelvortriebsportal Neuwertmethode	17,647.06	1,147.06	14,095.59	2,722.50	18,794.12	9,770.29	28,564.41
Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 ÖBGL Nr. 6009	12,463.62		13,788.78	3,503.81	12,463.62	10,398.20	22,861.82
Muldenhinterkipper, knickgelenkt ÖBGL Nr. 29 51-0180	3,599.56		4,065.11	5,128.20	3,599.56	7,160.75	10,760.32

¹ in dem Preis des Tunnelvortriebsportals sind noch die Preise der gesamten Bohreinrichtung und des Spritzmanipulators berücksichtigt!

² Es wird angenommen, dass das TVP auf dieser Baustelle zu 75% abgeschrieben wird

³ Die Betriebskosten von Tunnelbagger ITC 312 = 80% von Elektroantrieb + 20% von Dieselantrieb

62,186.54	255,745.68
Σ Gerätekosten	Σ Gerätekosten+ Lohnkosten

Vorteilsleistung pro AT	m/AT	4.21
Vorteilsleistung pro Mo	m/Mo	126.42

Gerät	Anzahl in Stk.	Gerätekosten	Stoffkosten	Gerätekosten (GK)	Stoffkosten (SK)	Summe Kosten/Mo
		pro Gerät und Mo		in € pro lfm- Tunnel		gesamt in € pro lfm- Tunnel
Tunnelvortriebsportal NEUWERT Methode	1	18,794.12	9,770.29	148.67	77.29	225.96
Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 6009 ÖBGL	1	12,463.62	10,398.20	98.59	82.25	180.85
Muldenhinterkipper, knickgelenkt Nr. 29 51-0180 ÖBGL	2	3,599.56	7,160.75	28.47	56.64	85.12
Σ Gerätekosten				275.74	216.19	491.92

Formeln Gerätekosten

Abschreibung (A) und Verzinsung (V)

nach ÖBGL:

Mehrschichtbetrieb

$$A/V [\text{€/Mo}] = (\text{Neuwert} * \text{Ms.f. A/V}) * \text{Abminderung} * \text{ZMSF}$$

ZMSF.. Zeit-Mehrschichtfaktor = 1,20-1,75 Er ergibt sich aus dem Verhältniss der echten Betriebszeit zur durchschnittlichen Monatsarbeitszeit (172,0 h/Mo)

nach Neuwertmethode:

Abschreibung (A)

$$A/MO [\text{€/Mo}] = (\text{Neuwert}/\text{Betriebsstunden}) * \text{Einsatzstunden}/\text{Mo}$$

Verzinsung (V)

$$\text{Verzinsung} [\text{€/Mo}] = (\text{Nutzungsjahre} * \text{Neuwert} * \text{Zinssatz}) / (2 * \text{Vorhaltemonate})$$

Reparatur (Rep)

nach ÖBGL:

Mehrschichtbetrieb

$$\text{Rep} [\text{€/Mo}] = (\text{Neuwert} * \text{Ms.f. Rep.}) * \text{Abminderung} * \text{ZMSF} * \text{RMSF}$$

ZMSF... Zeit-Mehrschichtfaktor = 1,20-1,75

RMSF... Reparatur-Mehrschichtfaktor = 1,1

nach Neuwertmethode:

$$\text{Rep}/\text{Mo} [\text{€/Mo}] = (\% \text{-Satz vom Neuwert}) * (\text{Einsatzstunden}/\text{Mo})$$

Betriebskosten

Stromkosten:

$$\text{Betriebskosten} [\text{€/Mo}] = \text{Leistung} * \text{Stromkosten} * \text{SMF} * \text{Einsatzstunden}/\text{Mo}$$

Leistung des Gerätes in kW

Stromkosten in €/kWh = 0,15 €/kWh

SMF... Schmiermittelfaktor (= 1,05 bis 1,10) kalkulative Annahme in % der Betriebsstoffkosten

Treibstoffkosten

$$\text{Betriebskosten} [\text{€/Mo}] = \text{Leistung} * \text{Verbrauch} * \text{Treibstoffkosten} * \text{SMF} * \text{Einsatzstunden}/\text{Mo}$$

Leistung des Gerätes in kW

SMF... Schmiermittelfaktor (= 1,05 bis 1,10) kalkulative Annahme in % der Betriebsstoffkosten

