



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

„Logistik langer Tunnelbauwerke“

„Logistics of long distance tunneling“

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

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Andreas Jurecka

am

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Florian Bachl

Planerstraße 8

A – 4161 Ulrichsberg

Ulrichsberg, Oktober 2008

Florian Bachl

VORWORT

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen meiner Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gebührt o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Georg Jodl, der mir das Erstellen dieser Arbeit ermöglicht hat und für seine ständige Bereitschaft, mir bei Schwierigkeiten weiterzuhelfen.

Besonderer Dank gilt auch Univ.Ass. Dipl.-Ing. Andreas Jurecka, der sich stets die Zeit genommen hat, mich mit neuen Ideen zu unterstützen, und dessen innovatives Denken die Grundlage dieser interessanten Aufgabenstellung darstellte. Seine Betreuung und Mithilfe bei der Ausarbeitung dieser Diplomarbeit ermöglichte mir ein effizientes und angenehmes Arbeiten.

Großer Dank gebührt allen meinen Freunden und Studienkollegen, die mir während meiner Studienzeit zur Seite standen und mich immer mit wertvollen Ratschlägen unterstützten.

Der weitaus größte Dank gilt jedoch meinen Eltern Irmgard und Franz Bachl und meinen Geschwistern Martina und Georg, die mir stets den nötigen Rückhalt während meiner Studienzeit gegeben und mich in allen Lebenslagen unterstützt haben.

KURZFASSUNG

Der Bau von Tunneln erfordert lange gewissenhafte Vorausplanungen, um den gewünschten wirtschaftlichen Bauerfolg zu erzielen. Eine Vielzahl von unterschiedlichen Einflussfaktoren bestimmen schlussendlich, ob sich Bauverzögerungen oder Abweichungen vom Projekt ergeben.

Der Bau von langen Tunnelbauwerken, wir sprechen hier von Längen, die sich in Größenordnungen von 10 bis 60 Kilometern bewegen, erfordert eine noch genauere und sorgfältigere Planung, als wir es bisher gekannt hatten. Durch die Teilung des Tunnels in mehrere Baulose kann man getrost von einer Aneinanderreihung einzelner Tunnelbauwerke sprechen, die jedes für sich betrachtet eine große Herausforderung für die Tunnelmannschaft und Ingenieure darstellt.

Vor allem durch die wechselnden geologischen und hydrogeologischen Einflüsse bestimmt, zeigt sich mit welcher Vortriebsmethode man am Effektivsten den Tunnel auffahren kann. Der Vortrieb mittels Tunnelvortriebsmaschine (TVM – Tunnelbohrmaschine oder Schildmaschine) arbeitet bei Längen ab 3 Kilometern am wirtschaftlichsten, diese Einheit aus Bohrkopf, Antrieb, Sicherungsmaßnahmen und diversen Nachläufern bohrt sich als Logistik-einheit durch das anstehende Gestein. Hier beginnt die Herausforderung den gelösten Boden ohne Verzögerung aus dem Tunnel zu fördern und die benötigten Baustoffe für den Ausbau rechtzeitig in den Berg zu bringen.

Schon vor der Ausschreibungsphase versuchen wir Ingenieure die dafür geeignetsten Verfahren zu bestimmen, welche die gegebenen Randbedingungen, wie geologische und hydrologische Verhältnisse am besten berücksichtigen.

Der Planung in der Projektierungsphase stehen aber teilweise nur sehr lückenhafte Kenntnisse der gegebenen Randbedingungen zur Verfügung. Diese Planungsunsicherheit kann es erforderlich machen, dass es während des Vortriebes zu Änderungen der Logistik kommen kann.

Eine besondere Herausforderung, neben der Versorgung der TVM, ist eine ausreichende Belüftung der Tunnelröhren sowie ein ausgeklügeltes Sicherheitsmanagement, welches das Unfallrisiko minimieren soll.

Bisher wurden erst wenige lange Tunnelbauwerke fertig gestellt. Einige befinden sich in Bau und viele in Planung, die daraus erhaltenen Erfahrungen helfen uns, die noch vor uns liegenden Herausforderungen besser zu meistern.

ABSTRACT

The construction of tunnels demands conscientious preparation in order to achieve the economic success desired. A great number of different factors finally influence eventual delays in construction as well as deviations from project plans.

The construction of long-distance tunnels, measuring 10 to 60 kilometres, demands a planning phase which has to be extremely meticulous and thorough. Because of the partition of the tunnel into several construction sections one has to deal with individual tunnel sections, each of which represents a great challenge for the construction crew and engineers.

It is above all geological and hydro-geological factors that determine which tunnelling method to choose in order to effectively excavate a tunnel. Tunnelling by means of a tunnel boring machine (TBM) works most efficiently with lengths from three kilometres onwards. The TBM consists of a cutter head, an engine, a measure of protection as well as various back up systems which drill through the native rock as a logistic unit in itself. The challenge here is to muck the excavated soil from the tunnel without delay and to transport the constructing material into the mountain on time.

Even before the tendering procedure is being commenced, the engineers try to determine the most suitable methods which best consider the given boundary conditions such as geological and hydro-geological circumstances.

Yet the project planning is sometimes confronted with a lack of knowledge concerning these boundary conditions. This uncertainty in the planning process might require an amendment of the logistics.

A special challenge, besides the supply of the TBM, is to provide for a sufficient ventilation of the tunnel as well as an elaborate safety management which is able to minimise the accident risk.

Only a few long tunnels have been completed up to now. Some are still under construction, while others are in the planning stage. The experience gained can help us to improve the management of the challenges still to come.

1 INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort.....	2
Kurzfassung.....	3
Abstract	4
1 Inhaltsverzeichnis	5
2 Einleitung.....	10
3 Grundlegende Definitionen und Erklärungen	11
3.1 Begriffserklärung Logistik.....	11
3.2 Begriffserklärungen.....	13
3.3 Definition Lange Tunnelbauwerke.....	16
4 Geschichtliche Entwicklungen.....	17
4.1 Entwicklung der Tunnelbautechnik	17
4.1.1 Konventioneller Tunnelbau	17
4.1.1.1 Deutsche Bauweise	18
4.1.1.2 Englische Bauweise.....	18
4.1.1.3 Belgische Bauweise.....	19
4.1.1.4 Österreichische Bauweise	19
4.1.2 Maschineller Tunnelbau.....	19
4.1.2.1 Maschinelles Bohren	19
4.1.2.2 Tunnelbohrmaschinen	20
4.1.2.3 Schilde	20
4.1.3 Entwicklung des Spritzbetons	21
4.1.3.1 Entwicklung des Trockenspritzverfahrens.....	21
4.1.3.2 Entwicklung des Nassspritzverfahrens	22
4.2 Funktionen von Tunnelbauwerken	22
4.3 Bisher erbaute bzw. in Planung befindliche lange Tunnelbau- werke.....	23
4.3.1 Unterschiedliche Tunnelsysteme	24
4.3.1.1 Doppelspurtunnel mit eventuellem Sicherheitsstollen	24

4.3.2	System mit zwei Einspurröhren.....	24
4.3.3	System mit zwei Einspurröhren mit Sicherheitsstollen	25
4.3.4	System mit drei Einspurröhren.....	26
5	Vortriebsverfahren im Tunnelbau.....	27
5.1	Vortriebsverfahren	29
5.1.1	Zyklischer (konventioneller) Vortrieb.....	29
5.1.1.1	Sprengvortrieb.....	30
5.1.1.2	Baggervortrieb.....	31
5.1.1.3	Teilschnittmaschinenvortrieb	31
5.1.2	Kontinuierlicher (maschineller) Vortrieb	32
5.1.2.1	Tunnelbohrmaschinen (TBM)	33
5.1.2.2	Schildvortriebsmaschinen (SM)	35
5.1.3	Nachläufersysteme von TVM.....	39
5.2	Vortriebssicherung – Sicherungs- und Stützmaßnahmen	43
6	Transporte	47
6.1	Arten des Transportes	48
6.1.1.1	Gleisloser Betrieb	48
6.1.1.2	Gleisbetrieb	49
6.1.1.2.1	Lokomotiven.....	50
6.1.1.2.2	Transportwaggone.....	52
6.1.1.2.3	Einschienehängbahn (EHB – Monorail)	55
6.1.1.2.4	Gleisanlagen und Tunnelservice.....	55
6.1.1.3	Bandanlagen	58
6.1.1.3.1	Bandförderung als Übergabesystem	58
6.1.1.3.2	Streckenförderband.....	59
6.2	Mannschaftstransporte	63
6.3	Materialtransporte.....	63
6.3.1	Schutterungsprozess im Tunnelbau.....	65
6.3.1.1	Schutterung im zyklisch (konventionellen) Vortrieb.....	66

6.3.1.2	Schutterung im kontinuierlichen (maschinellen) Vortrieb.....	67
6.3.1.2.1	Fördertechnik bei Schildmaschinen	67
6.3.2	Wirtschaftlichkeitsüberlegungen beim Schutterprozess	69
6.3.2.1	Gleislose Schutterung.....	69
6.3.2.2	Gleisschutterung bei Sprengvortrieb.....	74
6.3.2.3	Gleisschutterung bei TBM – Vortrieb	78
6.3.2.4	Bandschutterung	81
6.3.2.5	Zusammenfassung.....	84
6.3.2.5.1	Einröhrige Tunnels	84
6.3.2.5.2	Zweiröhrige Tunnels.....	87
6.3.3	Beton.....	89
6.3.3.1	Spritzbeton	91
6.3.3.1.1	Trockenspritzverfahren mit ofentrockenem Mischgut.....	94
6.3.3.1.2	Trockenspritzverfahren mit naturfeuchtem Mischgut.....	94
6.3.3.1.3	Nassspritzverfahren.....	94
6.3.3.2	Betonfertigteile.....	95
6.3.3.3	Betonproduktionsanlage am Baustellengelände	98
6.3.3.4	Stahl- oder Gusseisentübbinge.....	100
6.3.4	Stützmittel.....	100
6.4	Leitungsgebundene Transporte	101
6.4.1	Wasser	102
6.4.2	Ringspaltmörtel.....	103
6.4.3	Ausbruchsmaterial bei Flüssigförderung.....	104
6.4.4	Druckluft	105
6.4.5	Strom.....	105
6.4.6	Lichtwellenleiter	106
6.5	Probleme bei An- und Ablieferung	107
6.6	Tunnelausbau.....	108
6.6.1	Herstellung der Innenschale	108
6.6.2	Herstellung der Querschläge	112

6.6.3	Leitstelle	115
7	Bewetterung	116
7.1	Belüftungssysteme	117
7.1.1	Luttenleitung.....	119
7.1.2	Drückende (Blasende) Belüftung	120
7.1.3	Saugende Belüftung	120
7.1.4	Umkehrbare Belüftung.....	121
7.1.5	Kombinierte Belüftung	121
7.1.6	Umluftsystem.....	122
7.1.7	Spezielle Belüftungssysteme im TBM – Bereich.....	123
7.2	Kühlung	124
8	Sicherheitsmanagement	125
8.1	Umsetzung des Rettungskonzeptes	128
8.1.1	Gefährdungen im Tunnelbau	131
8.1.1.1	Verbrüche.....	131
8.1.1.2	Verkehrs- und Maschinenunfälle	131
8.1.1.3	Staubentwicklung	131
8.1.1.4	Erdgaszutritt und Sauerstoffmangel.....	131
8.1.1.5	Brandfall	132
8.1.1.5.1	Belüftung im Brandfall	133
8.2	Arbeitssicherheit der Mannschaft.....	133
9	Materialbewirtschaftung	136
9.1	Ausbruchsmaterial	136
9.2	Wasserhaltung.....	138
9.2.1	Arten von Wässern im Tunnelbau.....	138
9.2.1.1	Bergwasser	139
9.2.2	Wasserhaltung im Vortrieb.....	141
9.2.2.1	Ableitung	141
9.2.2.2	Drainagegestollen.....	143

9.2.2.3	Filterrohre	143
9.2.2.4	Vakuumlampen	143
9.2.2.5	Injektionen, Injektionsschirme	143
9.2.2.6	Absenkung	144
9.2.3	Tunnelabwasserentsorgung	144
10	Schlussfolgerung	147
11	Literaturverzeichnis	151
	Abbildungsverzeichnis	158
	Tabellenverzeichnis	160
	Bildverzeichnis	161
	Diagrammverzeichnis	161
	Anhang	162

2 EINLEITUNG

„Das transeuropäische Verkehrsnetz (TEN – V) spielt eine entscheidende Rolle bei der Gewährleistung des freien Personen- und Warenverkehrs in der Europäischen Union. [...] Durch die Vollendung der Netze werden die Reise- und Beförderungszeiten für Personen und Güter erheblich verkürzt.“¹

Durch die gewachsene Erwartung schneller von einem zum anderen Ort zu gelangen, verlangt der Mensch nach immer schnelleren und leistungsfähigeren Transportmitteln. Bereits in den letzten Jahren versucht der Bahnverkehr immer mehr mit dem Flugverkehr, punkto Reisezeit und Komfort, in Konkurrenz zu treten, die logische Folge daraus ist, dass man den direkten Weg zwischen den Orten sucht. Dass es dabei unüberwindbare Hindernisse, wie Berge, Täler oder Gewässer zu bewältigen gilt, war vor wenigen Jahrzehnten noch Utopie, durch neue technische Errungenschaften, interdisziplinäre Forschung und Erfahrungen im Tunnelbau in den letzten beiden Dekaden scheint diese scheinbare Utopie nun Wirklichkeit zu werden. Die Inbetriebnahme der Öresund – Verbindung (Straßen- und Eisenbahnverbindung zwischen Dänemark und Schweden) und der Bau des Gotthard – Basistunnels sowie die Planung des Brenner – Basistunnels beweisen dies eindrucksvoll.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Bau langer Tunnelbauwerke, mit besonderer Berücksichtigung auf die Ver- und Entsorgung (Logistik) der anfallenden bzw. benötigten Materialien auf der Baustelle. Neben der umfangreichen Logistik spielt bei langen und sehr langen Tunnelbauwerken auch die Arbeitssicherheit eine umfassende Rolle, man darf auch nicht auf die „ökologische“ Verwertung bzw. das Recycling des Ausbruchmaterials vergessen.

Neben dem Bau gilt es auch die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks über die Lebensdauer – 100 Jahre – zu berücksichtigen, beispielhaft wäre hier eine sinnvolle Wasserhaltung in ökologisch sensiblen Gebieten und deren Einfluss auf Grundwasserverhältnisse oder Dichtheit des Tunnels anzuführen.

Wichtig für den Betrieb von langen und sehr langen Tunnels ist auch ein Notfallplan nach Unglücken. Die Projektierung von Querschlägen, Rettungstollen und -schächten oder Multifunktionsstellen stellt eine Notwendigkeit für Evakuierungen aus dem Tunnel dar.

¹ TEN – Grundsätze, 2005, S.8.

3 GRUNDLEGENDE DEFINITIONEN UND ERKLÄRUNGEN

3.1 BEGRIFFSERKLÄRUNG LOGISTIK

Die Logistik definiert sich als integrierte Planung von Organisation, Steuerung, Abwicklung und Kontrolle des Material- und Warenflusses innerhalb eines Unternehmens.

„Sie ist die Lehre von der Bewegung und Platzierung von Gütern, Diensten und Personen sowie allen dazu erforderlichen Konzepten und Tätigkeiten, d.h.

- die richtigen Güter und Leistungen
- am richtigen Ort,
- in richtiger Menge,
- zur richtigen Zeit
- und in richtiger Qualität zu bringen.“²

Sie steuert den optimalen Fluss von Arbeitskräften, Betriebsmitteln, Grundstoffen, Informationen, Arbeitsprodukten und Abfallstoffen zwischen den einzelnen Punkten ihres Einsatzes. Durch Controlling werden die Aufgaben der Planung, Steuerung und Kontrolle sämtlicher betrieblicher Abläufe geregelt. Dies wird durch entsprechendes Vorausplanen, Überprüfen der einzelnen Abläufe und Steuerung aller Aktivitäten im gesamten Zusammenhang erreicht.

Sie unterteilt sich in folgende fünf Bereiche.

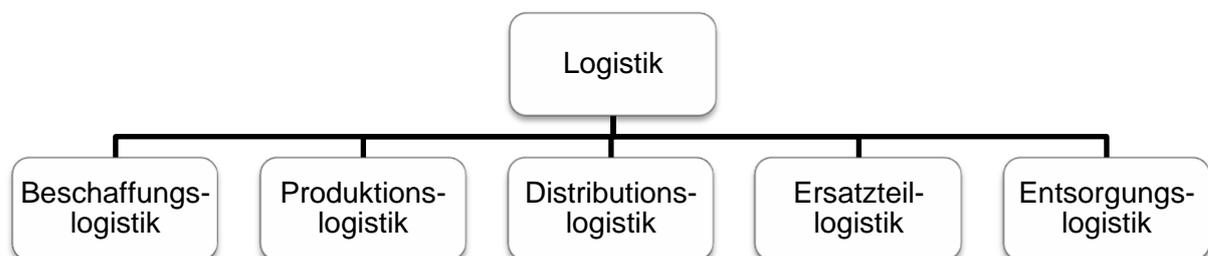


Abbildung 1: Logistik

²www.zingel.de – 7.07.2007.

Die Beschaffungslogistik³ ist für die Bereitstellung von Rohstoffen, Hilfsstoffen und Betriebsstoffen verantwortlich. Die Produktionslogistik soll Vereinfachungen, Verbesserungen und Einsparungen im Produktionsbereich beitragen, diese werden u.a. durch

- Optimale Gestaltung der Transportwege
- Senkung der Herstellkosten
- Steigerung in der Flexibilität der Produktion
- Kapazitätserhöhung erzielt.

Die Distributionslogistik befasst sich mit dem zeitgerechten Transport der gefertigten Erzeugnisse an den Abnehmer bzw. die Baustelle. Während sich die Ersatzteillogistik mit der Lieferung von benötigten Ersatzteilen beschäftigt, sorgt die Entsorgungslogistik für den reibungslosen Abtransport von nicht mehr benötigten Stoffen im Prozess. Diesem Teil der Logistik wird dieser Diplomarbeit ein eigenes Kapitel gewidmet.

Ihren geschichtlichen Ursprung hat die Logistik in der militärischen Strategielehre (Versorgung der Streitkräfte). Bereits im 9. Jahrhundert nach Christus verfasste der Kaiser von Byzanz die erste Definition, die folgende Teilgebiete⁴ umfasste

- Truppenversorgung
- Organisation
- Operationsplanung
- Nachrichtenwesen
- Rüstung.

Im ersten und zweiten Weltkrieg bildeten die US – Streitkräfte erste Projektteams zu logistischen Fragestellungen, u.a. zum richtigen Vorausberechnen von Bedarf und Truppenbereitstellung zur richtigen Zeit am richtigen Ort. In den späten 40er Jahren nützten Wirtschaftsunternehmen dieses Knowhow, um die Versorgung ihrer Kunden in den Vereinigten Staaten sicherzustellen.

Es sollte bis in die 70er Jahre dauern bis europäische Unternehmen⁵ ersten praktischen Nutzen aus der Logistik ziehen sollten. Die folgende Abbildung soll veranschaulichen, wie sich im Laufe des letzten halben Jahrhunderts der maßgebliche Einfluss der Logistik auf die

³ Aunkofer, 1992, S.15.

⁴ www.muellerscience.com – 7.07.2007.

⁵ www.wuwien.ac.at – 7.07.2007.

Unternehmensentwicklung auswirkte, vom notwendigen Übel zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor.

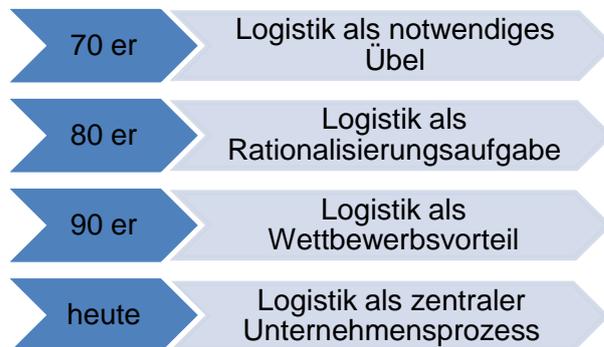


Abbildung 2: Logistik im Laufe des letzten 50 Jahre⁶

Die Logistik ist mit dem Lager- und Produktionswesen eng verwandt, in diesen beiden Bereichen werden Produkte bereitgestellt und transportiert. Neben der Industrie ist die Logistik weiters im Transportgewerbe von großer Bedeutung, ohne sie wäre die Einsatzplanung von Verkehrsmitteln kaum denkbar.

3.2 BEGRIFFSERKLÄRUNGEN

Nachdem es keine normgemäße Definition der Begriffe „geringe Überlagerung“ bzw. „große Überlagerung“ gibt, versucht man eine plausible Einteilung zu treffen.

„geringe Überlagerung“ oder „seichtliegender Tunnel“⁷ (im Lockergestein)

Die auftretende Gebirgsverformungen bei Vortrieb von seichtliegende Tunnels kann zu Setzungen an der Oberfläche führen. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Setzungen nimmt mit der zunehmenden Überlagerung ab.

Näherungsweise spricht man bei einer Überlagerung geringer als des doppelten Tunneldurchmessers von einem seichtliegenden Tunnel.

Dies ist insofern plausibel, da unter den gegebenen Umständen eine Ausbildung des Gebirgstringens nicht möglich ist und damit die Last vollständig durch die Tunnelsicherung übernommen werden muss.

⁶ www.wuwien.ac.at – 7.07.2007.

⁷ Maidl, 1997, S.245.

Der Gebirgstragringes ist vereinfacht gesagt jener Bereich um den ausgebrochenen Hohlraum in dem die auftretenden Spannungsumlagerungen stattfinden und die Eigenfestigkeit des Gebirges und dessen Fähigkeit als tragendes Element unterstützt wird.

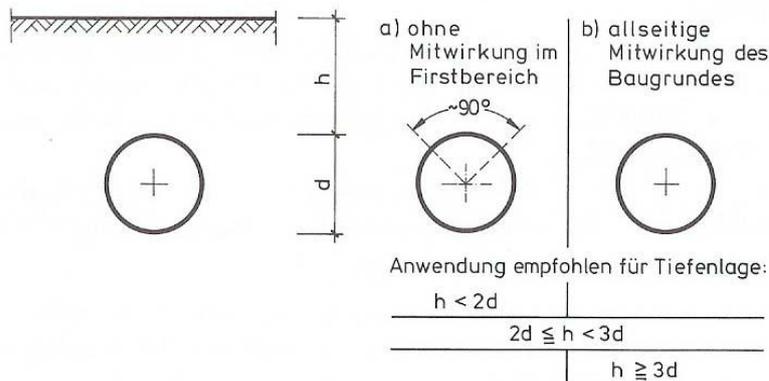


Abbildung 3: Ansätze für stützende Mitwirkung des Baugrundes⁸

„große Überlagerung“ oder „tief liegender Tunnel“ (im Lockergestein)

„Bei tief liegenden Tunneln geht man davon aus, dass entsprechend der Silotheorie nach *Terzaghi* der tatsächliche Gebirgsdruck nahezu unabhängig von der tatsächlichen Überlagerung ist und durch die Gebirgseigenschaften bestimmt wird. Das Modell setzt voraus, dass aufgrund der inneren Reibung des Gebirges sich in gewissen Höhen ein Gewölbe ausbildet, das die darüber liegenden Lasten trägt. Das Entstehen eines Gewölbes ist von der Verformung des Gebirges bzw. des Bodens abhängig, die durch die Entspannung an der Tunnellaubung durch das Auffahren des Querschnitts entsteht.“⁹

Die Überlagerung ist hier ein Vielfaches des Tunneldurchmessers.

⁸ Maidl, 1997, S.245.

⁹ Vgl. Ebenda.

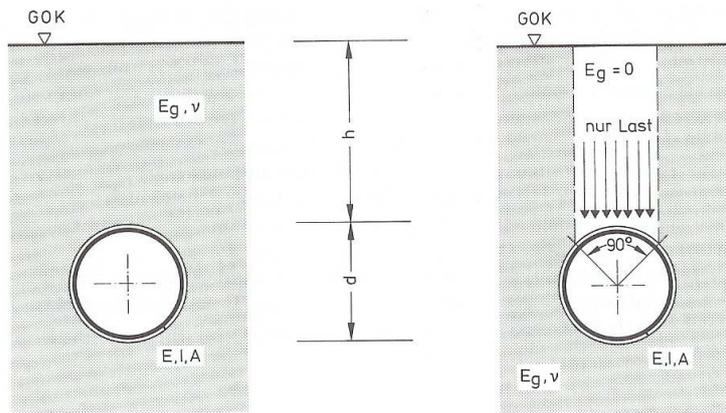


Abbildung 4: Tiefliedender Tunnel mit Gebirgstragring

Probleme bei großen Überlagerungen stellt die Plastifizierung infolge großen Gebirgsdrucks, Scherzonen, hohe Wasserdrücke oder hohe Temperaturen dar.

„Zugänglichkeit“

Aufgrund gewisser Rahmenbedingungen kann bei einem seitliegendem Tunnel kein Zwischenangriff erfolgen, Gründe hierfür können sein:

- dichte Verbauung
- behördliche Auflagen (Lärm, Umweltschutz)
- Naturschutzgebiete (z.B. S1 – Lobautunnel).

Hier liegt die Herausforderung an den Planer eine möglichst genaue Logistikplanung zu erstellen, ohne den Bauablauf zu verzögern.

3.3 DEFINITION LANGE TUNNELBAUWERKE

Laut der Richtlinie A – 12 des *Österreichischen Bundesfeuerwehrverbandes (ÖBFV)*¹⁰ werden Tunnel mit einer Länge

- bis 1500 m als „kurze Tunnel“
- über 1500 m bis 15000 m als „mittlere Tunnel“
- über 15000 m bis 25000 m als „lange Tunnel“
- über 25000 m als „sehr lange Tunnel“ bezeichnet.

Als Tunnel gilt das gesamte Bauwerk einschließlich den Notausgängen und deren Einhausungen.

Grundlage für diese Einteilung war das Allgemeine Sicherheitskonzept für lange Tunnel des BMVIT von 1994.

Durch die Planung neuer sehr langer Tunnelbauwerke (u.a. Brenner – Basistunnels) wurde eine neue Einteilung bzw. eine Erweiterung der Bezeichnungen durchgeführt und deswegen werden Tunnel über 25 km nun als „sehr lange Tunnel“ bezeichnet.

¹⁰ ÖBFV, 2000, S.5.

4 GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNGEN

Regen Handel, Kunst, Schrift, Wissenschaft, erste Gesetzestexte all das entwickelte sich in den frühen Hochkulturen ab dem 3. Jahrtausend v. Christus. Herausragend war hier Mesopotamien, so ist es kaum verwunderlich, dass sich Ingenieure sehr früh mit dem Bergbau und dem Bau von Bewässerungssystemen beschäftigten, um die Felder bewirtschaften und mit den fruchtbaren Ernten Handel treiben zu können. Um 2800 v. Chr. entstanden erste kleine ungesicherte Stollen¹¹, die den Wassertransport auf die Felder sicherstellten und noch bis zur Mitte des 20. Jh. nutzbar waren. Ein weiterer Meilenstein war 1000 Jahre später in Babylon ein 1000 Meter langer Verbindungstunnel unter dem Euphrat zwischen dem Königspalast und einem Tempel. Diese Tunnel dienten nicht nur alleine zur Bewässerung, sondern wurden auch zu Vorratzzwecken und im Kriegsfall zu Verteidigungszwecken genutzt.

Bis zur Entdeckung des Schwarzpulvers im 13. Jh. und dessen ersten Anwendung durch den Mönch Berthold Schwarz¹² war der Tunnelausbruch nur von Hand mit Hilfe von einfachen Werkzeugen mühsam und kräfteraubend durchzuführen.

Durch den wachsenden Wohlstand, die steigende Mobilität der Menschen und der Entwicklung der Eisenbahn einhergehend versuchte man die Transportwege möglichst kurz zu halten, dabei galt es Hindernisse wie Berge und Gewässer möglichst ohne Umwege zu passieren. Die Tunnelbautechnik steckte daher Mitte des 19. Jh. noch in ihren Kinderschuhen, die Abbautechniken wurden aus dem Bergbau übernommen, bei dem nur eine effiziente Ausbeutung des Gebirges im Vordergrund stand. Während bei Infrastrukturtunnel die Betriebssicherheit und eine lange Lebensdauer erzielt werden müssen. Es entwickelten sich dadurch, regional unterschiedliche Tunnelbauverfahren, die sich hauptsächlich im Verfahrensablauf beim Öffnen des Hohlraumes und bei der Sicherungsherstellung differenzieren.

4.1 ENTWICKLUNG DER TUNNELBAUTECHNIK

4.1.1 KONVENTIONELLER TUNNELBAU¹³

In den folgenden Unterkapiteln soll nur ein kurzer Überblick über deren Entstehungsgeschichte gegeben werden.

¹¹ Jodl, 2005, S.21.

¹² Maidl, 1997, S.1.

¹³ Jodl, 2005, S. 21 – 26.

4.1.1.1 DEUTSCHE BAUWEISE

Für das Auffahren von Kavernen wird dieses Verfahren heute noch angewendet. Durch das Herstellen von vielen kleinen Stollen wird ein großer, schlecht beherrschbarer Querschnitt vermieden, sodass der Kern zügig gewonnen werden kann. Diese Kernbauweise wurde 1803 erstmals in Frankreich unter schwierigen Gebirgsverhältnissen angewendet. Von unten beginnend entlang des Außenrandes werden kleine Stollen vorangetrieben.

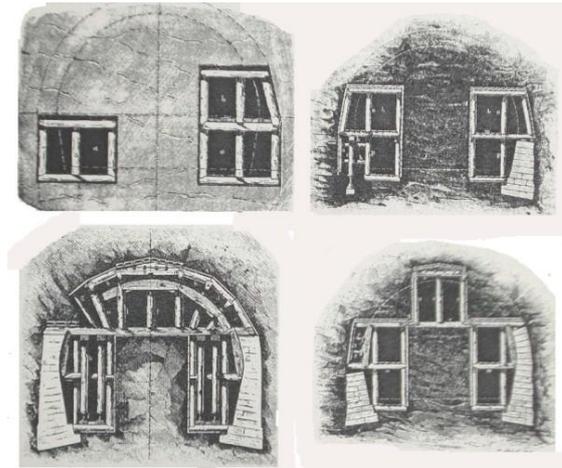


Bild 1: Deutsche Bauweise

Auf den in der Mitte verbleibende Kern stützt sich das Gebirge bis zuletzt ab. Während der als Richtstollen ausgeführte Firststollen meist ohne Ausbau bleibt, werden die Stollen in den Widerlagerbereichen nach ihrem Ausbruch durch einen gemauerten Ausbau ersetzt.

4.1.1.2 ENGLISCHE BAUWEISE

Die Jochzimmerungs- oder Längsträgerbauweise wurde erstmals bei der Untertunnelung der Themse angewandt. Von den zuerst vorangetriebenen Firststollen beginnt die Erweiterung des Tunnelprofils in Richtung der Ulmen bis hinunter zur Sohle. Durch Quer- und Schubstreben wird der Druck der Ortsbrust abgefangen. Mit Hilfe von Schablonen wird das Sohlgewölbe erstellt und danach wird das seitliche Strossen- und Gewölbemauerwerk gemauert.

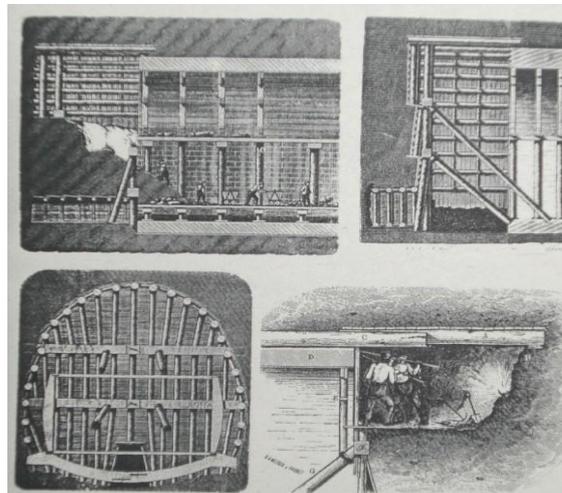


Bild 2: Englische Bauweise

Die Joche liegen auf der einen Seite auf dem bereits erstellten Mauerwerk auf. Damit diese weiterverwendet werden können, werden diese nun oberhalb des gemauerten Gewölbes mit kleinen, auf das Gewölbe gemauerten Pfeilern unterfangen. Die Querbalken können vorgeschoben und weiterverwendet werden.

4.1.1.3 BELGISCHE BAUWEISE

Die Unterfangungsbauweise oder Belgische Bauweise verfolgt die schnelle Firstsicherung penibler als bei der Österreichischen Bauweise. Nach dem Ausbruch der Kalotte wird das Gewölbe möglichst schnell ausgemauert. Unter dem Schutz des fertiggestellten Gewölbes werden abschnittsweise die Ulmen abgebaut und die Kalotte durch die gemauerten Widerlager unterfangen. Die erste Anwendung erfolgte 1828 in Charleroy.

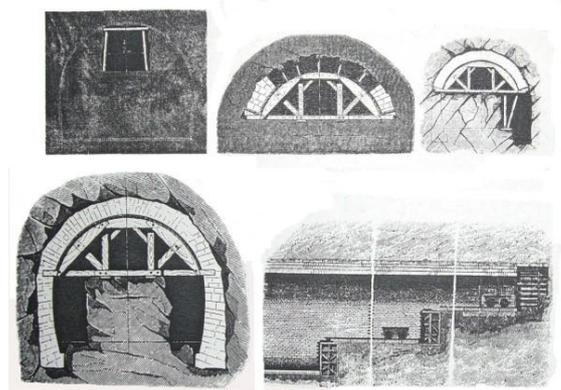


Bild 3: Belgische Bauweise

4.1.1.4 ÖSTERREICHISCHE BAUWEISE

Diese Methode versucht die Firste zu sichern und den Ausbruch von oben nach unten durchzuführen, danach erfolgt die Mauerung der massiven Widerlager von unten nach oben. Man versucht die Kräfte möglichst ohne mehrfache Lastumlagerung in die Sohle einzuleiten. Der vorseilende Richtstollen ermöglicht eine entsprechende Kenntnis des anstehenden Gebirges und die Anpassung der Abdichtung gegen Bergwasser.



Bild 4: Österreichische Bauweise

Weiters erhält man viele Angriffsstellen und somit erforderlichenfalls eine signifikante Verkürzung der Bauzeit. Der Ausbau des Sohlgewölbes erfolgte meistens erst später.

4.1.2 MASCHINELLER TUNNELBAU

4.1.2.1 MASCHINELLES BOHREN

Die erste mechanische Vortriebsmaschine wurde 1846 erstmals beim Bau des Mont – Cenis – Tunnels¹⁴ (Frankreich) erfolgreich getestet. Auf einem massiven Stahlrahmen wurden 116, mittels Riemen angetriebene, Schlagbohrmaschinen montiert, die den anstehenden Felsen

¹⁴ Jodl, 2005, S.27.

abtrennen sollten. Neben dieser Methode entwickelten sich zur selben Zeit auch mit komprimierter Luft oder dampfbetriebene Maschinen, deren Schienenantrieb durch Wasserkraft erzeugte Druckluft erfolgte.

Mitte des 20. Jh. stieß man mit den pneumatischen Schlagbohrmaschinen an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit, diese wurde dann durch die hydraulisch betriebene Schlagbohrmaschine abgelöst, mit der sich fast die doppelte Arbeitsleistung erreichen lässt. Eine genauere Übersicht über die einzelnen Tunnelbauverfahren wird dann im *Kapitel 5* gegeben.

4.1.2.2 TUNNELBOHRMASCHINEN

Eine weitere Entwicklung stellt die Tunnelbohrmaschine¹⁵ dar, die eine Kombination aus einer Schlagbohrmaschine und rollenden Abbauwerkzeugen (Meißel in Gruppen am Bohrkopf angeordnet) bildet. Diese sollte einen umlaufenden Schlitz herstellen und der Kern sollte konventionell aufgeföhren werden.

4.1.2.3 SCHILDE

Die Schildmaschine von *Brunel*¹⁶ wurde erstmals in London erprobt, sie war in 36, auf drei Stockwerke aufgeteilte, Zellen unterteilt, in der jeweils ein Arbeiter die Ortsbrust bearbeitete. Weitere Entwicklungen dienten als Vorbild für die Bauweise von offenen Schilden. 1866 brachte erstmals der Schildvortrieb unter Druckluft erhebliche Erleichterungen mit sich. Der Brite *Greathead* erprobte als erster die Anwendung gusseiserner Tübbinge und erkannte, dass durch deren Versetzen im Bereich des Schildschwanzes ein Spalt zwischen den Gebirge und den Tübbingen entsteht. Dieser sogenannte Ringspalt wird bis heute mit einem Wasser – Zement Gemisch, dem Ringspaltmörtel, verfüllt.

Bis in die 1930er scheiterte der Versuch die Stahltübbinge durch Betontübbinge¹⁷ zu ersetzen, aufgrund mangelnder Betonfestigkeiten und den zu großen Abweichungen bei der Herstellung. Erst mit Beginn des 2. Weltkrieges, nachdem der Stahl für die Rüstungsindustrie dringend benötigt wurde und daher der Preis enorm stieg, setzte man wieder auf die billigeren Betonfertigteile.

¹⁵ Jodl, 2005, S.28.

¹⁶ Vgl. Ebenda.

¹⁷ Ebenda, S.29.

4.1.3 ENTWICKLUNG DES SPRITZBETONS

Erst durch die Entwicklung des Spritzbetons war es möglich das Gebirge per Hand mit einer dicht anliegenden Schicht zu versiegeln und den Prinzipien der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT bzw. NATM, englisch) zu folgen.

Entscheidende Vorteile bei der Anwendung von Spritzbeton sind zum Einen, dass keine Schalung benötigt wird und zum Anderen werden durch die hohe Aufprallgeschwindigkeit, von rund 100 km/h, die bereits aufgetragenen Schichten selbst verdichtet. Eine weitere Entwicklung stellte die Zugabe von Zusatzmitteln dar, die die Eigenschaften des Spritzbetons beeinflussen. Folgende Mittel¹⁸, wie Fasern (Stahl, Kunststoff oder Glas), Fließmittel, Verzögerer, Beschleuniger gelten als geeignet.

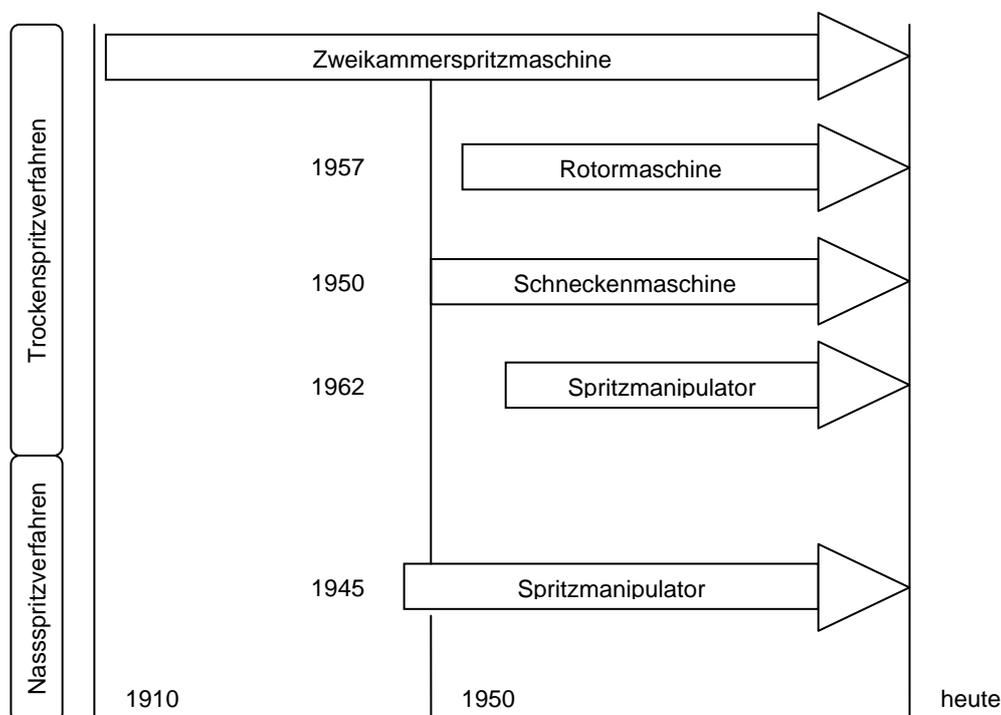


Abbildung 5: Geschichtliche Entwicklung der Spritzbetonverfahren¹⁹

4.1.3.1 ENTWICKLUNG DES TROCKENSPRITZVERFAHRENS

Die erste Anwendung des Trockenspritzverfahrens erfolgte am Anfang des 20. Jahrhunderts in New York bei der Auskleidung eines Wasserversorgungsstollens, nachdem das Verfahren

¹⁸ Girmscheid, 2000, S.175.

¹⁹ Jodl, 2005, S.31.

zur Konservierung von Tierhäuten mit Gips für dessen Anwendung im Bauwesen adaptiert wurde²⁰.

Nachdem erhebliche Probleme, wie eine zu geringe Maschinenleistung, auftraten, wurde die Weiterentwicklung dieses Verfahrens gestoppt und erst nach 1950 weitergeführt.

Das Mischgut, bestehend aus Zement und trockenen bzw. mäßig feuchten Gesteinsmischungen, wird mittels Druckluft zur Spritzdüse gefordert und beim Durchströmen mit Wasser oder falls erforderlich mit Erstarrungsbeschleunigern vermischt.

4.1.3.2 ENTWICKLUNG DES NASSSPRITZVERFAHRENS

Bereits 1889, also lange vor dem Trockenspritzverfahren, gab es erste Versuche Mörtel mit einem Schaufelrad auf eine Fläche zu befördern, dies kann als Beginn des Nassspritzverfahrens²¹ angesehen werden. Ein erstes Patent wurde 1908 zum Verputzen von Wänden angemeldet.

Als Nassmischgut wird Ortbeton verwendet, der entweder im Dünnstrom oder im Dichtstrom zur Einbaustelle gebracht wird. Entscheidende Vorteile sind die geringere Staubentwicklung, die gleichmäßige Verarbeitbarkeit und der geringere Rückprall gegenüber dem Trockenspritzverfahren. Es ist besonders für hohe Spritzleistungen und großen Einbaumengen geeignet.

4.2 FUNKTIONEN VON TUNNELBAUWERKEN

Die Einteilung von Infrastrukturbauwerken unter Tage erfolgt einerseits nach deren Ausbruchsquerschnitt und andererseits nach deren Funktion im vorgesehenen Betrieb.

- nach Ausbruchsquerschnitt (Definition nach ÖNORM B2203-1)²²
 - Stollen: langgestreckte, flachgeneigte unterirdische Hohlräume mit Ausbruchsquerschnitten bis 20 m³.
 - Tunnel: langgestreckter, unterirdischer Hohlraum mit Ausbruchsquerschnitten über 20 m³ vornehmlich für den Straßen- oder Eisenbahnverkehr.

²⁰ Jodl, 2005, S.30.

²¹ Ebenda, S.32.

²² ÖNORM B2203-1.

- Kavernen: unterirdische Hohlräume mit geringer Längenausdehnung und meist größeren Ausbruchsquerschnitten als ein Tunnel.
- nach Funktion
 - Straßentunnel
 - Eisenbahntunnel
 - Infrastrukturtunnel (Wasserleitungen).

Bauvorhaben betreffen Stollen und Tunnel sind Linienbauwerke, die Konsequenz daraus ist, dass zwischen allen anfallenden Arbeiten eine starke Abhängigkeit gegeben ist. Es ist daher nicht möglich einen Arbeitsvorgang für sich alleine und isoliert zu betrachten.

4.3 BISHER ERBAUTE BZW. IN PLANUNG BEFINDLICHE LANGE TUNNELBAUWERKE

Die folgende Tabelle soll eine Übersicht über die längsten Straßen- und Eisenbahntunnel weltweit und in Österreich geben.

Tunnel weltweit	Länge in m	Staat	Funktion	Status	Fertigstellung
Gotthard – Basistunnel	57091	Schweiz	Eisenbahn	In Bau	2017
Brenner – Basistunnel	55000	Österreich/Italien	Eisenbahn	In Planung	2022
Seikan – Tunnel	53900	Japan	Eisenbahn	In Betrieb	1988
Mont – Cenis – Basistunnel	52000	Frankreich/Italien	Eisenbahn	In Planung	---
Euro – Tunnel	49940	Frankreich/England	Eisenbahn	In Betrieb	1994

Tunnel in Österreich

Koralmbahn – Tunnel	32800		Eisenbahn	In Planung	2020
Semmering – Basistunnel	22700		Eisenbahn	In Planung	2020
Wienerwald – Tunnel	12800		Eisenbahn	In Bau	2012
Lainzer – Tunnel	12800		Eisenbahn	In Bau	2013
Lobau – Tunnel	8000		Straße	In Planung	2017

Tabelle 1: Längste Tunnelbauwerke weltweit und in Österreich²³

²³ www.wikipedia.de – 8.07.2007.

www.oebb.at – 8.07.2007.

Aufgrund der tragischen Unglücke in Straßentunnels werden nunmehr Verkehrstunnels als zwei ein- oder mehrspurige parallele Richtungstunnel geplant und gebaut. Im Falle eines Unfalls können sich die Menschen durch die regelmäßig angeordneten Querschläge in die andere Tunnelröhre retten und die Einsatzkräfte von dort rasch an die Unglücksstelle gelangen.

4.3.1 UNTERSCHIEDLICHE TUNNELSYSTEME²⁴

4.3.1.1 DOPPELSPURTUNNEL MIT EVENTUELLEM SICHERHEITSTOLLEN

Der größte Teil der heute betriebenen Eisenbahntunnel entlang stark befahrener Strecken sind Doppelspurtunnel. Heute besteht international übereinstimmend die Meinung, dass für längere Eisenbahntunnel aus sicherheitstechnischen und betrieblichen Gründen Einspurtunnel gegenüber dem Doppelspurtunnel zu bevorzugen sind. Die Betriebssicherheit ist bei diesem System wesentlich kleiner und bei Unterhaltsarbeiten an einem Gleis kann auf dem anderen nur mit stark reduzierter Geschwindigkeit gefahren werden, wodurch der Betrieb und die Kapazität des Tunnels stark eingeschränkt werden.