Verbrauch Leistungsgeräte = 0,3 Liter/kWh

Dieselskosten in €/Liter = 0,65 €/Liter

Vortriebsmannschaft

Vortriebsdrittel	Drittelführer	1
	Mineure	5
Mannanzahl je Drittel		6

Nazahl der Schichten im 4/3-Betrieb		4.0
3 Schichten a 8 Stunden/ 12 Tage Arbeit + 4 Tage frei		
Arbeitsstunden pro Woche h/Wo		42.0
mittl. Wochenarbeitszeit = 8,0 h x 7 AT/Wo x 12/16		
Arbeitsstunden pro Monat h/Mo		182.7
mittl. Monatsarbeitszeit = 42 x 4,35 Wo/Mo		

Mittellohnkosten €/h (Preisbasis 2001)		40.5
--	--	------

Personalkosten

	Einheit		PK/Mo+50%RepK
Personalkosten pro Monat (PK/Mo)	€/Mo	177,584.40	193,559.14
Vortriebsleistung	m/Mo	126.42	
Personalkosten pro lfm-Tunnel	€/lfm	1,404.76	1,531.13

	€/lfm-Tunnel
Σ Gerätekosten	491.9201864
Personalkosten	1531.129378
Σ	2023.049565

Variante mit Tunnelvortriebsportal (TVP) - 100% Abschreibung des TVPs auf der Baustelle

Kostenermittlung

Zusammenstellung Leistungsgeräte

Leistungsgeräte Kalkulationsgrundlagen	Neuwert lt.ÖBGL od. Hersteller	Motorleistung	Vorhaltemonate	Nutzungsdauer	monatlichen Satz für Rep.	monatlichen Satz für A. und V.	Reparaturanteil:
Einheit	€	kW	Mo	Jahre		% vo Neuwert	
Tunnelvortriebsportal Neuwertmethode ^{1,2}	400,000.00	75	17	2	-	-	75%
Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 ÖBGL Nr. 6009	551,000.00	90 112	40	5	2.50%	2.90%	-
Muldenhinterkipper, knickgelenkt ÖBGL Nr. 29 51-0180	184,593.02	148	45	4	2.20%	2.50%	-

Abschreibung auf dieser Baustelle (A.B):	100%
Dieselskosten in €/Liter	0.65
Schmiermittelfaktor (SMF) - 1,05-1,10	1.05
Stromkosten in €/kWh	0.15
Verbrauch Leistungsgeräte	0.3
Reparatur-Mehrschichtfaktor	1.1
Zeit-Mehrschichtfaktor (von 1,2 bis 1,75)	1.3
1€= ?ATS	13.76
ÖBGL-Abminderung Abschreibung	0.6
ÖBGL-Abminderung Reparatur	0.7
Zinssatz = 6,5%	6.50%
Einsatzstunden pro Monat h/Mo (Es.ST.Mo.)	220

Leistungsgeräte Kostengrundlagen	monatl. A.	monatl. V.	monatl. Rep. L:S=50:50	Betriebskosten	Summe Kosten/ Gerät	Summe Kosten/Mo Stoff	Summe Kosten/Mo gesamt
Einheit	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo	€/Mo
Tunnelvortriebsportal Neuwertmethode	23,529.41	1,529.41	18,794.12	2,722.50	25,058.82	12,119.56	37,178.38
Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 ÖBGL Nr. 6009	12,463.62		13,788.78	3,503.81	12,463.62	10,398.20	22,861.82
Muldenhinterkipper, knickgelenkt ÖBGL Nr. 29 51-0180	3,599.56		4,065.11	5,128.20	3,599.56	7,160.75	10,760.32

¹ in dem Preis des Tunnelvortriebsportals sind noch die Preise der gesamten Bohreinrichtung und des Spritzmanipulators berücksichtigt!

² Es wird angenommen, dass das TVP auf dieser Baustelle zu 100% abgeschrieben wird

³ Die Betriebskosten von Tunnelbagger ITC 312 = 80% von Elektroantrieb + 20% von Dieselantrieb

70,800.52 266,708.92

Σ **Gerätekosten** Σ **Gerätekosten +Lohnkosten**

Vorteilsleistung pro AT	m/AT	4.21
Vorteilsleistung pro Mo	m/Mo	126.42

Gerät	Anzahl in Stk.	Gerätekosten	Stoffkosten	Gerätekosten (GK)	Stoffkosten (SK)	Summe Kosten/Mo
		pro Gerät und Mo		in €pro lfm- Tunnel		gesamt in €pro lfm- Tunnel
Tunnelvortriebsportal NEUWERT Methode	1	25,058.82	12,119.56	198.23	95.87	294.10
Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 6009 ÖBGL	1	12,463.62	10,398.20	98.59	82.25	180.85
Muldenhinterkipper, knickgelenkt Nr. 29 51-0180 ÖBGL	2	3,599.56	7,160.75	28.47	56.64	85.12
Σ Gerätekosten				325.29	234.77	560.06