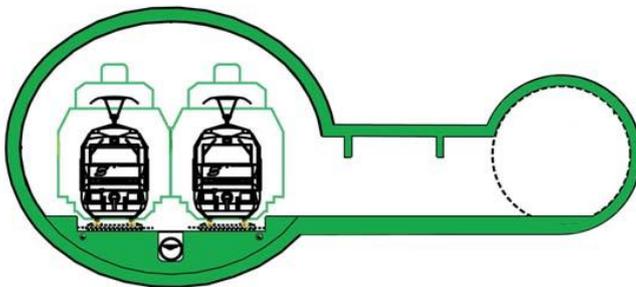


Abbildung 6: Doppelspurtunnel mit Sicherheitsstollen (D + S)

4.3.2 SYSTEM MIT ZWEI EINSPURRÖHREN

Eine Aufwertung erfährt das System hinsichtlich der Sicherheit vor allem durch die Multifunktionsstellen, welche zweckmäßig eingerichtete Nothaltestellen, Überleitstellen und bahn-dienstliche Einrichtungen aufweisen. Sollte ein brennender Zug außerhalb der Multifunktionsstellen im Tunnel stehen bleiben, können die Passagiere über die Querschläge in die gegenüberliegende Röhre gelangen.

²⁴ www.bbt-ewiv.com – 8.07.2007.

Auch aus finanzieller Sicht ist das System konkurrenzfähig, da es eine intensive Nutzung der erstellten unterirdischen Bauwerke mit zwei Einspurröhren vorsieht.

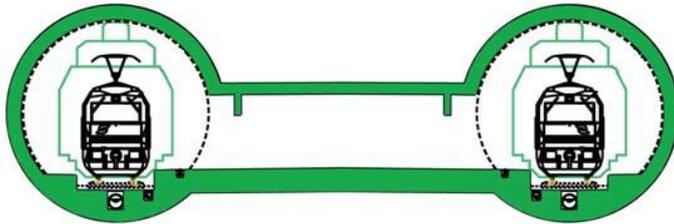


Abbildung 7: System mit zwei Einspurröhren (E + E)

4.3.3 SYSTEM MIT ZWEI EINSPURRÖHREN MIT SICHERHEITSTOLLEN

Hier wurde das zuvor genannte System mit einem Sicherheitsstollen ergänzt, dieser ist auf Tunnelniveau und zwischen den Tunnelröhren gelegen und bietet zudem die Möglichkeit eines Zugangs in die Tunnelröhren unabhängig vom Bahnbetrieb. Bei diesem System kann eine Personenrettung aus einer Röhre in den Sicherheitsstollen unabhängig von der zweiten Röhre erfolgen.

In der Bau- und Betriebsphase bietet der Sicherheitsstollen logistische Vorteile. Er kann zur Untersuchung des Gebirges genutzt werden und so die geologischen Risiken reduzieren.

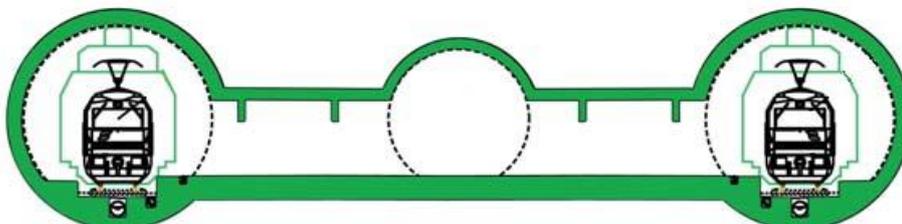


Abbildung 8: System mit zwei Einspurröhren mit Sicherheitsstollen (E + S + E)

4.3.4 SYSTEM MIT DREI EINSPURRÖHREN

Das System mit drei Einspurröhren geht im Wesentlichen davon aus, dass zwei dieser Röhren ständig in Betrieb sind und in der dritten Röhre Erhaltungsmaßnahmen erfolgen können. Da aus Erhaltungsgründen also eine teilweise Schließung von Tunnelröhren nicht erforderlich ist, können die in den Multifunktionsstellen vorgesehenen Überleitstellen entfallen. Das Ergebnis von Untersuchungen zeigt, dass die Mehrkosten für die dritte Röhre aus betrieblichen Gründen nicht gerechtfertigt sind. Aus Sicht der Sicherheit ergibt eine dritte Röhre keine relevante Verbesserung.

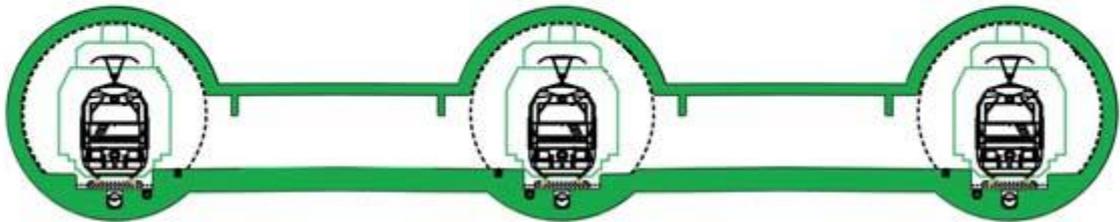


Abbildung 9: System mit drei Einspurröhren (E + E + E)

5 VORTRIEBSVERFAHREN IM TUNNELBAU

Entscheidend auf die Baustelleneinrichtung und auf die Logistik wirkt sich die Wahl des Vortriebsverfahrens aus, das wiederum nur von der Geologie des zu durchfahrenden Gesteins bzw. Gebirges abhängig ist. Von Bedeutung für den Baubetrieb sind hierbei die Standfestigkeit und die Lösbarkeit des Gebirges. Je nach Art und Beschaffenheit unterscheidet man folgende zwei Vortriebsmethoden, die entweder konventionell im Spreng- oder Bagger-vortrieb oder maschinell mit Tunnelvortriebsmaschinen durchgeführt werden.

- zyklischer (konventioneller) Vortrieb (Sprengvortrieb, Bagger, TSM)
- kontinuierlicher (maschineller) Vortrieb (TBM, SM).

In *Kapitel 4.1.2* wurde bereits ein kurzer historischer Rückblick auf die Entstehungsgeschichte der einzelnen Verfahren gelegt, nun werden diese näher betrachtet.

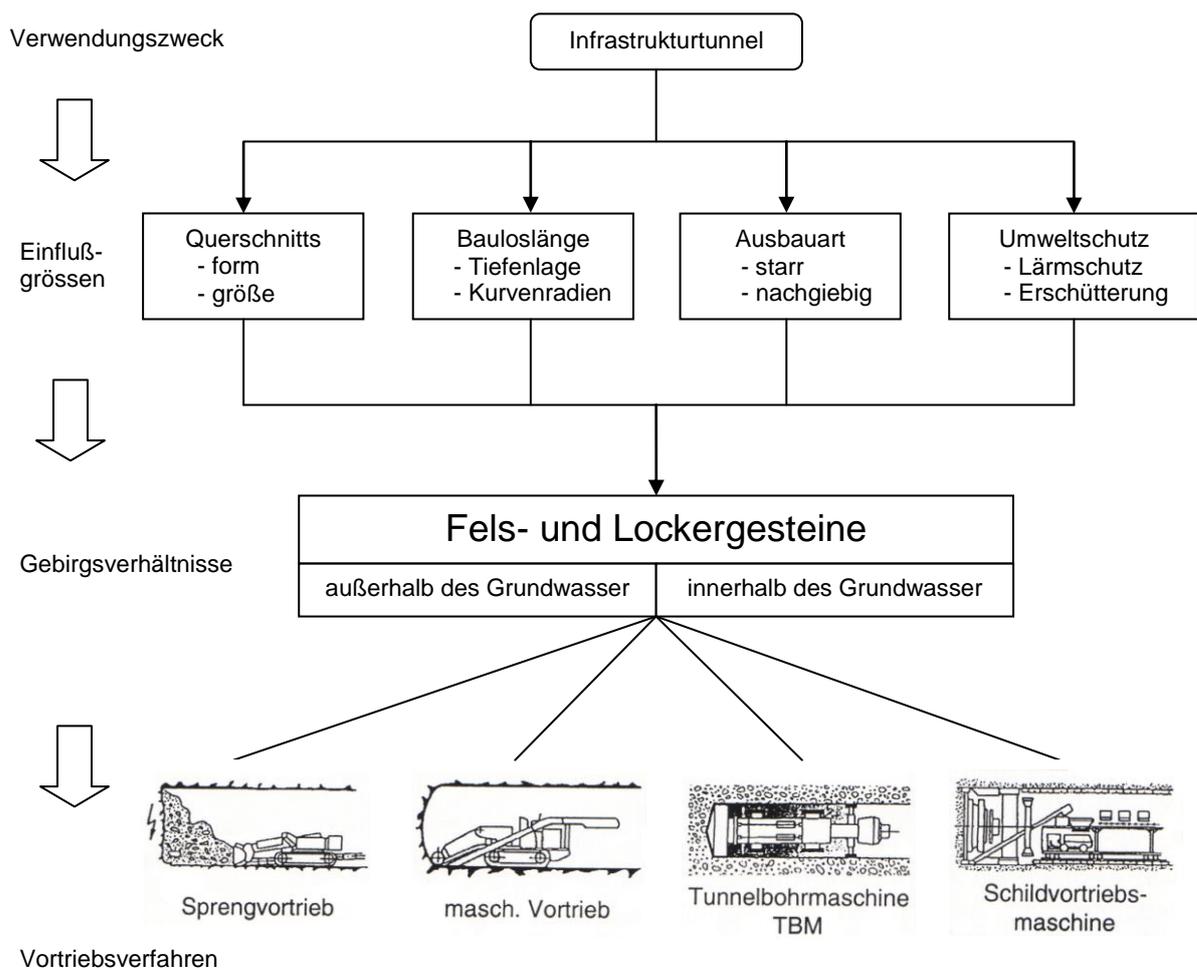


Abbildung 10: Wahl des Vortriebsverfahrens²⁵

²⁵ Girmscheid, 2000, S.68.

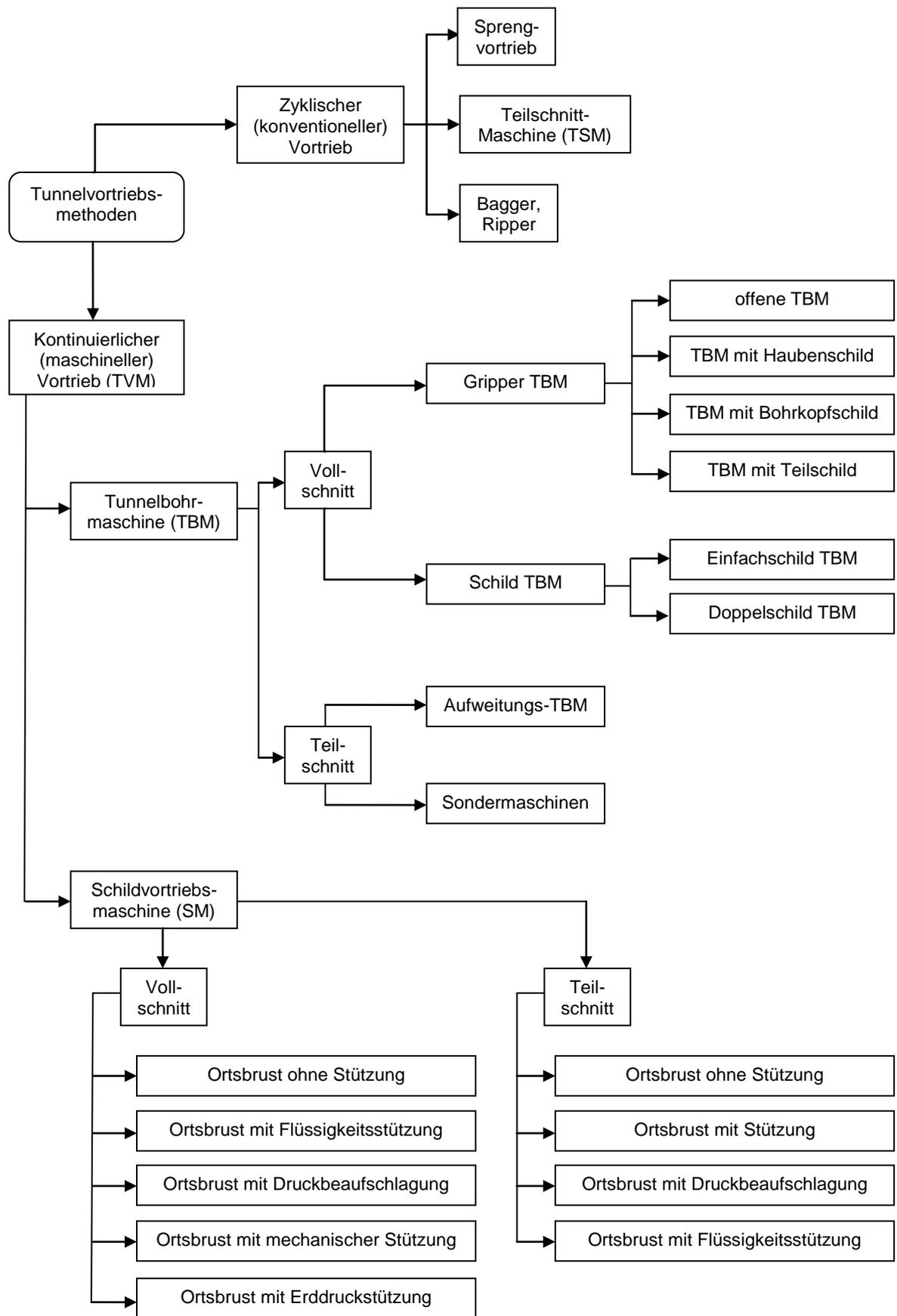


Abbildung 11: Einteilung der verschiedenen Tunnelvortriebsmaschinen²⁶

²⁶ Girmscheid, 2005, S.125.

5.1 VORTRIEBSVERFAHREN

5.1.1 ZYKLISCHER (KONVENTIONELLER) VORTRIEB

Der zyklische (konventionelle) Vortrieb beruht auf den Prinzipien der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (NÖT bzw. NATM, englisch). Diese, von *Ladislaus von Rabcewicz*²⁷ 1948 patentierte Methode, setzt die Verbundwirkung zwischen Gebirge und Bauwerk voraus, die durch rasches Aufbringen einer Spritzbetonschale auf die Laibung erreicht wird. Ziel ist es, die Eigenfestigkeit des Gebirges und dessen Fähigkeit als tragendes Element zu erhalten, die Ausbildung eines Gebirgstragringes - es handelt sich dabei um jenen Bereich um den ausgebrochenen Hohlraum in dem die auftretenden Spannungumlagerungen stattfinden - wird dabei noch unterstützt.

Sollten noch Auflockerungen im Gebirge stattfinden, kann man dem mit Hilfe von Stützmaßnahmen, wie dem Einbau von Baustahlgitter, Tunnelbögen oder systematischen Verankerungen entgegenwirken. Die eben aufgezählten Stützmittel bilden gemeinsam mit den oben bereits erwähnten Gebirgstragring einen elastischen Verbundkörper, der Druckumlagerungen und einen Spannungsabbau zulässt. Die Deformationskontrollen sollte auf keinen Fall außeracht genommen werden, da sich dadurch weitere Nachsicherungsmaßnahmen ergeben könnten.

Die Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und Schutterns finden zyklisch, also zeitlich nacheinander ausgeführt statt, daher auch die Bezeichnung des Vortriebsverfahrens als zyklisch (konventionell). Das Lösen des Gesteins an der Ortsbrust kann entweder durch Sprengen, Baggern, Schneiden oder in Kombination erfolgen.

Die nun folgenden Abbaumethoden eignen sich nur für kurze Tunnelbauprojekte, da sich der Einsatz von TVM wegen deren hohen Investitionskosten nicht wirtschaftlich rechtfertigen lässt (*Kapitel 5.1.2*). Besonders in den Vorbereitungsphasen der TVM – Montage wird auf den zyklisch (konventionellen) Vortrieb für die Herstellung der Montagekavernen oder das Auffahren des Startschachtes zurückgegriffen.

²⁷ Maidl, 1997, S.243.

5.1.1.1 SPRENGVORTRIEB

Die Leistungsfähigkeit im Sprengvortrieb hängt entscheidend von der Festigkeit des anstehenden Gesteins ab und durch neueste Entwicklungen in der Bohr- und Sprengtechnik konnte diese maßgeblich gesteigert werden.

Bei Fels mit mittlerer bis hoher Festigkeit werden mit Bohrwägen (dieselbetrieben und bereift) Löcher in die Ortsbrust gebohrt und diese anschließend mit Sprengstoff verfüllt. Nach Zünden der Ladungen und entsprechender Bewetterungsphase wird der Abraum geschuttert und mit den Sicherungs- bzw. Stützmaßnahmen begonnen. Die einzelnen Vorgänge wiederholen sich bei jedem Abschlag zyklisch.

Für das wirtschaftliche Lösen des Gebirges sind eine genaue Anordnung der Bohrlöcher und ein genaues Bohren wichtig. Die modernen Bohrgeräte sind hochtechnisiert, sodass auf jede Veränderung des Bohrvorganges schnell reagiert werden kann. Je nach Querschnittsgröße sind die Wägen mit einem oder mehreren Bohrarmen bestückt, mit den allseitig schwenkbaren Armen bzw. Lafetten kann jeder Punkt der Ortsbrust erreicht werden. CAD – erstellte Bohrbilder lassen sich in den Steuerungscomputer einlesen und die Bohrarme und Lafetten werden durch eine lasergesteuerte Positionierung automatisch an den Tunnelquerschnitt geführt.

Eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst die Wahl des Sprengstoffes. Die wichtigsten Einflussfaktoren stellen die Geologie, der Tunnelquerschnitt sowie behördliche Auflagen dar. In Österreich werden hauptsächlich gelatinöse Sprengstoffe und Emulsionssprengstoffe verwendet. Die wesentlichen Vorteile²⁸ des letztgenannten bestehen darin, dass dieser einen geringeren CO- und NO_x – Anteil in den Sprengschwaden und gute Wasserbeständigkeit aufweist. Im Gegensatz zum Sprengstoffladesystem erfolgt beim Sprengstoffmischsystem die Sensibilisierung zum Explosivstoff erst im Bohrloch und die zu lagernde Substanz stellt für die Umgebung keine Gefahr dar. Der gelatinöse Sprengstoff dient als Schlagpatrone für den als Hauptladung verwendeten Emulsionssprengstoff.

Im Gegensatz zu den folgenden TVM liegen im Sprengvortrieb bei langen Tunnelbauwerken noch keine fundierten Erfahrungswerte in Bezug auf Logistik vor, daher gilt es bei zunehmender Länge eine gleichbleibende Leistungsfähigkeit sicherzustellen.

Auf die Bewetterung und Sicherheit im Tunnelbau wird in jeweils einem eigenen Kapiteln 7.1 und 8 eingegangen und gesondert behandelt.

²⁸ Jodl, 2005, S.37.

5.1.1.2 BAGGERVORTRIEB

Der Tunnelvortrieb mittels Tunnelbagger kommt im Lockergestein und im Gebirge mit geringer Festigkeit zur Anwendung. Die Anforderung²⁹ an das Gerät sind besonders vielfältig:

- große Reichweite
- verbesserte Sicht aus der Führerkabine
- volle Schwenkbarkeit
- Möglichkeit zum Umbau auf Hydraulikhammer oder –meißel.

Der Hydraulikbagger ist mit einem Raupenfahrwerk und Tieflöffeln, mit Reißzähnen bestückt, ausgestattet. Für eine sinnvolle und wirtschaftliche Anwendung sind Kalottenquerschnitte von mindestens 20 m² erforderlich.

5.1.1.3 TEILSCHNITTMASCHINENVORTRIEB

Die Einsatzgrenze von Teilschnittmaschinen (TSM)³⁰ liegt bei Gesteinsfestigkeiten bis zu 120 N/mm². Sie kommen sowohl im Lockergestein und im Festgestein bis mittlerer Festigkeit zur Anwendung. Im Gegensatz zu Vollschnittmaschinen können sie jedem beliebigen Tunnelquerschnitt angepasst werden und stellen somit ein mobiles und flexibel anwendbares Abbauwerkzeug dar. Der Vortrieb erfolgt weitestgehend erschütterungsfrei und kommt deswegen in bebauten Gebieten (z.B. U – Bahn) vorteilhaft zur Anwendung.

Der Schrämvorgang erfolgt simultan mit der Schutterung des ausgebrochenen Haufwerks. Dabei muss eine genaue Abstimmung mit der in die TSM integrierte Lade- bzw. Fördereinrichtung stattfinden, damit genau soviel Material ausgebrochen wie geschuttert werden kann. Aufgrund der verschiedenen Eigenschaften hinsichtlich Gesteinsart, Korngröße, Kornverteilung und Konsistenz wurden verschiedene Ladesysteme für die Aufnahme des Gesteins entwickelt, u.a.

- Tieflöffel
- Ladeketten
- Hummerscheren.

²⁹ Jodl, 2005, S.37.

³⁰ Girmscheid, 2000, S.134.

Die hohe Staubentwicklung beim Abschrämen und der Schutterung muss in einem durchdachten Bewetterungskonzept berücksichtigt werden.

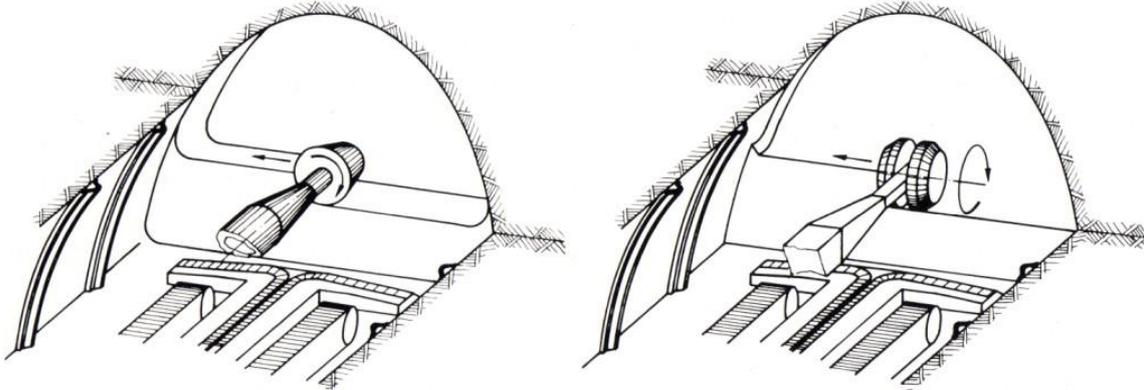


Abbildung 12: Schneidkopfvorrichtung bei Teilschnittmaschinen³¹

5.1.2 KONTINUIERLICHER (MASCHINELLER) VORTRIEB

Derzeit sind zahlreiche Tunnelgroßprojekte in der Planungs- bzw. Bauphase, aufgrund der hohen Anforderungen des Bauherrn hinsichtlich Termin- und Kostentreue sowie Risikominimierung kommt den Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) besonders hohe Bedeutung bei. Der sinnvoll wirtschaftliche Einsatz der TVM verlangt eine Mindestprojektlänge³² ab ca. 2 km, um die hohen Investitionskosten, die genaue Vorausplanung und die geologischen Untersuchungen zu rechtfertigen. Auch hinsichtlich der Tunneldurchmesser sind keine Grenzen mehr gesetzt, sodass sich Tunneldurchmesser bis zu 16 m realisieren lassen. Auch hinsichtlich der Vortriebsleistung kann der zyklische (konventionelle) Vortrieb mit den TVM nicht schritthalten, je nach Bodenbeschaffenheit erzielen die Maschinen bis zu 40 m Vortriebslänge pro Arbeitstag.

Die Tunnelvortriebsmaschinen lassen sich je nach Beschaffenheit des zu durchbohrenden Gesteins in Tunnelbohrmaschinen (TBM) für Hartgestein und Schildvortriebsmaschinen (SM) für Lockergestein unterscheiden. Weitere Einteilungen nach unterschiedlich anstehenden Bodeneigenschaften sind in *Tabelle 2* anschaulich dargestellt.

³¹ Jodl, 2005, S.39.

³² Girmscheid, 2005, S.124.

Voraussetzung für den Einsatz ist eine genaue Vorauserkundung der zu erwartenden Bodenklassen, damit man das Abbauwerkzeug, bestehend aus Rollmeißeln bzw. Disken, an das Gestein anpassen kann und so den Materialverschleiß und die dadurch eventuell resultierenden Ausfallzeiten möglichst gering halten kann. Durch die bereits erhaltenen Erfahrungswerte früherer Anwendungen kann es zu einer Optimierung im Einsatz kommen und so die hohen Wartungs- und Reparaturkosten nochmals reduzieren.

Ein weiterer technischer und wirtschaftlicher Vorteil ist die Realisierung eines ausgefeilten, an das Projekt angepassten, Nachläuferlogistiksystems, das den Hochleistungsvortrieb auf der Linienbaustelle von den Bau- und Transportprozessen trennt, sodass die Abläufe parallel ablaufen können. Nur durch eine projektspezifische Systemlogistik lassen sich die hohen Leistungen der TVM realisieren.

Für den Einsatz der TVM muss ein Teil des Tunnels konventionell aufgefahren werden, um die Montage der Vortriebsmaschine und deren Nachläufersysteme sicherzustellen.

5.1.2.1 TUNNELBOHRMASCHINEN (TBM)

Für den Einsatz einer Tunnelbohrmaschine³³ eignet sich Fels mit Gesteinsfestigkeit zwischen 50 und 300 MN/m² und nicht zu hoher Abrasivität, darunter versteht man die besondere Abnutzung der Werkzeuge durch Minerale mit hohem Härtegrad (z.B. Quarz). Der kreisförmige Vollausschlag zeichnet sich durch Profilgenauigkeit und gebirgsschonend aus.

Die Basiselemente einer TBM sind der Bohrkopf, der Bohrkopfträger mit den Antriebsmotoren (Elektro- oder Hydraulikmotor), der Geräterahmen und die Spann- und Vorschub-einrichtungen. Danach folgen die jeweiligen Steuermodule und der eine oder die mehreren Nachläufer. Insgesamt kann man die TBM in vier Systemgruppen³⁴ unterteilen.

- Bohrkopf: Der rotierende Bohrkopf ist mit Rollmeißeln bzw. Disken bestückt. Durch die Bewegung und den Anpressdruck der Maschine lösen sich an der Ortsbrust durch enorme Spaltzugspannungen längliche plattige Gesteinsstücke, sogenannte Chips, ab. Durch die enorme Staub- und Hitzeentwicklung muss eine Absaugung mit Entstaubung, ein Staubschild und eine Wasserbedüsung am Bohrkopf angeordnet werden.

³³ Girmscheid, 2005, S.127.

³⁴ Ebenda, S.137.

- Vorschub- und Abstützsystem: Eingeschränkt durch die örtlich vorhandenen Gesteinsfestigkeiten ergeben sich die maximal möglichen Verspann- und Vorschubkräfte. Dieses System beeinflusst die Bohrfortschritt sowie den Anpressdruck maßgeblich.
- Abfördersystem: Die Chips werden mit Räumern durch den Bohrkopf aufgenommen und über eine Übergabevorrichtung auf einen Stetigförderer gegeben. Um mit der Nachläuferlogistik nicht zu kollidieren oder die Vortriebsleistung zu minimieren, ist ein leitungsfähiges Schutterungssystem (*Kapitel 6.3.1*) zu wählen.
- Sicherungssystem: Um beim Durchfahren von Störzonen Mensch und Maschine vor nachbrüchigen Gesteinskörpern zu schützen, ist es neben dem im Nachläufer angeordneten Sicherungssystem auch möglich direkt hinter dem Bohrkopf Bohrlafetten anzuordnen, um das Setzen von Ankern und Spießern zu ermöglichen. Ebenfalls ist die Anordnung von Spritzbetonmanipulatoren möglich, der Rückprall des Betons ist aber als Arbeiterschwernis zu werten, da die notwendige Schutterung, sowie die erforderlichen temporären Ausbaumaßnahmen, die Ausbauleistung mindern oder sogar Stoppen können.

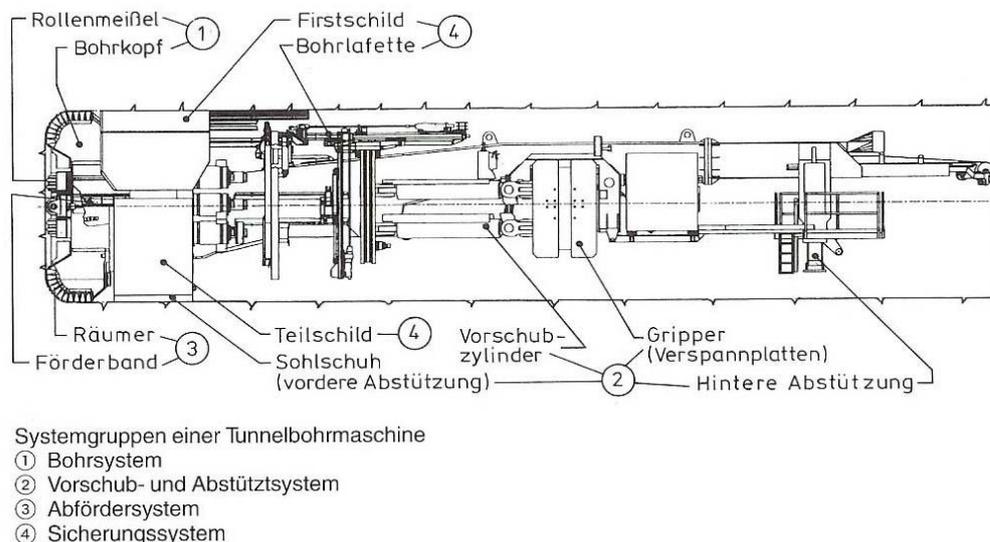


Abbildung 13: Systemgruppen einer Tunnelbohrmaschine³⁵

³⁵ Maidl, 2002, S.16.

Tunnelbohrmaschinen können heute wie folgt unterschieden werden:

- Gripper – TBM
- Aufweitungs – TBM
- Schild – TBM
- Teleskopschild – TBM
- Doppelschild – TBM
- und Verspannmantel – TBM.

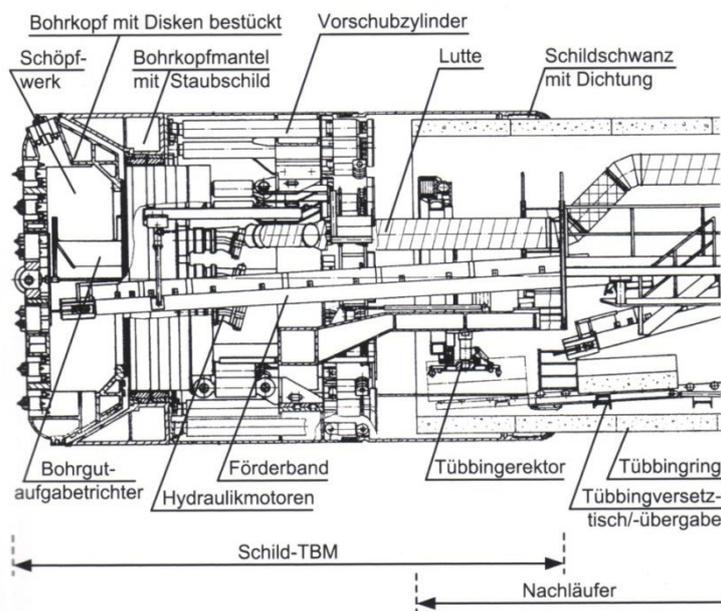


Abbildung 14: Einfachschild – TBM³⁶

5.1.2.2 SCHILDVORTRIEBSMASCHINEN (SM)

Schildvortriebsmaschinen werden zum Abbau von Lockergesteinsböden, die entweder im oder außerhalb des Grund- oder Schichtwassers liegen, oder für weichplastische Böden verwendet. Die Sicherung von Mannschaft und Gerät vor hereinbrechendem Material (geringe Standzeit der Ortsbrust) übernimmt hierbei ein Schild. Diese Geräte werden als Schildmaschinen (SM) bezeichnet, deren Hauptaufgaben³⁷ sind:

- Stützung der Ortsbrust
- Minimierung möglicher Setzungen

³⁶ Girmscheid, 2000, S.409.

³⁷ Maidl, 1995, S.2.

- Abbau des Bodenmaterials und Steuerung der SM auf der projektierten Trasse
- wirtschaftlich und technisch sicherer Hohlraumausbau im Schutze des Schildschwanzes.

Nachdem der Schildmantel gegen das Hereinbrechen der Tunnelwandung schützt, müssen zusätzliche Stützmaßnahmen in Abhängigkeit der Boden- und Grundwasserverhältnisse an der Ortsbrust vorgenommen werden. Wir unterscheiden fünf unterschiedliche Methoden zur Stabilisierung der Ortsbrust³⁸:

- natürliche Stützung
- mechanische Stützung
- Druckluftstützung
- Flüssigkeitsstützung
- Erdstützung.

Für die Schutterung stehen unterschiedliche Fördersysteme zur Verfügung, mit denen der gelöste Boden von der Ortsbrust aus dem Tunnel verführt wird. Die Auswahl des Fördersystems steht im direkten Zusammenhang mit der Konsistenz des gelösten Erdreichs und der daraus resultierenden Art von Ortsbruststützung und Abbaumethode.

Aus den vielfältigen Möglichkeiten von entwickelten und erprobten Fördersystemen leiten sich im Wesentlichen drei Arten³⁹ ab:

- Trockenförderung: erfolgt außerhalb des Grundwassers bei natürlichem Wassergehalt. Kontinuierlicher Austrag mittels Band- oder Kettenförderers
- Flüssigförderung: im wasserführenden, nicht standfesten Böden. Kontinuierlicher, hydraulischer Austrag bei SM mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust
- Dickstoffförderung: translatorischer Austrag mit Förderschnecken bei SM mit erddruckgestützter Ortsbrust.

Die jeweilige Fördermenge hängt von der Vortriebsgeschwindigkeit der SM ab, daher leitet sich die Dimensionierung des Fördersystems von der Maximalleistung der Maschine ab. Alle nachgeschalteten Betriebsanlagen für die Materialförderung müssen mindestens die gleiche oder eine höhere Leistung erbringen, damit die SM mit maximaler Leistung bzw. höchster Vortriebsgeschwindigkeit arbeiten kann.

³⁸ Maidl, 1995, S.3.

³⁹ Ebenda, S.100.

Von einem weiteres Einteilen bzw. Unterteilen der TVM wird in dieser Arbeit Abstand genommen, da es nicht Hauptbestandteil der Arbeit ist und in der weiterführenden Fachliteratur genauer darauf eingegangen wird.

Baugrund	Fels/Festgestein		Boden/Lockergestein			
	standfest bis nachbrüchig	nachbrüchig bis gebräch	bindig, standfest	bindig, nicht standfest	Wechsel-lagerung	nicht bindig
Druckfestigkeit σ_D [MN/m ²]	300 ± 50	50 ± 5	1	0.1		
Zugfestigkeit σ_z [MN/m ²]	25 ± 5	5 ± 0.5				
RQD – Wert [%]	100 ± 50	50 ± 10				
Kluftabstand [m]	> 2 ± 0.6	0.06				
Kohäsion c_U [KN/m ²]			≥ 30	25 - 30	25 - 30	

TBM	o.W.						
	m.W.						
TBM – S mit Schild	o.W.						
	m.W.						
SM – V1 ohne Stützung	o.W.						
	m.W.						
SM – V2 mechan. Stützung	o.W.						
	m.W.						
SM – V3 Druckluftstützung	o.W.						
	m.W.						
SM – V4 Flüssigkeitsstütz.	o.W.						
	m.W.						
SM – V5 Erddruckstützung	o.W.						
	m.W.						
SM – T1 ohne Stützung	o.W.						
	m.W.						
SM – T2 Teilstützung	o.W.						
	m.W.						
SM – T3 Druckluftstützung	o.W.						
	m.W.						
SM – T4 Flüssigkeitsstütz.	o.W.						
	m.W.						
Abbauwerkzeuge	V	rollend (Diskenmeißel)	rollend (Diskenmeißel)	schälend (Flachmeißel)	schälend (Flachmeißel)	Lösend/schälend	lösend (Stichel)
	T	ritzend (Spitzmeißel)	rollend (Diskenmeißel)	rollend (Diskenmeißel)	schälend (Flachmeißel)	schälend (Flachmeißel)	lösend (Stichel)

V = Vollschnittmaschine
T = Teilschnittmaschine

o.W. = Ohne Grund- bzw. Schichtwasser
m.W. = Ohne Grund- bzw. Schichtwasser

Haupteinsatzbereich
 Einsatz möglich

Tabelle 2: Einsatzbereiche von Tunnelvortriebsmaschinen⁴⁰

⁴⁰ Girmscheid, 2005, S.126.

Vortriebsart	Vortriebsklasse	Merkmale
TBM		Für die Einteilung der Vortriebsklassen bei TBM sind Art und Umfang der Sicherung und der Einbauort sowie die Einbaufolge und die daraus resultierenden Behinderungen des Lösens im Vollschnitt entscheidend.
	TBM 1	Ausbruch, der keine Sicherung erfordert.
	TBM 2	Ausbruch, der eine Sicherung erfordert, deren Einbau das Lösen nicht behindert.
	TBM 3	Ausbruch, der eine Sicherung im Maschinenbereich unmittelbar hinter dem Bohrkopf erfordert, deren Einbau das Lösen nicht behindert.
	TBM 4	Ausbruch, deren Sicherung im Maschinenbereich unmittelbar hinter dem Bohrkopf erfordert, für deren Einbau das Lösen unterbrochen werden muss.
	TBM 5	Ausbruch, der Maßnahmen besonderer Art erfordert, für deren Durchführung das Lösen unterbrochen werden muss.
SM		Für die Einteilung der Vortriebsklassen bei SM sind Art der Ortsbruststützung und das nicht behinderte bzw. behinderte Lösen entscheidend. Einbringen der vorläufigen oder endgültigen Sicherung als geschlossener Ring im Schutze des Schildes. Umstellen der Verfahrenstechnik ist nicht generell möglich.
	SM – V1	Ausbruch, ohne Stützung der Ortsbrust, bei dem das Lösen nicht behindert wird.
	SM – V2	Ausbruch mit mechanisch teil- oder vollgestützter Ortsbrust, bei dem das Lösen nicht behindert wird.
	SM – V3	Ausbruch mit durch Druckluft vollgestützter Ortsbrust, bei dem das Lösen nicht behindert wird.
	SM – V4	Ausbruch mit durch Flüssigkeit vollgestützter Ortsbrust, bei dem das Lösen nicht behindert wird.
	SM – V5	Ausbruch mit durch Erdbrei vollgestützter Ortsbrust, bei dem das Lösen nicht behindert wird. Ausbruch, der Maßnahmen besonderer Art mit behinderndem Einfluss auf das Lösen erfordert, ist bei der projektbezogenen Klassifizierung durch eine weitere Unterteilung in Unterklassen zu erfassen.

Tabelle 3: Vortriebsklassen für TBM und SM⁴¹⁴¹ Maidl, 2001, S.227.

5.1.3 NACHLÄUFERSYSTEME VON TVM

Das Nachläufersystem kann als Herzstück (Logistikzentrum) des TVM – Vortriebes bezeichnet werden, durch die hohen Investitionskosten lassen sich die technischen und wirtschaftlichen Vorteile erst durch ein baubetrieblich gutdurchdachtes Ver- und Entsorgungssystem projektspezifisch realisieren⁴². D.h., dass die Systemlogistik des Nachläufers auf die dementsprechende Randbedingungen des Bauprojektes ausgelegt werden müssen, um die hohen Leistungen der TVM sicherzustellen. Die Ziele der Industrialisierung der parallel ablaufenden rückwärtigen Tätigkeiten⁴³ lauten:

- Trennung der linearen Transportflüsse
- Trennung der Funktionsbereiche von den Transportflüssen
- Trennung der Unterstützungsinfrastruktur der Maschine von den Transportflüssen und Funktionsbereichen.

Das Ziel ist die Gestaltung der Arbeitsprozesse, dass sie ohne Unterbrechung gleichzeitig und zyklisch ablaufen können. Der Nachläufer kann in folgende Bereiche unterteilt werden:

- Logistikeinheit
 - Träger der Ausrüstung zur Felssicherung
 - Träger der gesamten elektrischen und hydraulischen Anlagen
 - Bedienungs- und Steuerkonsole
 - Träger der Entstaubungs- und Belüftungsanlage
 - Träger zur Übergabe und Speicherung des Ausbruchmaterials.
- Funktionsbereiche
 - Vortriebszone und primäre und sekundäre Felssicherung
 - Bereich für den Dichtungs- und Sohleinbau
 - Materialübergabebereich
 - Bereich der Infrastruktur der elektrischen und mechanischen Anlagen.

Weiterführend dient der Nachläufer als Träger für Motoren, Pumpen, Wasserschläuche, Ausbruchförderband, Luftkanal, Entstaubungsanlage, Luttenspeicher für ununterbrochene Verlängerung, Magazin-, Sicherheits-, Mannschafts- und Bürocontainer.

Für die Planung, Gestaltung und Entwicklung eines Nachläufersystems ist u.a. das Transportkonzept für die Ver- und Entsorgung (Logistik) festzulegen. Die Definition des projektspezifischen Transportkonzeptes erfolgt auf Grundlage der vorgegebenen Eckdaten

⁴² Girmscheid, 2005, S.166.

⁴³ Ebenda, S.167.

und der Ver- und Entsorgungsorganisation pro Zyklus. Dabei muss der kritische Weg pro Zyklus bestimmt werden.

	Versorgung	Entsorgung	Belüftung & Entstaubung	Vermessung	Sicherheit
Infrastruktur	- Gleis - Leitung - Kabel - Lutten - Werkzeuge	- Bergwasser - Staub - Schlamm - Wärme	- Dieselfahrzeuge - Gebirgstemperatur - nachgeschaltete Baustellen	- Freiraum für Lasergassen	- Gaswarnanlage - Brandbekämpfung - Rettungsgeräte
Energieversorgung	- Strom - Wasser - Luft - Treibstoff - Schmiermittel				
Konstruktion	- Stahlbögen - Tübbinge - Spritzbeton - Anker - Beton				

Tabelle 4: Aspekte für den Entwurf von Nachläufersystemen⁴⁴

Die Länge ist natürlich abhängig vom Umfang und Art der Hilfseinrichtungen und von der Länge der Materialübergangszone, in der Regel aber ungefähr rund 250 Meter lang. Dabei wird die Nachläuferkonstruktion⁴⁵ als kompakte Schlitten oder als gleisgebundener Portalrahmen ausgebildet. Letzterer besteht meistens aus einzelnen, miteinander gekoppelten Wageneinheiten von 5 bis 15 m Länge. Die Nachläufer werden meist mit Zugstangen von der TVM nachgezogen, nur bei extrem schweren Wagen oder in Schrägschächten verwendet man separate Schreitwerke.

Die Wageneinheiten sind in der Regel gleisgebunden, wobei die Schienen je nach Platzbedarf und Sohleinbau wie folgt angeordnet sind:

- im Sohlbereich bei großen Querschnitten
- Aufhängung im Kämpferbereich bei kleinen Querschnitten.

⁴⁴ Girmscheid, 2005, S.169.

⁴⁵ Vgl. Ebenda.

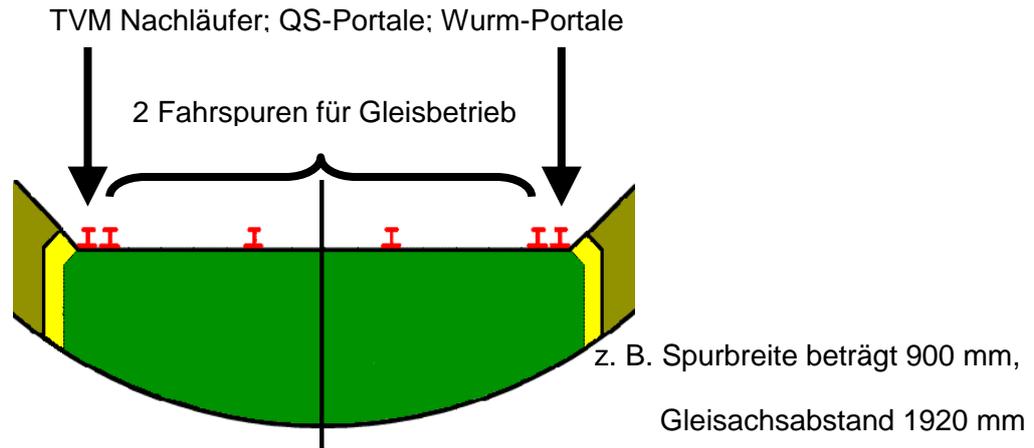


Abbildung 15: Nachläufer

oben Gleisbetrieb bei TVM – Vortrieb und Nachläuferbetrieb und bei großem Ausbruchquerschnitt⁴⁶; unten Arbeitsbereiche von TVM's⁴⁷

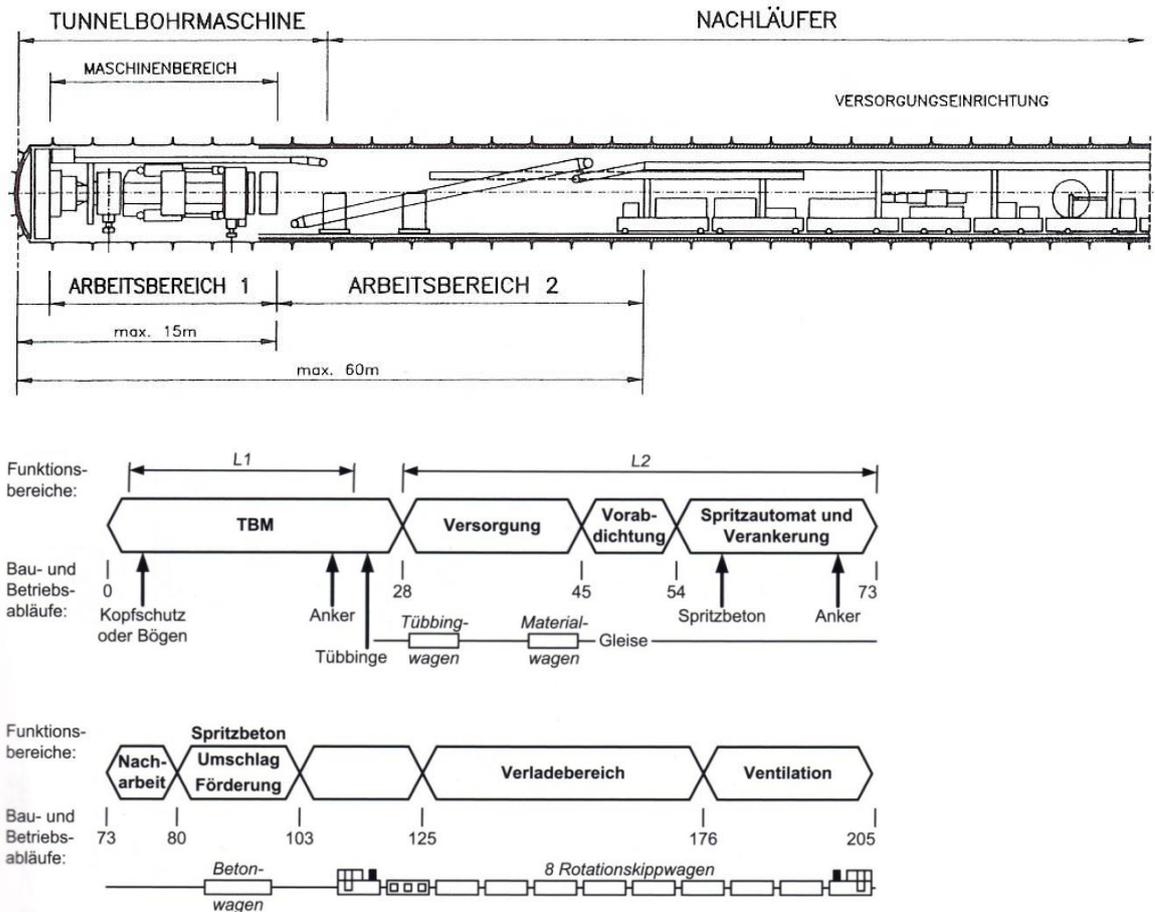


Abbildung 16: Funktionsbereiche eines Gripper – TBM Nachläufersystems mit Sohlübbing⁴⁸

⁴⁶ Baggenstos, 2007, S.5.