Vortriebsmannschaft

Vortriebsdrittel	Drittelführer	1
	Mineure	5
Mannanzahl je Drittel		6

Nazahl der Schichten im 4/3-Betrieb		4.0
3 Schichten a 8 Stunden/ 12 Tage Arbeit + 4 Tage frei		
Arbeitsstunden pro Woche h/Wo		42.0
mittl. Wochenarbeitszeit = 8,0 h x 7 AT/Wo x 12/16		
Arbeitsstunden pro Monat h/Mo		182.7
mittl. Monatsarbeitszeit = 42 x 4,35 Wo/Mo		

Mittellohnkosten €/h (Preisbasis 2001)		40.5
--	--	------

Personalkosten

	Einheit		PK/Mo+50%RepK
Personalkosten pro Monat (PK/Mo)	€/Mo	177,584.40	195,908.40
Vortriebsleistung	m/Mo	126.42	
Personalkosten pro lfm-Tunnel	€/lfm	1,404.76	1,549.71

	€/lfm-Tunnel
Σ <i>Gerätekosten</i>	560.06
Personalkosten	1,549.71
Σ	2,109.77

12 **Anhang III**

Ermittlung der Anzahl der Muldenhinterkipper

Bestimmung der erforderlichen Anzahl an Muldenhinterkipper

Ladegerät: Tunnelbagger mit Beladeband Schaeff ITC 312 mit Tieflöffelinhalt = 0,80 m³

Transportgeräte: Muldenhinterkipper, knickgelenkt mit Muldeninhalt 9 m³

7.5

	Einheit	Formel
Auflockerung = 20%	%	1.2
Ladevolumen Muldenhinterkipper (LVM)	m ³ -lose/Mulde	7.5
Ladevolumen Baggertieflöffel/Ladespiel (LVB)	m ³ /LS	0.8
Ladespiele/Mulde (M) (LS/M)	LS/M	9.375 LVM/LVB
	LS/M	9
Ladeleistung Tunnelbagger	Einheit	Formel
Ladespiele pro Stunde ¹	LS/h	40.00
Ladespiele pro Minute	LS/min	0.7 LS/h/60
Minuten pro Ladespiel	min/LS	1.5 60/LS/h
Füllfaktor		0.5
Ladeleistung Hydraulikbagger	m ³ -lose/h	16
Ladeleistung Hydraulikbagger	m ³ -fest/h	13.3

Verfurleistung-Umlaufzeit Transportgerät

Umlaufzeit eines Muldenhinterkippers

	Einheit	Formel
Beladezeit: 11,3 LS/M (BZ)	min	13.5 LS/M*min/LS
Geschwindigkeit Hinfahrt (voll) (v voll)	km/h	25
Umlaufstrecke (UmlSt.)	km/h	1.3 (Tunnellänge/2)+Abstand bis Zwischendeponie = (2km/2)+0,3km
Hinfahrt (voll) (HZ)	min	3.12 (UmlSt./v voll)*60
Geschwindigkeit Rückfahrt (leer) (v leer)	km/h	30
Rückfahrt (leer) (RZ)	min	2.6 (UmlSt./v leer)*60
Entladezeit (EZ)	min	2 Kalkulationsannahme

Umlaufzeit eines Muldenhinterkippers min 21.22 BZ+HZ+RZ+EZ

Erforderliche Anzahl an Muldenhinterkipper

es ist eine erforderlich Mulde 1.57 Umlaufzeit/Beladezeit
2

Nachweis der Stehzeitbedingung des Schlüsselgerätes Tunnelbagger:

Leistung des Transportgerätes (Q _{tr})	m ³ -lose/h und M	21.2 (60/UmlZ)*LVM
Anzahl des Muldenhinterkippers (AnZM)	M	2
Leistung des Ladegeräts	m ³ -lose/h	16
theor. Verfurleistung M	m ³ -lose/h	42.4 Q _{tr} *AnZM

⇒ theor. Verfurleistung M 23,8 m³-lose/h > Leistung des Ladegeräts 16 m³-lose/h