⁴⁷ Maidl, 2001, S.235.

⁴⁸ Girmscheid, 2000, S.428.

Grundsätzlich ist hängt die Länge des Nachläufers von der Art des Abtransportes des Abbaumaterials im Tunnel ab, näheres in *Kapitel 6.3.1*. Beim Förderbandtransport wird der Nachläufer wesentlich kürzer, da ein kontinuierlicher Transport während des Bohrvorganges erfolgt. Ebenfalls wird die Länge durch den Ausbau der Sohle bestimmt, weil der effiziente An- und Abtransport des Materials eine ebene Fahrbahn bedingt. Daher erfolgt der Einbau der Sohle meist zwischen dem vorderen Sicherungsnachläufer und dem hinteren Verladenachläufer.

Wir betrachten im folgenden Abschnitt den unterschiedlichen Aufbau⁴⁹ einer Gripper – TBM und einer Schild – TBM.

Die Nachläufer der Gripper – TBM müssen so gestaltet sein, dass sie den flexiblen und adaptiven Anforderungen an den Sicherungseinbau entsprechend den angetroffenen Gebirgsverhältnissen gerecht werden. Darum sind die Nachläufer entsprechend länger als die der Schild – TBM, da die mechanischen Hilfseinrichtungen für die flexiblen Sicherungsmaßnahmen während des Vortriebes auf dem Nachläufer angebracht sind. Die Länge des Versorgungs- und Steuerungsbereiches ergibt sich aus der maximalen Vortriebsleistung notwendigen Materialverbrauchs für die Erstsicherung und dem Transportzyklus der Nachschubzüge. Der Umschlagsbereich für Spritzbeton sowie der Belüftungs- und Energieanschlussbereiche ergeben sich u.a. aus der Größe des Betontransportwagens, des Luttspeichers und der Elektrokabeltrommel.

Im Schutze des Schildschwanzes werden bei der Schild – TBM die Tübbingringe zur Sicherung eingebaut, daher entfallen Vorabdichtung, Ausbruchssicherung und der Ausbau bei einschaliger Bauweise.

Die Nachläufer einer SM unterscheiden sich wesentlich von den Nachläufern der TBM. Wie bei der Schild – TBM werden auch bei der SM die Tübbinge im Schutze des Schildschwanzes eingebaut. Daher können die Sicherungsmaßnahmen und damit die maschinellen Einrichtungen entfallen. Bei den Nachläufern im Schildvortrieb muss man folgende Unterscheidungen treffen:

- Trocken- oder Dickstoffförderung
- Flüssigförderung.

⁴⁹ Girmscheid, 2005, S.169.

Ein solches Nachläufersystem kann aus zwei oder mehreren Einzelwagen aufgebaut sein:

- Nachläufer 1: Leistungsversorgung der Vortriebsmaschine, Tübbingzufuhr und Magazinierung, Bereitstellung und Zufuhr von Verpressmörtel oder Bentonitsuspension, Steuerkabine und Installationen für Förder- und Speisekreislauf
- Nachläufer 2: Mörtelpumpe, Hydrauliktank, diverse Pumpe, Ladeförderband; bei Gleisbetrieb weiters Kranbahn für Gleislegekran und Schleppgleis mit hydraulischer Hebeeinrichtung für Gleisverlängerung
- Nachläufer 3: u.a. Elektroschränke, Ladeförderband
- Nachläufer 4: u.a. Luttenspeicher, Hauptstromkabelrolle, Aufnahmeeinrichtung, Förderband mit Beladestelle für den Tunneltransport.

Zuletzt erfolgt noch die Erläuterung der Übergabebrücke beim zyklischen (konventionellen) Vortrieb. Eine aufgehängte Bühne (Hängebühnen) dient zur Unterbringung aller Infrastrukturaufbauten, wie Druckluft-, Wasser-, Luftversorgungs- und Kühlungsanlagen. Sie halten gleichmäßigen Abstand zur Brecheranlage, welche das gebrochene Material auf das am Nachläufersystem installierte Schleppband übergeben. Die gesamte Konstruktion wird mittels hydraulischer Vorschubeinheit vorgefahren und bei großen Querschnitten kann die Hängebühne jederzeit von sämtlichen Fahrzeugtypen unterfahren werden. Die gesamte Anlage ist mit den notwendigen Schutzeinrichtungen (Aufenthalts- und Sicherheitscontainer) für Personal und mit den notwendigen Kommunikationssystemen⁵⁰ ausgestattet.

Durch das Nachläufersystem kann die Leistung des Sprengvortriebes erheblich gesteigert werden. Der Einsatz von zwei ineinandergreifenden Nachläufern, der Infrastrukturhängebrücke und einer zweiten leichten Schnellläuferbühne hat sich beim Hochleistungssprengbetrieb bewährt.

5.2 VORTRIEBSSICHERUNG – SICHERUNGS- UND STÜTZMAßNAHMEN

„So gut die geologische Erkundung für den Tunnel auch immer erfolgen mag, in einem mehr oder minder großen Restbereich bleibt der TVM – Vortrieb eine Fahrt ins Ungewisse. Bekannte Störzonen, vermutete und vor allem unbekannte geologische Verhältnisse führen

⁵⁰ Brux, 2005, S.199.

zu Unsicherheiten, welche im Falle des plötzlichen Anfahrens oft beachtlichen Vortriebsunterbrechungen verbunden sind.“⁵¹

TVM werden daher schon werksseitig mit einer Bohrausrüstung gefertigt:

- Erkundungsbohrungen
- Entwässerungsbohrungen (siehe *Kapitel 9.2.2*)
- Einrichtungen zur Gebirgsverbesserung.

Die Ausbruchssicherung muss mit geeigneten Mitteln zeitgerecht eingebaut werden, um die Festigkeit des Gebirges zu erhalten und die Tunnelmannschaft samt ihren Geräten vor herabfallendem Gestein schützen. Die Maßnahmen zur Gebirgssicherung hängen vom Zustand des Gebirges ab, d.h. durch die Klassifizierung des Zustandes in die Festigkeitsklassen bzw. Vortriebsklassen. (*ANHANG*)

Die systematische Ausbruchssicherung im Maschinenbereich soll sofort die Aufgabe der Gebirgsstützung übernehmen können.

Wir unterscheiden hier zwischen zwei Arten der Ausbruchssicherung (Außenschale):

- Tübbingauskleidung (*Kapitel 6.3.3.2*)
- Spritzbetonsicherung.

Im Folgenden befasst sich dieses Kapitel nur mit der Spritzbetonsicherung und die dazugehörigen Stahleinbauten.

Es besteht entweder die Möglichkeit die Sicherung gleich nach dem Bohrkopf anzubringen oder erst im Nachläuferbereich⁵². Die unmittelbare Sicherung im Maschinenbereich kann durch das Lösen und Neuverspannen der TVM – Gripper die versiegelte Ausbruchsfläche erheblich schädigen. Beim Spritzbetonauftrag im Nachläuferbereich ist der angestrebte Verbund zwischen Gebirge – Spritzbeton durch den zeitlich späten Auftrag bei weitem nicht mehr zu erreichen. Die vielen Spannungswechsel der Gripperplatten führen oft zu Absprengungen des Gesteins und so zu einem Auftragen des Spritzbetons auf lose Gesteinsschichten.

Stahleinbauten aus Walzprofilen oder Gitterträger werden unmittelbar nach dem Ausbruch, vor allem in nachbrüchigem, nicht standfestem und druckhaftem Gebirge zur sofortigen Abstützung des Gebirges verwendet. Um eine sofortige Tragfähigkeit (Normalkräfte und

⁵¹ Maidl, 2001, S.114.

⁵² Ebenda, S.228.

Biegebeanspruchungen) der Bögen zu erreichen, ist die Fußausbildung so zu gestalten, dass die resultierenden Kräften unmittelbar in den Boden übertragen werden.

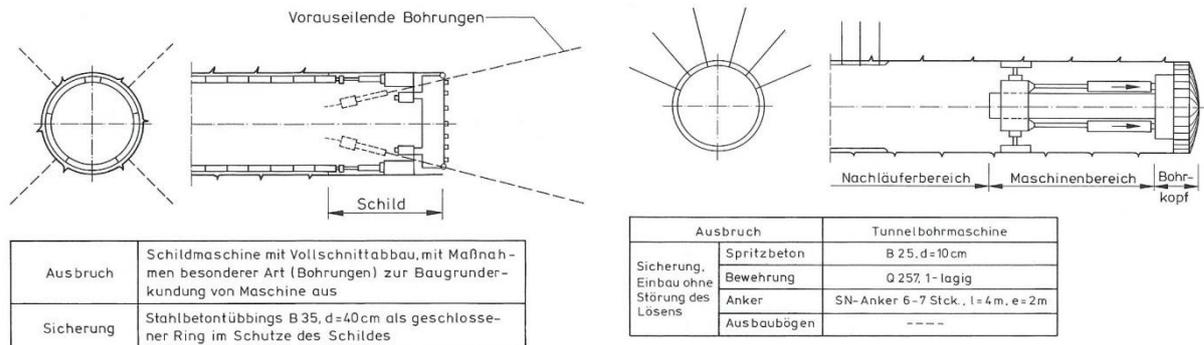


Abbildung 17: Sicherungskonzepte⁵³

links Beispiel für SM – Vortriebsklasse

rechts Beispiel für TBM – Vortriebsklasse

Eine weitere Sicherungsart stellt der Einbau von Verbundankern dar, sie können entweder dauerhaft oder nur temporär versetzt werden. Bei der Dimensionierung ist neben der Ankerdichte besonders auf eine ausreichende Ankerlänge zu achten, um eine möglichst große Tragwirkung zu erzielen. Die Wirkungsmechanismen können nach ihrem Tragverhalten in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Einzelankerung: Anheften einzelner Gesteinsblöcke (Sargnagel) oder Gesteinspakete.
- Mehrfachankerung: Verhinderung von Bergschlägen (Verdübelung), Erhöhung der aufnehmbaren Scherkräfte.
- Systemverankerung: Ausbildung eines Gebirgstragringes in Zusammenhang mit Spritzbeton, Druckvorspannung des Gebirges um den Hohlraum.

⁵³ Maidl, 2001, S.228.

Ankersystem/Ankertyp	Tragwirkung		Dauerhaftigkeit
	generell	zeitlich	
Vollverbundanker schlaff			
Mörtelanker	gut	oft zu spät	brauchbar – schlecht
GFK – Harzanker	gut	meist gut	gut – optimal
Freispielanker schlaff			
Rohrreibanker (Swelllex)	gut	gut	schlecht
Freispielanker verspannt			
Spreizanker	schlecht	sofort	sehr schlecht
Spreizanker GFK	schlecht	tragend	schlecht
Freispielanker verspannt mit nachträglichem Vollverbund			
Mörtelanker mit Beschleuniger im Bohrloch tiefst	gut	meist zu spät	brauchbar
Spreizanker mit nachträglicher Harzinjektion			
Stahl	gut	gut	gut
GFK	gut	gut	gut

Tabelle 5: Ankersysteme bei Verwendung im TBM – Vortrieb⁵⁴

Oft ist zu beobachten, dass die Anker die erwünschte Haltekraft⁵⁵ bzw. den notwendigen Verbund nicht erwirken. Gründe hierfür sind vielfältig, da der Ankertyp und/oder seine Ausführung dem Gebirge entsprechend gewählt wurde.

Probleme bestehen aus

- nicht angepasste Wahl des Bohrlochdurchmessers
- nicht standfeste Bohrlöcher
- unzureichend verfüllt.

Bei Kombinationen von Ankern mit Stahlbögen ist insbesondere der Dauerhaftigkeit der Anker große Beachtung zu schenken. Einzelne gebrochene Anker, die durch Korrosion der Tragwirkung beraubt werden, können zu zusätzlichen Belastungen der Sicherung führen.

Spieße werden vorausseilend, d.h. vor dem Ausbruch in das aufzufahrende Gebirge eingebracht. Haupteinsatzbereich für diese Methode ist bevorzugt der Sprengvortrieb. Spieße bestehen aus Stabstahl (Ø 25 mm) oder aus Stahlrohren (DN 38) und werden in nachbrüchigem und gebrächem Gebirge versetzt.

⁵⁴ Maidl, 2001, S.144.

⁵⁵ Ebenda, S.143.

6 TRANSPORT

Die Sicherstellung der reibungslosen Ver- und Entsorgung der einzelnen Baustellen innerhalb des Tunnels bestimmt maßgeblich den Vortriebserfolg. Durch die erheblichen Bauloslängen von bis zu 15 Kilometern muss der Transport über den Tunnelquerschnitt erfolgen. Hier bieten sich drei unterschiedliche Systeme⁵⁶ an:

- gleisloser Betrieb (Pneubetrieb)
- gleisgebundener Betrieb (Gleisbetrieb)
- Bandanlagen.

Im folgenden Kapitel zeigt sich, dass der gleislose Betrieb (Pneubetrieb) ab 2.5 Kilometern wirtschaftlich nicht mehr rentabel durchzuführen ist. Gründe hierfür sind die große Anzahl der Muldenkipper für den Abtransport und die nicht mehr ausreichende Frischluftzufuhr. Für jedes kW – Leistung eines LKW's muss eine Frischluftmenge von mindestens $4 \text{ m}^3/\text{min}\cdot\text{kW}$ ⁵⁷ sichergestellt werden.

Der schienenengebundene Antransport der Betriebsmittel und der bandgebundenen Abtransport des Ausbruchmaterials stellt eine besonders effiziente Lösung zur räumlichen und zeitlichen Entkopplung der beiden Materialströme dar.

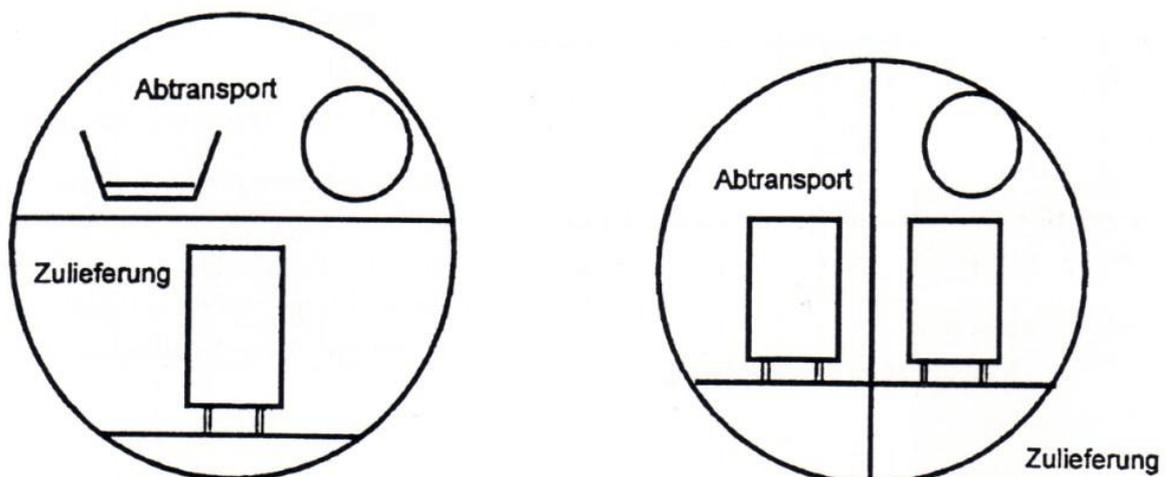


Abbildung 18: Trennung des Materialtransport in horizontale und vertikale Flüsse⁵⁸

⁵⁶ Maidl, 2004, S.241.

⁵⁷ Bauarbeiterschutzverordnung (BauV), 1994, S.40.

⁵⁸ Girmscheid, 2000, S.259.

Da Infrastrukturtunnel wegen des Sicherheitsaspektes nun vermehrt zweiröhrig (*Abbildung 7*) vorangetrieben werden, kann man die Bandschutterung auch gänzlich in nur einer Röhre durchführen, wobei das Abbaumaterial des zweiten parallelen vorgetriebenen Tunnels über die letzten beiden ausgebrochenen Querschläge auf das Hauptförderband gelangt. Zweckmäßig erscheint auch die Herstellung eines Schutterstollens⁵⁹ (z.B. Wienerwaldtunnel oder Gotthard – Basistunnel), um das Abbaumaterial nicht über die ganze Tunnellänge fördern zu müssen und dadurch weitere Verzögerungen u.a. bei den Querschlagsdurchbrüchen oder beim Innenschalenausbau zu vermeiden.

6.1 ARTEN DES TRANSPORTES

Eine weitere Unterscheidung der Transportsysteme⁶⁰ erfolgt hinsichtlich ihres

- Fahrwerks (siehe oben)
- Antriebes (Diesel-, Elektro-, Hydraulikantrieb)
- Entleerungsform (Seiten- und Hinterkipper, Rotations- und Bodenentleerung).

6.1.1.1 GLEISLOSER BETRIEB

Der gleislose oder Pneubetrieb kommt wegen der benötigten ebenen Fahrbahn nur im zyklischen (konventionellen) Vortrieb zur Anwendung. Hier erweist er sich nur bei kurzen Tunnelbauwerken zweckmäßig, da ein Abtransport des Materials per Muldenkipper alleine durch deren Anzahl und im weiteren Sinne durch die kW – Leistung, eine wirtschaftliche Bewetterung unmöglich macht. Durch beengte Verhältnisse und daher niedrigeren Geschwindigkeiten genügt eine Motorleistung von 4 – 5 kW/to je beladenen Fahrzeuges⁶¹. Eine Alternative wäre der Antrieb mit einem Elektromotor, der jedoch nur unter bestimmten Bedingungen, wie Arbeiten unter Druckluft oder eingeschränkter Bewetterung, wirtschaftlich einsetzbar ist. Im Vergleich zum Dieselantrieb verliert er an Mobilität und ist in Anschaffung und Unterhalt wesentlich teurer.

Erst bei Ausbruchquerschnitten ab 20 m² wird der gleislose Betrieb mit radgebundenen Fahrzeugen betrieben. Ein Hauptkriterium ist, dass zwei Radfahrzeuge ungehindert aneinander (Breite von 7 – 8 m) vorbeifahren können, ansonsten müssen in regelmäßigen

⁵⁹ Diewald, 2007, S.4.

⁶⁰ Maidl, 2004, S.241.

⁶¹ Ebenda, S.242.

Abständen Ausweichnissen angeordnet werden. Weiters muss ein seitlicher Sicherheitsabstand zum Fußweg (Breite 1 m) sichergestellt werden.

Kriterien und Vorteile für eine sinnvolle Nutzung sind⁶²:

- hohe Flexibilität
- ständige Zufahrt zur Ortsbrust
- dichte Fahrzeugabfolge (kurzer Bremsweg, Fahren auf Sicht)
- Steigungen bis 20%, im Extremfall bis 35%
- Fahrgeschwindigkeiten bis 20 km/h
- Kurvengängigkeit und Wendigkeit durch Knicklenkung
- Einsatz von handelsüblichen Erdbaugeräten (Radlader, Muldenkipper, Dumper, Betonmischer)
- direkte Zufahrt von Einsatzfahrzeuge bei Unfällen, Notfällen oder Brandereignis.

Nachteile erwachsen durch:

- intensiven Personaleinsatz
- beschränkte Kapazitäten
- viele kW wirken sich nachteilig auf die Bewetterung aus
- kostenintensive Wiederherstellung der Fahrbahn

Bei Störungen einzelner Fahrzeuge können diese rasch aus dem Tunnel entfernt werden und Ersatzmaschinen können den reibungslosen Betrieb wieder aufnehmen.

6.1.1.2 GLEISBETRIEB

Besonders bei beengten Verhältnissen (Stollen) ist der Gleisbetrieb anwendbar, spielt jedoch auch bei zunehmender Tunnellänge und für die Ver- und Entsorgung von TVM eine gewichtige Rolle. Bei kleinen Querschnitten ist die Bewetterung ausschlaggebend, da wenig Raum für die Anordnung einer Lutte vorhanden ist. Entscheidend ist eine sorgfältige Planung der Gleisanlagen in der Projektierungsphase, da ein nachträgliches Ändern schwer umsetzbar ist.

⁶² Lauffer, 2007, S.196.

Die wichtigsten Gründe für die Wahl des Gleisbetriebes sind:

- personalsparend
- Abwicklung der Ver- und Entsorgung in einer Fahrt einschließlich Personentransport
- Geschwindigkeit bis ca. 20 km/h, abhängig vom Zustand der Gleisanlagen
- Traktion mit E- oder Diesel – Motor, damit verbundene geringere Abgasbelastung
- große Förderkapazitäten
- geringer Querschnittsbedarf
- Ausführung als Ein- oder Zweigleisstrecke möglich.

Nachteilig:

- geringe Steigfähigkeit < 3%
- lange Bremswege
- Gleistrasse im Unterhalt aufwendig und teuer
- Zugausfall oder Entgleisung bedingt Vortriebsstillstand
- wenig flexibel
- Logistikzentrale bei komplexen Baustellen.

Im folgenden Abschnitt erfolgt eine Erläuterung der gängigen Lokomotiven, unterschiedliche Förderwagen und der Gleisanlagen.

6.1.1.2.1 LOKOMOTIVEN

Als Zugmittel stehen die aus dem Bergbau stammenden Grubenlokomotiven zur Verfügung. Hier kann nach der Antriebsarten⁶³ unterschieden werden:

- Diesellokomotiven: können problemlos gewartet werden und sind für den Einsatz in feuchter, staubiger Tunnelumgebung ideal, weiters sind sie mit Abgaswaschanlagen bzw. Katalysatoren und Überwachungseinrichtungen ausgestattet. Durch die robuste Bauweise ist eine geringere Störanfälligkeit gegeben und besitzen, im Gegensatz zu den Akkulokomotiven, größeren Aktionsradius, eine höhere Motorenleistung und sind in der Anschaffung preiswerter.
- Akkulokomotiven: aufgrund ihres abgasfreien Betriebs kommen sie in sehr sensiblen Bereichen, wie Arbeiten unter Druckluft oder bei schwieriger Frischluftversorgung zum Einsatz. Der Haupteinsatzbereich liegt im innerstädtischen Bereich oder auch

⁶³ Maidl, 2004, S.243.

bei kurzen Tunnelbaustellen. Um die notwendige Antriebsenergie zu generieren, verfügt sie über eigene Akkumulatoren, die in eigenen Ladestationen aufgeladen werden. Der Batterietausch sollte immer in den Schichtwechseln stattfinden, damit das zweite Akkupaar wiederaufgeladen werden kann.

- Elektro – Fahrdrathlokomotiven: benötigen für die Fahrleitungen große Tunnelquerschnitte und sind daher nur bei langen Tunnelbaustellen wirtschaftlich. Da die elektrischen Anlagen der Feuchtigkeit ausgesetzt sind, benötigt man umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen und werden de facto nicht mehr eingesetzt.

Für die Wahl der Lokomotive stehen folgende Faktoren bei der Dimensionierung zur Auswahl⁶⁴:

- Rollwiderstand
- Neigungswiderstand
- gewünschte Fahrgeschwindigkeit
- Krümmungswiderstand
- Kraftschlussbeiwert.

Das Dienstgewicht der Lokomotive ist entscheidend für die über die Reibung zwischen Rad und Schiene übertragene Zug- und Bremskraft. Es werden damit die Steigfähigkeit und Zuglasten von der gewählten Traktion bestimmt. Die Motorleistung bestimmt die maximal mögliche Beschleunigung und damit die maximal erreichbare Fahrgeschwindigkeit.

Als mögliche Abschätzung sollte das Dienstgewicht mindestens 10% der Gesamtmasse des beladenen Zuges betragen. Besonders für den Bremsvorgang beim Bergabfahren muss der maximal mögliche Bremsweg eingehalten werden, ansonsten müssten die Wagen zusätzlich mit Bremsanlagen ausgerüstet werden. Alternativ kann der Einsatz von zwei Lokomotiven pro Zug durchaus sinnvoll erscheinen. Die Motorleistung kann aus dem Verhältnis von Leistung in kW und Dienstgewicht in t abgeschätzt werden. Daraus ergeben sich für Akkulokomotiven Werte von 2 bis 5 und für Diesellokomotiven von 5 bis 7⁶⁵.

Einen reibungslosen Betrieb garantieren die regelmäßige und sorgfältige Wartung der Lokomotiven und der Gleisanlagen (*Kapitel 6.1.1.2.4*). Durch das ständige Beschleunigen und Bremsen des Zuges unter großen Anhängelasten kommt es zu hohem Verschleiß des Motors und der Bremsanlagen, deswegen fallen rund ein Viertel des Lokomotiven – Be-

⁶⁴ Lauffer, 2007, S.197.

⁶⁵ Maidl, 2004, S.242.

standes wegen Reparaturarbeiten aus. Zusätzlich können Entgleisungen die Ver- und Entsorgungssicherheit beeinträchtigen.



Bild 5: Lokomotiven
 links Lokomotive im laufenden Betrieb; rechts Lokomotivenreparatur

6.1.1.2.2 TRANSPORTWAGGONE

Für den Transport des Ausbruchsmaterials aus dem Tunnel kommen überwiegend folgende Systeme zur Einsatz⁶⁶:

- Rotationskipper oder
- Seitenkipper.

Kastenwagen	Klein-, Mittel- und Großförderwagen Rotationskipper Containerwagen
Kippwagen	Muldenkippwagen Kastenselbstkipper Einseitenzwangkipper Einseitenselbstentlader
Bodentleerer	Längsentleerer Querentleerer Sattelbodenwagen
sonstige Förderwagen	Schrägbodenseiteneleerer Rollkippwagen Großmuldenkippwagen

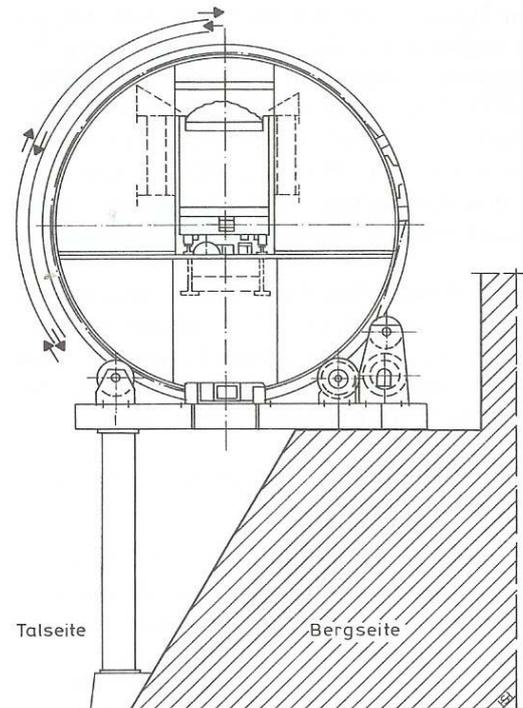
Tabelle 6: Übersicht über verschiedene Förderwagentypen⁶⁷

⁶⁶ Maidl, 2004, S.244.

⁶⁷ Vgl. Ebenda.

Der Rotationskipper besitzt außer den Rädern und Kupplungen keine zusätzlichen beweglichen Teile. Bei der Rotationskippe werden die beladenen Wagen, ohne abgekuppelt zu werden, schräg nach unten entleert. Sie werden dabei durch hydraulisch gesteuerte Klemmbacken gehalten und um 180° gedreht und entleert. Bei dieser einfachen Vorgangsweise dauert der Entladevorgang, je nach Anzahl der Wagen (< 30 m³ Füllvolumen), wenige Minuten.

Abbildung 19: Rotationskipper⁶⁸



Beim Seitenkipper werden die Wagen (< 25 m³ Füllvolumen) bei langsamer Fahrt (4 – 5 km/h) seitlich entleert. Der Kipper fährt auf die Auflaufzunge auf, wird entriegelt und kippt aufgrund des exzentrischen Schwerpunkts des Transportgefäßes automatisch ab. Das selbstständige Zurückkippen und Verriegeln wird durch die Entleerung entstandenen Schwerpunktsverlagerung erwirkt. Aufgrund der aufwendigen Öffnungs- und Schließautomatik ist der Seitenkipper teurer und wartungsaufweniger handzuhaben als der Rotationskipper.

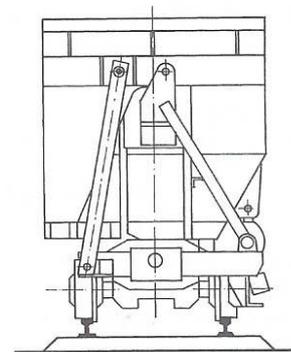


Abbildung 20: Einseitenselbstentleerer⁶⁹

⁶⁸ Maidl, 1997, S.105.

⁶⁹ Vgl. Ebenda.

Der Bunkerzug⁷⁰ wurde für den Bergbau entwickelt, um auch in engsten Querschnitten möglichst viel Schuttermaterial aus dem Berg zu fördern. Der Zug wird am Heck durch das Übergabeband beladen und am Boden der verbundenen Wagen wird das Material mittels integrierten Kettenförderers nach vorne gebracht. Beim Ladevorgang muss noch beachtet werden, dass eine gleichmäßige Verteilung der Ladung in den Wagen stattfindet, ansonsten können Zeitverluste infolge Umverteilung eintreten. Der große Vorteil ist, dass kein Wagenwechsel und somit kein Rangierbetrieb stattfindet. Um Kurvenfahrten zu ermöglichen, sind die einzelnen Wagen drehbar miteinander verbunden, durch eine überlappende Außenwand im Bereich der Drehgestelle sind die beiden Außenwände geschlossen. Beim Abladen schiebt der Kettenförderer das Ladegut über die Zugspitze ab.

Das Fassungsvermögen beträgt bis 50 m³ und ist ideal für den Einsatz von Tunnelquerschnitten von 6 bis ca. 20 m².

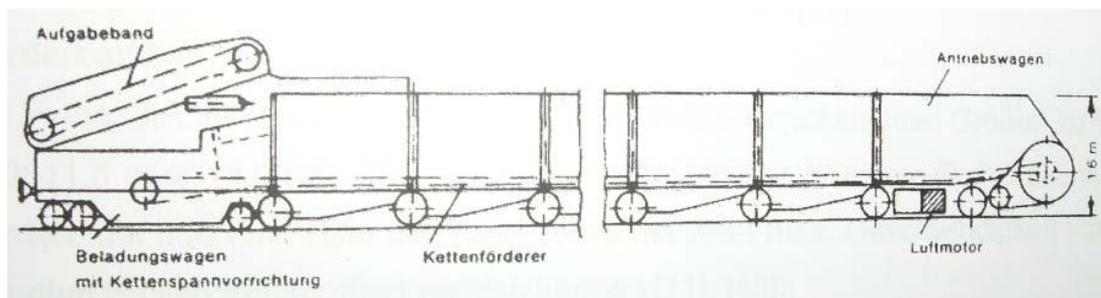


Abbildung 21: Bunkerzug⁷¹

In der Praxis hat sich der Bunkerzug nicht ausreichend bewährt, weil sich bei unzureichender Gleisverlegung die ungleichen Ladehöhen lösten und dadurch die Schienen verschmutzt wurden. Entgleisungen führten zu Zugsausfällen und großen Verzögerungen beim An- und Abtransport des Materials.

⁷⁰ Lachsteiner, 2003, S.54.

⁷¹ Vgl. Ebenda.

6.1.1.2.3 EINSCHIENENHÄNGEBAHN (EHB - MONORAIL)

Diese Entwicklung kommt ursprünglich aus dem Kohlenbergbau⁷². Als Schienenprofil dient ein genormtes Doppel – T Profil mit einer Einzellänge von 3 m, das an der Tunnelfirste angebracht wird. Beim Gotthard – Basistunnel fand die Einschienenhängebahn oder Monorail bei der Spritzbetonanlieferung ihre Anwendung. Angetrieben werden sie entweder per Dieselmotor oder mittels zwei Elektromotoren in Verbindung mit einem Akkumulator.



Bild 6: Monorail⁷³

Die gesamte Konstruktion, auch Katze genannt, kann Schwerlasten bis zu 20 to mit einer Geschwindigkeit von ca. 7 km/h⁷⁴ transportieren, wobei die Dieselskatze einen Einsatzradius von ca. 12 km vorweist, während ihr batteriebetriebener Pedant nur ungefähr die Hälfte davon erzielen kann. Der große Nachteil der Monorail liegt darin, dass die gesamten Strecke nur eine Katze befahren werden kann und bei der geringen Geschwindigkeit nur bestimmte Lasten zum Übergabepunkt am Nachläufer transportiert werden können. Bei bisherigen Tunnelbaustellen diente die Monorail nur als Transportmittel zur Übergabe der Betriebsmittel vom Gleisende zum Nachläufer der TVM.

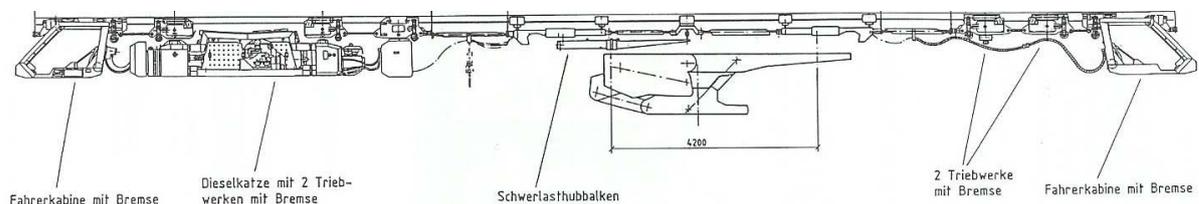


Abbildung 22: Monorail – Zugzusammenstellung⁷⁵

6.1.1.2.4 GLEISANLAGEN UND TUNNELSERVICE

Für ein gutes Fahrverhalten ist es vorteilhaft die Schienen im richtigen Abstand zu verlegen, das Gleis in Höhe und Lage genau auszurichten. Eine ordnungsgemäße Verlegung der Schienen, exakt ausgeführter Schienenstoß, einwandfreies Profil und ausreichender Schwellenabstand verringern den Verschleiß von Gleis und Wagenrad und verkleinern den

⁷² Aunkofer, 1992, S.199.

⁷³ Blindenbacher, 2007, S.4.

⁷⁴ Aunkofer, 1992, S.210.

⁷⁵ Ebenda, S.207.

Aufwand an Unterhaltungskosten. Außerdem hängt die Fahrgeschwindigkeit maßgeblich vom Zustand der Gleisanlage ab und bei langen Tunnelbauwerken erhöht eine geringere Zuggeschwindigkeit die Versorgungszeit und bedingt somit eine Verringerung der Versorgungsfahrten und einen damit verbundenen Lokomotivenengpass.

Auf die ordnungsgemäße Wartung und Instandhaltung der Gleisanlagen soll größter Wert gelegt werden, um einen ordnungsgemäßen Ablauf des Gleisbetriebes einer Tunnelbaustelle sicherzustellen. Es obliegt dem Triebfahrzeug – Führer Schäden sofort an die Wartungsmannschaft zu melden, um diese möglichst rasch wieder beheben zu können. Im Falle einer Entgleisung und dem nachfolgenden ordnungsgemäßen Wiederherstellen der Gleislage könnte die gesamte Nachschublogistik erheblich gestört und dadurch der reibungslose Vortrieb eingeschränkt oder sogar unterbrochen werden.



Bild 7: Schienenstoß

Aus Kostengründen sollte die Wiederverwendung des Gleismaterials auf anderen Tunnelbaustellen angestrebt werden, deshalb gilt der Ausführung der Schienenstöße eine erhöhte Aufmerksamkeit aufgrund der häufig gebrauchten Schienen. Auf eine Gleisbettung wird im Tunnelbau häufig verzichtet, da sich hier der Aufwand enorm steigern würde.

Im Stollenbau sind Spurweiten von 750 mm üblich, während im Tunnelbau 900 mm bevorzugt werden⁷⁶. Eine schmalere und leichtere Gleisanlage hat den Vorteil, dass sie Anschaffungskosten geringer sind. Nachteile ergeben sich aus der geringeren Stabilität und einer damit einhergehenden niedrigeren Fahrgeschwindigkeit, welche weiters zu größerem Verschleiß führen kann. Der Gleisradius in den Kurven sollte minimal 40 Meter betragen.

Bei kleinen Querschnitten zeigt sich der einspurige Gleisbetrieb als wirtschaftlich und technisch günstigste Förderart. Bei großen Ausbruchsquerschnitten erfolgt die Ver- und Entsorgung auf zwei parallel verlegten Schienensträngen, um das Ausbruchsmaterial, sofern

⁷⁶ Lauffer, 2007, S.196.

kein Förderbandbetrieb vorgesehen ist, aus dem Tunnel zu fördern, und einen reibungslosen Vortrieb zu gewährleisten. Falls nur ein Gleis zur Verfügung steht, ergeben sich Probleme beim Wagenwechsel zwischen vollen und leeren Förderwagen bei der Beladung an der Ortsbrust. Die Anordnung von Ausweichstellen auf der Strecke und Wagenwechseleinrichtungen an der Ortsbrust hilft zu einer weiteren Flexibilisierung des Zugverkehrs, damit genügend leere Wagen bereitgestellt werden können. Im Folgenden werden zwei verschiedene Systeme von Wagenwechseleinrichtungen vorgestellt.

- California – Weiche: diese Konstruktion ermöglicht den Bauzügen einen Spurwechsel vor dem Ein- oder Ausfahren hinter der Ortsbrust. Die Weiche liegt auf der eigentlichen Gleiskonstruktion auf und wird entsprechend dem Baufortschritt hinterher gezogen. Sie kann sowohl beim zyklischen (konventionellen) als auch beim kontinuierlichen (maschinellen) Verfahren als Zugwechseleinrichtung direkt beim Ladegerät bzw. Nachläufer angeordnet werden.

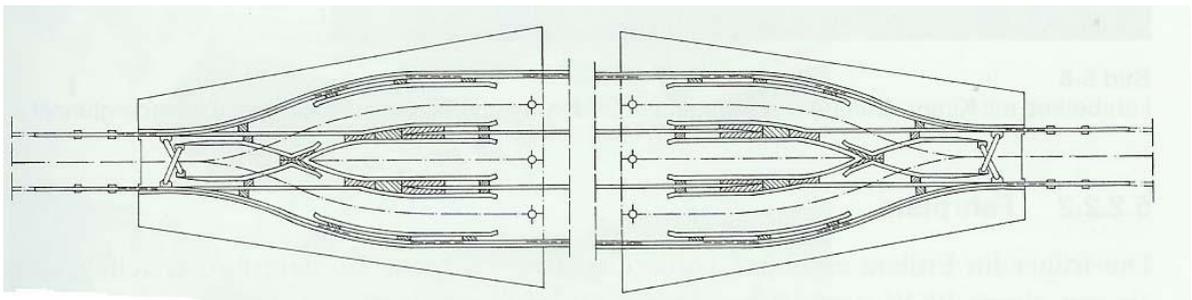


Abbildung 23: California – Weiche^{77,78}

⁷⁷ Maidl, 2001, S.81.

⁷⁸ Pacher, 2007, S.5.

- Umlauf – Paternostersystem: bei größeren Durchmessern (ab ~ 3.5 m Höhe) kann eine Kranhebeeinrichtung zum Einsatz kommen, die einen leeren über einen gefüllten Förderwagen hebt. Der letzte Wagen des ankommenden leeren Zuges wird hochgehoben, vor der Lokomotive wieder abgelassen, zur Ortsbrust geschoben und beladen, bis alle leeren Wagen über der Lokomotive und die bereits beladenen Waggone gehoben wurden, sodass der Antriebswagen schließlich an der Spitze des hinausfahrenden Zuges angeordnet ist.

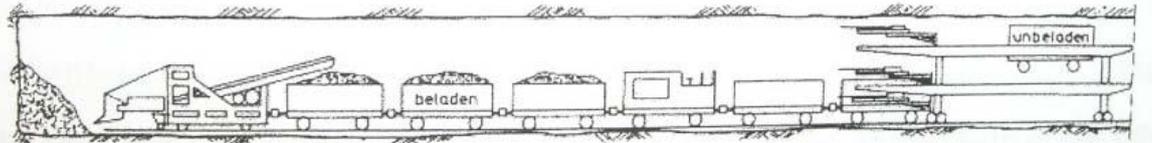


Abbildung 24: Umlauf – Paternostersystem⁷⁹

6.1.1.3 BANDANLAGEN

Es wird hier zwischen der Bandförderung als Übergabesystem und den Streckenförderbändern unterschieden. Das Ausbruchsmaterial muss vor der Beschickung auf das Förderband durch eine Brechereinheit (Backen- oder Kreiselbrecher) laufen, damit das Band durch zu große oder scharfe Gesteinsbrocken nicht zerstört wird und dadurch der Vortrieb nicht zum Stillstand kommt. Ihre Dimensionierung erfolgt nach der maximal möglichen Vortriebsgeschwindigkeit der TVM bzw. des Sprengvortriebs, damit die Bandanlage nicht zum neuralgischen Punkt des ganzen Vortriebs wird.

6.1.1.3.1 BANDFÖRDERUNG ALS ÜBERGABESYSTEM

Förderbänder dienen bei der Materialschutterung u.a. als Übergabesysteme, d.h. das Material wird nicht selbständig geladen, sondern bilden das Zwischenglied zwischen Lade- und Transportgerät. Bei manchen Gerätschaften, wie dem Tunnelladebagger, sind die Förderbänder schon integriert, häufig als eigenständige Maschinen (Übergabebrücke, Nachläufer) im Einsatz. Neben ihrer eigentlichen Aufgabe, der Übergabe des Materials an die Schutterwagen, üben sie eine Pufferfunktion beim Wechsel der Waggone aus.

⁷⁹ Maidl, 2004, S.245.

- gleisfahrbare Bandladegeräte⁸⁰: ihr Einsatz erfolgt, wenn kein Schutterwagen durch eine Wagenwechseleinrichtung an die Ortsbrust verschoben wird. Die Beladeeinheit kann an die Zuglänge individuell angepasst werden.
- Übergabebrücke⁸¹: der wesentliche Vorteil besteht hier in der Platzersparnis. Das Förderband wird an der Firste befestigt und hat neben dem gleichen Zweck wie das gleisfahrbare Bandladegerät auch die Funktion eines MaterialzwischenSpeichers (Bunkerband). Eine weitere Konstruktion wäre die Übergabebrücke als gleisgebundener Stahlrahmen, die immer hinter dem Vortrieb nachgeführt wird. Das Material wird mittels Band oder Kettenförderer in den Transportwagen des Zuges gefördert, wobei das vorhandene Schuttergut vollständig aufgenommen werden sollte oder eine Möglichkeit zum Zugwechsel gegeben sein muss.

Eine weitere Möglichkeit stellt die Verwendung eines zusätzlichen Schleppbandes (Ladeband) dar. Das fest installierte Förderband übergibt das Material auf das mittels Kettenzug verschiebbare Schleppband, das über die Wagen des Zuges verschoben wird. Die Schuttwagen sind eng gekoppelt, der Zwischenraum zwischen den einzelnen Waggonen ist mit überlappenden Neoprenschurzen überdeckt, damit die Ladung kontinuierlich erfolgen kann und somit kein Fördergut auf das Gleis fällt.

Zusammenfassend werden zwei verschiedene Möglichkeiten unterschieden:

- der Materialzug wird langsam unter dem Materialabwurf des Bandes verschoben

oder

- der Materialzug steht still und wird mittels eines verschiebbaren Schleppbandes gefüllt, das sich unter dem Nachläuferband befindet und von diesem gespeist wird.

6.1.1.3.2 STRECKENFÖRDERBAND

Die Streckenförderbänder dienen zur Förderung von großen Materialmengen über längere Entfernungen. Haupteinsatzgebiete sind TVM- und Sprengvortriebe und große Steigungen bzw. Gefälle des Schutterweges.

⁸⁰ Girmscheid, 2000, S.259.

⁸¹ Lehner, 2002, S.74.

Für den Einsatz sprechen folgende Kriterien⁸²:

- räumliche Trennung des Materialflusses im Querschnitt, damit Entlastung des Transportweges
- hohe kontinuierliche Leistung
- Elektroantrieb, damit niedriger Energieverbrauch und geringe Staubentwicklung
- hohe Betriebssicherheit
- geringer Bedienungs- und Wartungsaufwand und damit weniger Personalaufwand
- große Steigfähigkeit (20° bei glattem Gurt)
- kein Umschlag des Ausbruchsmaterials vor Ort bei TVM.

Probleme ergeben sich aber bei:

- nachfolgende Arbeitsstellen wie Querschläge (Sprengschutz)
- Schadensanfälligkeit durch das Gesteins (u.a. Überkorn, zu hoher Wassergehalt, damit Klebrigkeit)
- enge Kurvenradien
- Innenschalenausbau parallel zum Vortrieb kaum umsetzbar (Ausnahme: TVM mit Nachläufer)
- hoher Leerlaufenergieverbrauch.

Ein weiter großer Vorteil ergibt sich aus der Möglichkeit einer horizontalen wie auch vertikalen Trennung des Materialflusses. Der Antransport der Betriebsmittel (Beton, Spritzbeton, Tübbing, Sicherungselemente) erfolgt auf Schiene bzw. LKW und der Abtransport des Schuttermaterials wird mittels Förderband durchgeführt. Das Ausbruchsmaterial kann so ohne jeden weiteren Umschlag direkt auf die Deponie oder Zwischenlagerstelle gelangen. Damit erhält man die Möglichkeit eines zweiten Fördersystems (Schiene) zur Ortsbrust hin einzusetzen, dabei werden entsprechend große Querschnitte für einen zweiten Schienenstrang vorausgesetzt.

Bei Störungen oder dringenden Wartungsarbeiten sollte man sich beim Förderband eine gewisse Anzahl an Schuttergarnituren vorbehalten, um den Vortriebsbetrieb nicht zu stören. Z.B. durch einen etwaigen Riss des Förderbandes kommt es durch den abrupten Halt zu einer Stoßbelastung (aufliegende Gewicht) an der Bandaufhängung und damit an der Tunnelinnenschale. Auf diese Eventualitäten kann schon in der Planungsphase (Platzbedarf

⁸² Lauffer, 2007, S.198.

– Baustelleneinrichtung) eingegangen werden, im Falle einer wirklichen Störung kann schnell und umfassend reagiert werden.

Allgemein lassen sich Bandfördersystem weiter unterscheiden in⁸³:

- stationäre Fördersysteme konstanter Länge
- fahrbare Fördersysteme konstanter Länge
- verlängerbare Streckenbänder mit Bandspeicher
- Kurvenbänder.

Um eine hohe Leistung und geringe Staubentwicklung zu erhalten, soll es möglichst wenige Übergabepunkte aufweisen, darum ist eine entsprechende Verlängerung entsprechend dem Betriebsfortschritt notwendig, wodurch Fördersysteme mit konstanter Länge eher selten verwendet werden. Dieser Problematik wird Rechnung getragen, indem man kontinuierlich verlängerbare Streckenbänder einsetzt, man unterscheidet im Tunnelbau zwei unterschiedliche Systeme:

- Streckenband mit Bandspeicher und mobiler Umlenkstation
- Schleppbänder zur variablen Übergabe oder zur variablen Beladung von Schutterwagen im Nachläuferbereich von TVM.

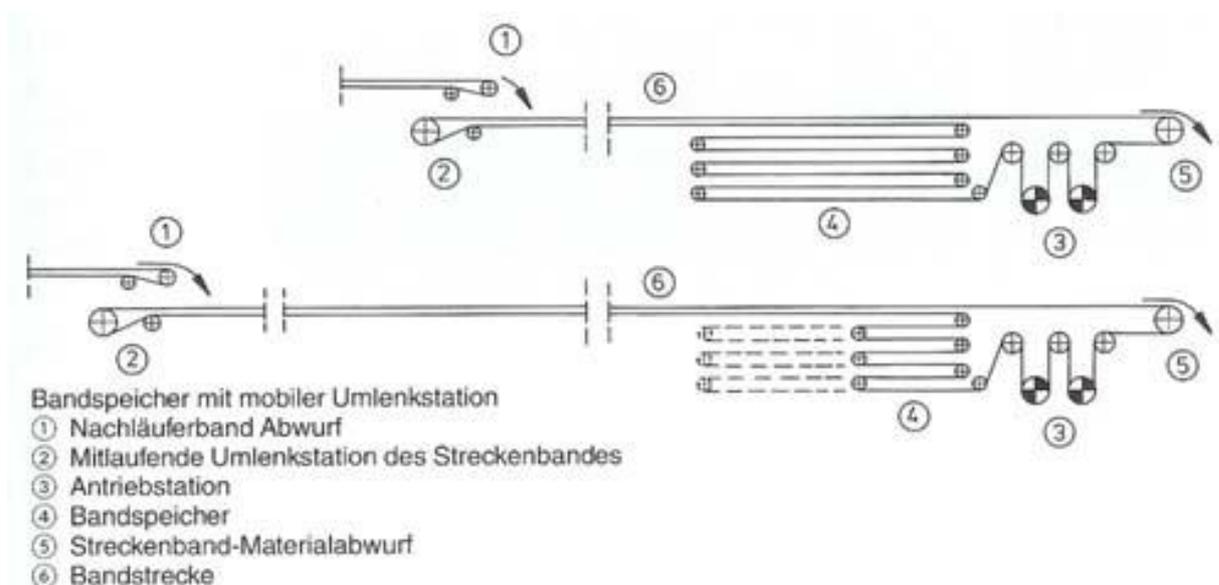


Abbildung 25: Bandspeicher mit mobiler Umlenkstation⁸⁴

⁸³ Girmscheid, 2000, S.260.

⁸⁴ Vgl. Ebenda.

Der Bandspeicher wird beim Vortrieb immer weiter zusammengezogen bis das Verlängerungsband abgespült ist. Eine Verlängerung bis zu 600 Meter ist dadurch möglich, indem man das Band aufschneidet und ein neues Neoprenband einschweißt (vulkanisiert). Für diese Arbeiten ergibt sich eine Vortriebsunterbrechung von rund 20 Stunden, bei einem Vortrieb von ungefähr 25 m pro Tag erfolgt eine Verlängerung alle 20 Tage. Bei prognostizierten Methangaszutritten kann der Gurt auch in antistatischer Qualität ausgeführt werden.

Derzeit gängige Förderbandsysteme haben eine Gurtbreite bis zu 1200 mm, erreichen Geschwindigkeiten bis zu 8 m/s und eine erzielbare Fördermenge⁸⁵ von 400 – 2000 to/h. Bei der Dimensionierung der Anlagenkapazität muss die Art, das spezifische Gewicht, die Stückgröße, Temperatur und die Konsistenz des Ausbruchmaterials berücksichtigt werden.

Nachteilig für jede Art von Förderbandbetrieb kann sich eine zur Staubbildung eingesetzte Wasserbedüsung des Gurtes auswirken. Die dadurch möglicherweise entstehende Klumpenbildung oder das Verkleben sollte durch regelmäßige sorgfältige Reinigung, bei größeren Anlagen ist unmittelbar nach der Abgabestation ein Gurtreiniger bzw. ein Bandabstreifer installiert, verhindert werden. Das Herauslaufen des Bandes kann durch den Einbau einer Lenkstation bei längeren Geradeausstrecken verhindert werden.

Förderbänder erlauben bei glatten Gurten Neigungen von etwa 20°, bei größeren Steigungen empfiehlt sich der Einsatz von Rippen- oder Stollenbändern (Kratzbänder), um ein Zurückrutschen des Fördermaterials zu vermeiden. Bei etwa 25° Neigung kann es bei feinkörnigem, rolligen Material trotz des Spezialgurtes zu Nachrutschungen kommen.

Die Bandschutterung eignet sich ausgezeichnet für die Materialförderung, alleine wegen der Trennung der Materialflüsse. Es muss jedoch im Vorfeld, d.h. schon bei der Vorerkundung, die Möglichkeit für den optimalen Einsatz untersucht werden. Je nach Art des Schuttermaterials sollte sehr genau überlegt werden, ob die Bandförderung der Schutterung mittels Zug der Vorzug gegeben werden sollte.

⁸⁵ Lauffer, 2007, S.198.

6.2 MANNSCHAFTSTRANSPORTE

Die An- und Abtransport der Mannschaft bei Schichtwechsel im Tunnel erfolgt bei gleisgebundener Tunnelversorgung per Schiene ansonsten per Kleinbus. Nachdem die Tunnelarbeiter in der Regel in der Nähe der Baustelle in Mannschaftsquartieren untergebracht sind, erfolgt der Transfer von dort bis zum Tunnelportal per Bus. Hier erfolgt der Weitertransport per Zug, neben den Personenwagen erfolgt auch der Nachschub mit Material für den Vortrieb. Nach vollzogenem Schichtwechsel werden die abgelösten Arbeiter aus dem Tunnel gefahren und weiter in deren Unterkünfte transferiert.

Je nach Bauwerkslänge und Länge des bisher ausgebrochenen Tunnels kann die Transportzeit variieren, deshalb kann schon der Personentransport zum Vortrieb über eine Stunde dauern (Transfer Unterkunft – Tunnelportal – Ortsbrust). Falls der Transfer per Bus alleine erfolgt, reduziert sich die Zeit nicht maßgeblich, da die Geschwindigkeiten (Zug, Bus) im Tunnel beinahe ident sind.



Bild 8: Unterkunft und Transport auf Tunnelbaustellen

links Mannschaftsunterkunft/Wienerwaldtunnel Chorherrn

rechts Mannschaftstransport im Tunnel⁸⁶

6.3 MATERIALTRANSPORTE

Bei der Betrachtung der Materialtransporte ist eine Vielzahl von Einflussfaktoren zu berücksichtigen, um den wirtschaftlichen Erfolg sicherzustellen. Diese haben nur eine allgemeingültige Aussage und müssen deshalb an die jeweiligen Randbedingungen des Projektes angepasst werden.

⁸⁶ www.alptransit.ch – 7.08.2007.

Wesentliche Faktoren sind:

- gewähltes Bauverfahren
- Geologie und Hydrogeologie
- Bewetterung und Entstaubung
- Neigungsverhältnisse
- Fahrbahnverhältnisse während der Bauzeit
- Häufigkeit der Fahrbahnveränderung
- Beschaffenheit des Fördergutes
- Tunnellänge hinsichtlich Förderlänge
- Ausbruchsquerschnitt – Lichtraumprofil
- gleichzeitige Ausbrucharbeiten (Querprofile).

Diese Einflussparameter sind notwendige Entscheidungskriterien für die Wahl der Transporteinrichtungen und Schuttergeräte. Ein ausgeklügeltes Logistiksystem ist für den wirtschaftlichen und zeitgerechten Erfolg unabdingbar.

Für den gleisgebundenen Transport stehen verschiedene Wagentypen zur Verfügung:

- Flachbettwagen
- Schutterwagen
- Nachmischer (Beton und Spritzbeton).



Bild 9: Transportwagen im Tunnelbau

oben links Flachbettwagen mit variabler Beladungseinheiten

rechts Flachbettwagen mit Tübbing (2 komplette Ringe - Breite 2,25 m)

unten links Lokomotive mit Schutterwagen⁸⁷



6.3.1 SCHUTTERUNGSPROZESS IM TUNNELBAU

Je nach Randbedingungen des Tunnelbauprojektes muss die Schutterung an die Gegebenheiten angepasst werden. In diesem Abschnitt werden einzelne Möglichkeiten aufgezählt, wie der Schutterungsprozess vonstatten gehen kann, es wird zwischen dem zyklischen (konventionellen) und dem kontinuierlichen (maschinellen) Vortrieb unterschieden. Für beide gelten jeweils andere Voraussetzungen, die auch im folgenden Abschnitt Beachtung finden. Der große Vorteil von TVM liegt in der Nachläuferkonstruktion, die als Logistikfabrik im Tunnel betrachtet werden kann, sie besteht aus mehreren Teilen und jeder Teil ist für einen anderen Abschnitts des Tunnels verantwortlich. Darum wird man immer bestrebt sein eine TVM einzusetzen, bei besonderen Gebirgsverhältnissen wird eventuell auf den Sprengvortrieb zurückgegriffen, wobei dieser die Vortriebsgeschwindigkeit einer TVM nicht erreichen wird.

⁸⁷ www.alptransit.ch – 7.08.2007.

Die Wiederverarbeitung oder Deponie des Ausbruchsmaterials wird in *Kapitel 9* bzw. *9.1* näher beschrieben.

6.3.1.1 SCHUTTERUNG IM ZYKLISCH (KONVENTIONELLEN) VORTRIEB

Bei langen Tunnelvortrieben verwendet man den zyklischen Vortrieb nur noch in Fällen, bei welchen die TVM aufgrund widriger geologischer Verhältnisse (z.B. stark druckhaftes Gebirge) nicht zum Einsatz kommen kann.

Die Schutterung des Ausbruchmaterials kann dabei auf unterschiedlichen Arten (*Kapitel 6*) erfolgen:

- gleisloser Betrieb (Pneubetrieb)
- gleisgebundener Betrieb (Gleisbetrieb)
- Bandanlagen.

Folgende Geräte⁸⁸ können an der Ortsbrust zur Anwendung kommen:

- Bohrjumbo
- mobiler Schlagwalzenbrecher
- Fahrlader mit Seitenkippschaufel
- Radlader mit Seitenkippschaufel
- Tunnelbagger
- Nachläuferausrüstung.

Nach dem Abschlag wird das Haufwerk durch den Brecher in transportable Stücke zerteilt, die anschließend auf dem Nachläufer an den Schutterzug, Muldenkipper oder das Streckenförderband übergeben werden.

Die Wahl und Bemessung der Schuttergeräte im Sprengvortrieb erfolgt aufgrund folgender Kriterien⁸⁹:

- Ausbruchkubatur pro Abschnitt
- Kennwerte des Haufwerks (Korngröße, -form, -verteilung hinsichtlich Beladbarkeit)
- Tunnelsohlenbeschaffenheit für die Befahrbarkeit
- Bewetterungsanforderungen bzw. -möglichkeiten.

⁸⁸ Lehner, 2002, S.74.

⁸⁹ Maidl, 1997, S.89.

Aufgrund der angeführten Kriterien kann eine wirtschaftliche Schutterung nur gleisgebunden oder mittels Förderband betrieben werden.

6.3.1.2 SCHUTTERUNG IM KONTINUIERLICHEN (MASCHINELLEN) VORTRIEB

Das Ausbruchsmaterial wird vom TVM – Band meist im Übergangsbereich zwischen TVM und Nachläufer auf das Nachläuferband übergeben. Die Übergabe an den gleisgebundenen Transport oder die Bandförderung kann direkt über ein Bandladegerät oder über einen Zwischenspeicher (Bunker) vonstatten gehen.

An die Grenzen der gleisgebundenen Transportmöglichkeit stößt man bei sehr großen Ausbruchsquerschnitten, denn das ganze Material eines Hubzyklus sollte auf einen Schutterzug Platz finden. Hier zeigt die Bandförderung ihre Vorteile, da eine kontinuierliche Förderung eines Hubes ohne Probleme durchführbar ist.

6.3.1.2.1 FÖRDERTECHNIK BEI SCHILDMASCHINEN

Für die Schutterung des abgebauten Materials stehen spezielle Fördersysteme zur Verfügung. Die Abbau- und Fördersystemen sind von den unterschiedlichen geologischen Verhältnissen abhängig. Zum Einsatz kommende Abbauwerkzeuge sind z.B. Hartgesteinsbohrmaschinen (Vollschnittmaschinen), offenen Schneidrädern, geschlossenen Schneidköpfen, Baggern oder Teilschnittmaschinen.

Wie schon eingehend erwähnt hängt die Förderkapazität des gelösten Bodens von der Vortriebsgeschwindigkeit der Schildmaschine ab.

Der Schutterweg gliedert sich in:

- Förderung aus der Abbaukammer zum Nachläufer
- Übergabe im Nachläuferbereich an die Streckentransporteinrichtung und Förderung aus dem Tunnel mittels
 - Schutterzug, Muldenkipper oder Förderband für Trocken- und Dickstoffe
 - Rohrleitung für Flüssigstoffe beim Flüssigkeitsschild
- Förderung zur Lagerstätte
 - bei Rohrförderung zur Separationsanlage.

Die Auswahl eines geeigneten Fördersystems steht in direktem Zusammenhang mit der Art des anstehenden Bodens und der daraus resultierenden Abbaumethode.

Man unterscheidet zwischen⁹⁰:

- Trockenförderung: der Austrag aus der SM erfolgt mittels Ketten- oder Bandförderern mit Übergabe an den Nachläufer.

Die diskontinuierliche Förderung vom Nachläufer zur Lagerstätte Übertage erfolgt entweder gleisgebunden oder mittels Muldenkippern. Die Beschickung des Zuges erfolgt mit einem Schleppband.

Für die kontinuierliche Förderung kann die Bandanlage vom Nachläufer bis zur Lagerstätte bzw. Deponie geführt werden. Eine kontinuierliche Verlängerung während des Vortriebes muss unbedingt sichergestellt werden.

- Dickstoffförderung: folgende Fördersysteme kommen beim Austrag des viskosen Abbaumaterials aus der Abbaukammer der Erddruckschildmaschine zum Einsatz:
 - Förderschnecke mit Welle
 - Förderschnecke ohne Welle
 - Bandschnecke.

Das Fördergut wird durch die Schnecke translatorisch vorgeschoben, wofür unter Umständen eine Konditionierung des Bodens mit Hilfe von Wasser, Suspensionen (Bentonit, Zement oder Polymer) oder Polymerschäumen notwendig ist. Im Regelfall hat das Abbaumaterial eine Konsistenz, dass es über Förderbänder direkt an den gleisbetriebenen Schutterwagen übergeben werden kann. Beim Einsatz von Muldenkippern sind Zwischensilobatterien zum Durchführen eines Hubzyklus erforderlich.

- Flüssigförderung: das vom Schneidrad gelöste Material sinkt in der offenen Kammer mit der Suspension nach unten, der Austrag erfolgt mittels Kreiselpumpen durch Rohrleitungen aus dem Tunnel zur Separationsanlage. In der Anlage wird die Suspension vom Feststoff getrennt und in einem geschlossenen Kreislauf wieder zum Schild zurückgepumpt. Steinbrecher im Abbauraum zerkleinern die Überkörner auf eine förderfähige Größe.

⁹⁰ Girmscheid, 2005, S.203.

6.3.2 WIRTSCHAFTLICHKEITSÜBERLEGUNGEN BEIM SCHUTTERPROZESS

6.3.2.1 GLEISLOSE SCHUTTERUNG⁹¹

Um zu veranschaulichen wie wirtschaftlich der Schutter – Pneubetrieb bei langen Spreng – Vortrieben ist, soll die folgende Rechnung zeigen:

$$V_{\text{Ortsbrust}} = A_{\text{Ortsbrust}} \cdot l_A \cdot 1,10$$

$V_{\text{Ortsbrust}}$...	Kubatur Schutterung pro Abschlag [fm^3]
$A_{\text{Ortsbrust}}$...	Ausbruchsquerschnitt der Ortsbrust [m^2]
l_A	...	Abschlagslänge [m]
1,1	...	Mehrausbruch von ca. 10%

$$V_{\text{Ortsbrust}} = 70 \cdot 2,0 \cdot 1,1 = 154,0 \text{ fm}^3$$

Die Dauerleistung des Radladers beträgt 50 Ladespiele pro Stunde. In diesem Wert ist die Abminderung in der Geräteausnutzung durch die Behinderung beim Rangieren der Großmuldenkippe schon berücksichtigt.

$$C = F_{100} \cdot \alpha \cdot \varphi$$

C	...	Nutzladung pro Spiel [fm^3]
F_{100}	...	Löffelinhalt [m^3]
φ	...	Füllfaktor des Ladegefäßes
α	...	Auflockerungsbeiwert des gesprengten Haufwerks

$$C = 4,1 \cdot 0,8 \cdot 0,67 = 2,20 \text{ fm}^3 \text{ pro Spiel}$$

(α und φ für gut gesprengten Fels)

⁹¹ Girmscheid, 2000, S.279.

Material	φ
leichter Boden	1,2
mittelschwerer Boden	1,0
schwerer Boden	0,75 – 0,9
Fels, gut gesprengt	0,55 – 0,8
Fels, schlecht gesprengt	0,25 – 0,6

Tabelle 7: Füllfaktor φ abh. vom Material⁹²

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

Tabelle 8: Auflockerungsfaktoren⁹³

Ladegerät	Spielzahl bei Betrieb ohne aufgezwungene Wartezeiten	Bemerkungen
Hydraulikbagger		die Spielanzahl steigt mit größer werdendem Löffel
Tieflöffel	60 – 80	
Hochlöffel	40 – 60	Spielanzahl ohne längere Fahrwege bis zum Förderwagen
Frontlader		
Radlader	50 – 70	
Raupenlader	40 – 60	

Tabelle 9: Spielanzahl von gebräuchlichen Ladegeräten im Tunnelbau⁹⁴

Weiters ergibt sich die Dauerleistung zu:

$$Q_L = C \cdot X$$

Q_L ... Dauerleistung des Ladegerätes bei Betrieb ohne aufgezwungene längere Wartezeiten [fm³/h]

X ... Spielanzahl pro Stunde [LS/h]

$$Q_L = 2,20 \cdot 50 = 110,0 \text{ fm}^3/\text{h}$$

(wobei η_G schon in C berücksichtigt wurde)

⁹² Maidl, 1997, S.111.

⁹³ Vgl. Ebenda.

⁹⁴ Ebenda, S.109.

Schutterzeit: $t_{\text{Schuttern}} = \frac{V_{\text{Ortsbrust}}}{Q_L} = \frac{154,0}{110,0} = 1,40 \text{ h} = 84 \text{ min}$

Für die Anzahl der benötigten Großmulden muss zuerst das Transportvolumen der Muldenkipper V_T bestimmt werden:

$$V_T = V \cdot \alpha \cdot \varphi$$

$$V_T = 20 \cdot 0,67 \cdot 1,0 = 13,4 \text{ fm}^3$$

(mit einer Füllung φ des Transportgefäßes von 1,0)

Die Umlaufzeit wird für eine durchschnittliche Transportentfernung von 2.5, 5.0 und 10.0 km berechnet.

Umlaufzeit T_{UML} des Fördergerätes: $T_{\text{UML}} = t_B + t_H + t_E + t_Z + t_R$ [min]

Die einzelnen Zeitanteile ergeben sich zu:

Zeit für das Beladen: $t_B = \frac{V_T}{Q_L} \cdot 60$

t_B ... Zeit, die der Radlader zum Beladen des Muldenkippers benötigt [min]

V_T ... Fassungsvermögen Muldenkipper [fm^3]

Q_L ... Dauerleistung des Radladers [fm^3/h]

$$t_B = \frac{13,4}{110,0} \cdot 60 = 8 \text{ min}$$

Zeit für die Fahrt (vollbeladen) zur Deponie mit 10 km/h:

$$t_H = \frac{l}{v_{\text{voll}}} \cdot 60$$

t_H ... Zeit für die Fahrt von der Beladestelle zur Deponie [min]

l ... Transportlänge [km]

v_{voll} ... durchschnittliche Geschwindigkeit des Muldenkippers im beladenen Zustand [km/h]

Transportlänge [km]	benötigte Zeit [min]
2.5	15
5.0	30
10.0	60

Tabelle 10: Benötigte Fahrzeit zur Deponie

Zeit für das Rangieren und Entladen: $t_E = 5$ min

Zeit für die Rückfahrt (leer) mit 15 km/h:

$$t_Z = \frac{l}{v_{\text{leer}}} \cdot 60$$

- t_Z ... Zeit für die Fahrt von der Deponie zur Beladestelle [min]
 l ... Transportlänge [km]
 v_{leer} ... durchschnittliche Geschwindigkeit des Muldenkippers im unbeladenen Zustand [km/h]

Transportlänge [km]	benötigte Zeit [min]
2.5	10
5.0	20
10.0	40

Tabelle 11: Benötigte Fahrzeit zur Ortsbrust

Zeit für den Wagenwechsel und Rangieren an der Ortsbrust: $t_R = 2$ min

Die Umlaufzeit T_{UML} des Muldenkippers beträgt:

Umlaufzeit für Transportlänge [km]	benötigte Zeit [min]
2.5	40
5.0	65
10.0	115

Tabelle 12: Umlaufzeit eines Muldenkippers

Die Anzahl der Kipper ergibt sich zu:

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

- n ... Anzahl der benötigten Muldenkipper
- T_{UML} ... Zeit für einen Umlauf [min]
- t_B ... Zeit für das Beladen des Muldenkippers [min]

Transportlänge [km]	Anzahl der Muldenkipper
2.5	5
5.0	(8,13) – 9
10.0	(14,38 – 15) – 12

Tabelle 13: Benötigte Muldenkipperanzahl

Bei langen Tunnelbaulosen von rund 10 km benötigt man 12 Muldenkipper, dass es hier zu Problemen bei der Bewetterung, Gegenverkehr und Querschlagsbaustellen kommt, liegt auf der Hand. Um Verzögerungen durch einen Ausfall eines Muldenkippers auszugleichen, müssten noch 2 Fahrzeuge vorgehalten werden. Daher verzichtet man bei langen Tunnelbaulosen auf den Pneu – Schutterbetrieb und bedient sich entweder des Gleisbetriebes oder der Bandförderung.

Muldenkipper für den Tunnelbau⁹⁵

Nr.	Motorleistung kW	Mulden- inhalt, voll m ³	Gewicht kg	mittlerer Neuwert Euro	monatliche Re- paraturkosten Euro	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro
H.5.61.0310	310	20	34000	391000	8600	10350

Radlader – Frontlader⁹⁶

Nr.	Motorleistung kW	Schaufel- inhalt, voll m ³	Gewicht kg	mittlerer Neuwert Euro	monatliche Re- paraturkosten Euro	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro
D.3.10.0170	170	4,1	22000	247000	6650	8650
+ Abgasreinigung – Tunnel und Hallen + 5%				12350	332,5	432,5
Σ				259350	6982,5	9082,5

⁹⁵ DGL 2007, H31.

⁹⁶ DGL 2007, D35.

$$V_{\text{Ortsbrust}} = 154,0 \text{ fm}^3$$

$\text{Reparatur} = \frac{8600 \cdot 0,6}{172} = 30,00 \text{ €/h}$ $A/V = \frac{10350 \cdot 0,5}{172} = 30,09 \text{ €/h}$ $\text{Betriebsstoffe} = \frac{310 \cdot 0,2}{1} = 62,00 \text{ €/h}$ Schmierstoffe (10% der Betriebsstoffe) = 6,20 €/h Fahrer Muldenkipper = 44,00 €/h	$\text{Reparatur} = \frac{6982,5 \cdot 0,6}{172} = 24,36 \text{ €/h}$ $A/V = \frac{9082,5 \cdot 0,5}{172} = 26,40 \text{ €/h}$ $\text{Betriebsstoffe} = \frac{170 \cdot 0,2}{1} = 34,00 \text{ €/h}$ Schmierstoffe (10% der Betriebsstoffe) = 3,40 €/h Fahrer Radlader = 44,00 €/h
Kosten pro Betriebsstunde Muldenkipper = 172,29 €/h = 2,87 €/min	Kosten pro Betriebsstunde Radlader = 88,16 €/h = 1,47 €/min

Transportlänge [km]	Anzahl der Muldenkipper	Umlaufzeit [min]	Kosten pro Abschlag [Euro]	Kosten pro m ³ [Euro]
2.5	5	40	1748,32	11,35
5.0	9	65	3278,31	21,29
10.0	12	115	5617,08	36,47

6.3.2.2 GLEISSCHUTTERUNG BEI SPRENGVORTRIEB⁹⁷

$$V_{\text{Ortsbrust}} = A_{\text{Ortsbrust}} \cdot l_A \cdot 1,10$$

- $V_{\text{Ortsbrust}}$... Kubatur Schutterung pro Abschlag [fm³]
- $A_{\text{Ortsbrust}}$... Ausbruchsquerschnitt der Ortsbrust [m²]
- l_A ... Abschlagslänge [m]
- 1,10 ... Mehrausbruch von ca. 10%

$$V_{\text{Ortsbrust}} = 70 \cdot 2,0 \cdot 1,10 = 154 \text{ fm}^3$$

$$C = F_{100} \cdot \alpha \cdot \varphi$$

- C ... Nutzladung pro Spiel [fm³]
- F_{100} ... Löffelinhalt [m³]
- φ ... Füllfaktor des Ladegefäßes
- α ... Auflockerungsbeiwert des gesprengten Haufwerks

$$C = 4,1 \cdot 0,8 \cdot 0,67 = 2,20 \text{ fm}^3 \text{ pro Spiel}$$

(α und φ für gut gesprengten Fels)

⁹⁷ Girmscheid, 2000, S.283.

Um nicht mit zwei Ladern arbeiten zu müssen, wird die Abschlagslänge auf 2 Meter reduziert. Daraus ergibt sich bei einer angenommenen Auflockerung von 0,67 (Fels, fest, gut gesprengt) eine Dauerleistung von 110 fm³/h.

Weiters ergibt sich die Dauerleistung zu:

$$Q_L = C \cdot X$$

Q_L ... Dauerleistung des Ladegerätes bei Betrieb ohne aufgezogene längere Wartezeiten [fm³/h]

X ... Spielanzahl pro Stunde [LS/h]

$$Q_L = 2,20 \cdot 50 = 110,0 \text{ fm}^3/\text{h}$$

(wobei η_G schon in C berücksichtigt wurde)

Schutterzeit:
$$t_{\text{Radlader}} = \frac{V_{\text{Ortsbrust}}}{Q_L} = \frac{154 \text{ fm}^3/\text{h}}{110 \text{ fm}^3/\text{h}} = 1,4 \text{ h} = 84 \text{ min}$$

Zur Berücksichtigung der Transportkette Übergabebrücke wird noch ein angenommener Zuschlag von 5 Minuten addiert. Die Förderbandleistung wird ebenfalls mit ~110 fm³/h angesetzt.

Gesamtschutterzeit: $t_{\text{Schutterung}} = t_{\text{Radlader}} + t_{\text{Übergabebrücke}} = 84 + 5 = 89 \text{ min}$

Bei Einsatz von 25 m³ fassenden Kastenkipper ergibt sich eine Anzahl von:

$$n = \frac{154}{25 \cdot 0,75} = 8,21$$

Es werden somit 9 Kastenkipper benötigt, um das gesamte Schuttermaterial eines Abschlages mit einer Garnitur abtransportieren zu können.

$$\text{Fahrzeitberechnung: } T = \frac{L \cdot 60}{v} + \Delta t_a + \Delta t_b$$

- T ... Gesamtfahrzeit [min]
 L ... Länge der Transportstrecke [km]
 v ... mittlere Streckengeschwindigkeit [km/h]
 Δt_a ... Anfahrtzeitzuschlag [min]
 Δt_b ... Bremszeitzuschlag [min]

Mit einer gewählten Fahrgeschwindigkeit von 15 km/h und den angenommenen Anfahrtzeit- sowie Bremszeitzuschlag von je 1 min erhält man für eine Entfernung von 2,5, 5, 10 km eine Fahrzeit von der Beladestelle zur Deponie vor dem Tunnelportal bzw. retour von:

Transportlänge [km]	Fahrzeit [min]	Umlaufzeit [min]	gesamte Umlaufzeit [min]
2.5	12	44	122
5.0	22	64	153
10.0	42	104	193

Tabelle 14: Gesamte Umlaufzeit für eine Schuttergarnitur

Umlaufzeit mit einer angenommenen Entladezeit von ca. 20 min:

$$T = (2 \cdot T) + t_{\text{Entladen}}$$

Unter Berücksichtigung der Beladezeit erhält man somit für die Transportstrecke eine Gesamtumlaufzeit (*Tabelle 14/Spalte 4*).

Radlader – Frontlader⁹⁸

Nr.	Motorleistung kW	Schaufel- inhalt, voll m ³	Gewicht kg	mittlerer Neuwert Euro	monatliche Re- paraturkosten Euro	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro
D.3.10.0170	170	4,1	22000	247000	6650	8650
+ Abgasreinigung – Tunnel und Hallen + 5%				12350	332,5	432,5
				Σ 259350	6982,5	9082,5

⁹⁸ DGL 2007, D35.

Diesellokomotive⁹⁹

Nr.	Motorleistung	Zugkraft	Gewicht	mittlerer Neuwert	monatliche Reparaturkosten	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag
	kW	kN	kg	Euro	Euro	Euro
H.6.00.0220	220	112	45000	296500	5350	5800

Kastenwagen, kippar über Rampe¹⁰⁰

Nr.	Kasteninhalt	Spurweite	Gewicht	mittlerer Neuwert	monatliche Reparaturkosten	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag
	m ³	mm	kg	Euro	Euro	Euro
H.6.12.0025	25	900	12000	36800	955	1510

Schienen für den Tunnelbau¹⁰¹

Nr.	Schienen-gewicht	Schienen höhe	Schienen profil	mittlerer Neuwert	monatliche Reparaturkosten	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag
	kg/m	mm		Euro	Euro	Euro
H.6.60.0024	24,4	115	S24	30,50	0,15	0,48

$$V_{\text{Ortsbrust}} = 154,0 \text{ fm}^3$$

$$\text{Reparatur} = \frac{6982,5 \cdot 0,6}{172} = 24,36 \text{ €/h}$$

$$A/V = \frac{9082,5 \cdot 0,5}{172} = 26,40 \text{ €/h}$$

$$\text{Betriebsstoffe} = \frac{170 \cdot 0,2}{1} = 34,00 \text{ €/h}$$

$$\text{Schmierstoffe (10\% der Betriebsstoffe)} = 3,40 \text{ €/h}$$

$$\text{Fahrer Radlader} = 44,00 \text{ €/h}$$

$$\begin{aligned} \text{Kosten pro Betriebsstunde Radlader} \\ = 88,16 \text{ €/h} = 1,47 \text{ €/min} \end{aligned}$$

$$\text{Reparatur} = \frac{5350 \cdot 0,6}{172} = 18,66 \text{ €/h}$$

$$A/V = \frac{5800 \cdot 0,5}{172} = 16,86 \text{ €/h}$$

$$\text{Reparatur} = \frac{955 \cdot 0,6}{172} = 3,33 \text{ €/h}$$

$$A/V = \frac{1510 \cdot 0,5}{172} = 4,39 \text{ €/h}$$

⁹⁹ DGL 2007, H31.

¹⁰⁰ DGL 2007, H35.

¹⁰¹ DGL 2007, H41.

$$\text{Betriebsstoffe} = \frac{220 \cdot 0,2}{1} = 44,00 \text{ €/h} \quad \text{Kosten pro Betriebsstunde} = 7,72 \text{ €/h} = 0,13 \text{ €/min}$$

$$\text{Schmierstoffe (10\% der Betriebsstoffe)} = 4,40 \text{ €/h}$$

$$\text{Fahrer Lokomotive} = 44,00 \text{ €/h}$$

Kosten pro Betriebsstunde Lokomotive = 127,29 €/h = 2,13 €/min	Kosten pro Betriebsstunde Schuttergarnitur = 127,29 + 9 · 7,72 = 196,77 €/h = 3,28 €/min
Kosten pro Betriebsstunde Radlader u. Schuttergarnitur = 196,77 + 88,16 = 284,93 €/h = 4,75 €/min	

$$\text{Reparatur} = \frac{0,15 \cdot 0,6}{172} = 0,0005 \text{ €/h}$$

$$A/V = \frac{0,48 \cdot 0,5}{172} = 0,0014 \text{ €/h}$$

$$\text{Kosten pro Betriebsstunde Schienenanlagen} = 0,0076 \text{ €/h}$$

Transportlänge [km]	Umlaufzeit [min]	Kosten pro Abschlag [Euro]	Kosten pro m ³ [Euro]
2.5	133	523,64	3,40
5.0	153	625,32	4,06
10.0	193	756,48	4,91

6.3.2.3 GLEISSCHUTTERUNG BEI TBM - VORTRIEB¹⁰²

$$V_{\text{Ortsbrust}} = A_{\text{Ortsbrust}} \cdot l_A$$

$V_{\text{Ortsbrust}}$... Kubatur Schutterung [fm³]

$A_{\text{Ortsbrust}}$... Ausbruchsquerschnitt der Ortsbrust [m²]

l_A ... Schreitlänge [m]

Der angenommene Bohrkopfdurchmesser der TBM beträgt 10,0 m und bei jedem Hub werden 2 m (Schreitlänge) zurückgelegt.

$$V_{\text{Ortsbrust}} = \frac{10,0^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2,0 = 157 \text{ fm}^3$$

Bei Einsatz von 25 m³ fassenden Kastenkipper und bei einer angenommenen Auflockerung von 0,75 (Fels und Steine, gebrochen) ergibt sich eine Anzahl von:

¹⁰² Girmscheid, 2000, S.283.

$$n = \frac{157}{25 \cdot 0,75} = 8,37$$

Es werden somit 9 Kastenkipper benötigt, um das gesamte Schuttermaterial eines Hubes mit einer Garnitur abtransportieren zu können.

Fahrzeitberechnung: $T = \frac{L \cdot 60}{v} + \Delta t_a + \Delta t_b$

- T ... Gesamtfahrzeit [min]
- L ... Länge der Transportstrecke [km]
- v ... mittlere Streckengeschwindigkeit [km/h]
- Δt_a ... Anfahrzeitzuschlag [min]
- Δt_b ... Bremszeitzuschlag [min]

Mit einer gewählten Fahrgeschwindigkeit von 15 km/h und den angenommenen Anfahrzeit- sowie Bremszeitzuschlag von je 1 min erhält man für eine Entfernung von 2.5, 5, 10 km eine Fahrzeit von der Beladestelle zur Deponie vor dem Tunnelportal bzw. retour von:

Transportlänge [km]	Fahrzeit [min]	Umlaufzeit [min]
2.5	12	44
5.0	22	64
10.0	42	104

Tabelle 15: Umlaufzeit für eine Schuttergarnitur

Umlaufzeit mit einer angenommenen Entladezeit von ca. 20 min:

$$T = (2 \cdot T) + t_{\text{Entladen}}$$

Unter Berücksichtigung der Beladezeit erhält man somit für die Transportstrecke eine Umlaufzeit (*Tabelle 15/Spalte 4*). Da durch die Querschlagsbaustellen eine Langsamfahrstrecke gegeben sein kann, bezieht sich die Umlaufzeit auf den uneingeschränkten Betrieb.

Diesellokomotive¹⁰³

Nr.	Motorleistung	Zugkraft	Gewicht	mittlerer Neuwert	monatliche Reparaturkosten	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag
	kW	kN	kg	Euro	Euro	Euro
H.6.00.0220	220	112	45000	296500	5350	5800

Kastenwagen, kippbar über Rampe¹⁰⁴

Nr.	Kasteninhalt	Spurweite	Gewicht	mittlerer Neuwert	monatliche Reparaturkosten	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag
	m ³	mm	kg	Euro	Euro	Euro
H.6.12.0025	25	900	12000	36800	955	1510

Schienen für den Tunnelbau¹⁰⁵

Nr.	Schienen-gewicht	Schienen höhe	Schienen profil	mittlerer Neuwert	monatliche Reparaturkosten	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag
	kg/m	mm		Euro	Euro	Euro
H.6.60.0024	24,4	115	S24	30,50	0,15	0,48

$V_{\text{Ortsbrust}} = 157 \text{ fm}^3$

$$\text{Reparatur} = \frac{5350 \cdot 0,6}{172} = 18,66 \text{ €/h}$$

$$\text{Reparatur} = \frac{955 \cdot 0,6}{172} = 3,33 \text{ €/h}$$

$$A/V = \frac{5800 \cdot 0,5}{172} = 16,86 \text{ €/h}$$

$$A/V = \frac{1510 \cdot 0,5}{172} = 4,39 \text{ €/h}$$

$$\text{Betriebsstoffe} = \frac{220 \cdot 0,2}{1} = 44,00 \text{ €/h}$$

$$\text{Kosten pro Betriebsstunde} = 7,72 \text{ €/h} \\ = 0,13 \text{ €/min}$$

Schmierstoffe (10% der Betriebsstoffe) = 4,40 €/h

Fahrer Lokomotive = 44,00 €/h

Kosten pro Betriebsstunde Lokomotive
= 127,29 €/h = 2,13 €/min

Kosten pro Betriebsstunde Schuttergarnitur
= 127,29 + 9 · 7,72 = 196,77 €/h = 3,28 €/min

Transportlänge [km]	Umlaufzeit [min]	Kosten pro Hub [Euro]	Kosten pro m ³ [Euro]
2.5	44	144,32	0,92
5.0	64	209,92	1,34
10.0	104	341,12	2,17

¹⁰³ DGL 2007, H31.

¹⁰⁴ DGL 2007, H35.

¹⁰⁵ DGL 2007, H41.

6.3.2.4 BANDSCHÜTTERUNG¹⁰⁶

Nutzleistung: $Q_N = A_F \cdot v \cdot 3600 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$

- Q_N ... Nutzleistung [m^3/h]
 A_F ... theor. Füllquerschnitt des Förderbandes [m^2]
 v ... Fördergeschwindigkeit [m/s]
 η_1 ... Korrekturfaktor für die Bandneigung [-]
(1,0 – 0,55 in Abh. vom Bandsteigungswinkel $0^\circ - 30^\circ$)
 η_2 ... Korrekturfaktor für die Ungleichförmigkeit der
Beschickung [-]; (0,5 – 1,0 abh. vom Ladegerät

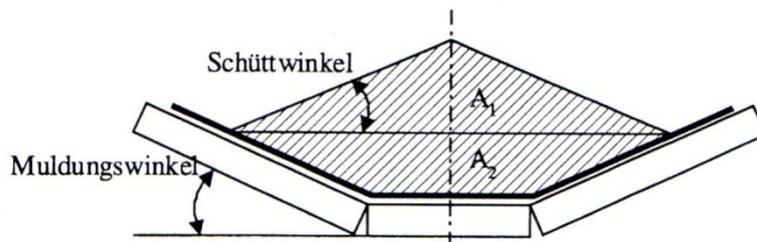


Abbildung 26: Füllquerschnitt einer Bandförderanlage¹⁰⁷

¹⁰⁶ Girmscheid, 2000, S.287.

¹⁰⁷ Ebenda, S.262.

Gurtbreite [mm]	Schüttwinkel	Muldungswinkel				
		20°	25°	30°	35°	45°
500	10°	0,0167	0,0188	0,0205	0,0220	0,0244
	15°	0,0200	0,0221	0,0237	0,0250	0,0268
	20°	0,0238	0,0256	0,0270	0,0282	0,0298
650	10°	0,0300	0,0336	0,0336	0,0394	0,0441
	15°	0,0360	0,0398	0,0424	0,0447	0,0487
	20°	0,0425	0,0460	0,0485	0,0505	0,0540
800	10°	0,0470	0,0525	0,0575	0,0620	0,0685
	15°	0,0570	0,0623	0,0665	0,0700	0,0756
	20°	0,0665	0,0720	0,0760	0,0790	0,0837
1000	10°	0,0750	0,0850	0,0925	0,0990	0,1095
	15°	0,0910	0,1000	0,1070	0,1130	0,1210
	20°	0,1070	0,1160	0,1220	0,1270	0,1340
1200	10°	0,1110	0,1240	0,1360	0,1460	0,1620
	15°	0,1325	0,1470	0,1570	0,1660	0,1780
	20°	0,1570	0,1700	0,1790	0,1870	0,1970
1400	10°	0,1530	0,1720	0,1870	0,2010	0,2220
	15°	0,1840	0,2020	0,2160	0,2280	0,2450
	20°	0,2170	0,2340	0,2470	0,2580	0,2710
1600	10°	0,2020	0,2260	0,2470	0,2650	0,2950
	15°	0,2430	0,2680	0,2860	0,3020	0,3260
	20°	0,2870	0,3140	0,3260	0,3400	0,3610

Tabelle 16: Theor. Füllquerschnitte für 3-teilig gemuldete Gurte¹⁰⁸

Durch die hohe Leistungsfähigkeit von Streckenförderbändern können heute je nach Vortriebsleistung pro Tag Mengen von 8000 m³ aus dem Tunnel gefördert werden.

Streckenförderband stationär¹⁰⁹, Gurtbreite 1000 mm, Q = 1000 m³/h, v = 2,5 m/s

Elektronik	€ 163000
Abwurfkopf	€ 18000
Bandantrieb (1 x 160 kW)	€ 167000
Bandspeicher	€ 137000
Aufgabestelle	€ 8000
Pendelumkehr	€ 122000
Sonstiges	€ 28000

¹⁰⁸ Girmscheid, 2000, S.262.

¹⁰⁹ www.helogistik.de – 30.05.2008.

Basispreis	€ 640000
Gurte (EP 400, 4+3K)	€ 7,8/lfm
Bandtraggerüst	€ 11/lfm

Neupreis 10 km Streckenförderband	€ 828000
Neupreis 5.0 km Streckenförderband	€ 734000
Neupreis 2.5 km Streckenförderband	€ 687000

Länge	Gurtbreite	Massenstrom		mittlerer Neuwert	monatliche Reparaturkosten	monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag
	mm	t/h		Euro	Euro	Euro
10 km	1000	1000		828000	11592	18479,4
5.0 km	1000	1000		734000	10276	16368,2
2.5 km	1000	1000		687000	9618	15320,1

$$V_{\text{Ortsbrust}} = 154 \text{ fm}^3$$

$\text{Reparatur} = \frac{11592 \cdot 0,6}{172} = 40,44 \text{ €/h}$ $A/V = \frac{18479,4 \cdot 0,5}{172} = 53,72 \text{ €/h}$ $\text{Betriebsstoffe} = \frac{160 \cdot 0,2}{1} = 32,0 \text{ €/h}$	<p>2.5 km: 157,29 €/h bzw. 2,62 €/min</p> <p>5.0 km: 162,63 €/h bzw. 2,71 €/min</p> <p>10 km: 173,36 €/h bzw. 2,89 €/min</p>
<p>Schmierstoffe (10% der Betriebsstoffe) = 3,20 €/h</p> <p>Kosten pro Betriebsstunde = 129,36 €/h = 2,16 €/min</p>	

$$\text{Wartungsarbeiter} = 44,00 \text{ €/h} = 0,73 \text{ €/min}$$

Transportlänge [km]	Umlaufzeit $v = 150 \text{ m/min}$ [min]	Kosten pro Hub [Euro]	Kosten pro m ³ [Euro]
2.5	16,6	43,49	0,28
5.0	33,3	90,24	0,59
10.0	66,6	192,47	1,25

6.3.2.5 ZUSAMMENFASSUNG

6.3.2.5.1 EINRÖHRIGE TUNNELS

Um einen Kostenvergleich der unterschiedlichen Schutterungsarten zu erhalten, wurde in *Tabelle 17* der Aufwand des Materialabtransportes (Material und Personal) eines Hubes pro m³ bzw. lfm – Tunnel berechnet. In weiterer Folge können die Kosten auch auf einen Arbeitstag (angenommener Vortrieb pro Tag 20 lfm) umgelegt werden.

In dieser Rechnung wurden die Einrichtungskosten der unterschiedlichen Transportarten nicht berücksichtigt. Im Falle der gleisgebundenen Schutterung würde dies die Errichtung und Instandhaltung des Schienennetzes und die laufende Wartung (eigene Werkstatt) der Zuggarnituren umfassen. Die Einrichtungskosten beim Streckenförderband ergeben sich aus dem Aufbau (u.a. Bandspeicher) und aus der durch den Baufortschritt bedingten Verlängerung der Anlage sowie den laufenden Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen.

Insbesondere bei kurzen Tunnelbaustellen mit größeren Querschnitten wird man auf die gleislose Schutterung (Pneu – Betrieb) zurückgreifen, da hier kaum Einrichtungskosten entstehen und ohne lange Vorarbeiten (Zeitfaktor – Errichtung Schienennetz, Aufbau Bandanlage) der Betrieb aufgenommen werden kann.

Bei längeren Transportwegen (Verwendung TVM) zeigt sich hingegen, dass bei der gleislosen Schutterung durch die längeren Anfahrsstrecken zusätzliche LKW's benötigt und dadurch höhere Kosten verursacht werden. Hier ist es zweckmäßig auf die gleisgebundene Schutterung bzw. Streckenförderbandbetrieb (Zeit- und Kostenfaktor) umzusteigen.

Ein Vorteil des Förderbandes ist die variable Positionierung des Abwurfkopfes an einer Zwischenlagerstätte (Materialtriage) oder eine Verlängerung des Bandes in Richtung Deponie.

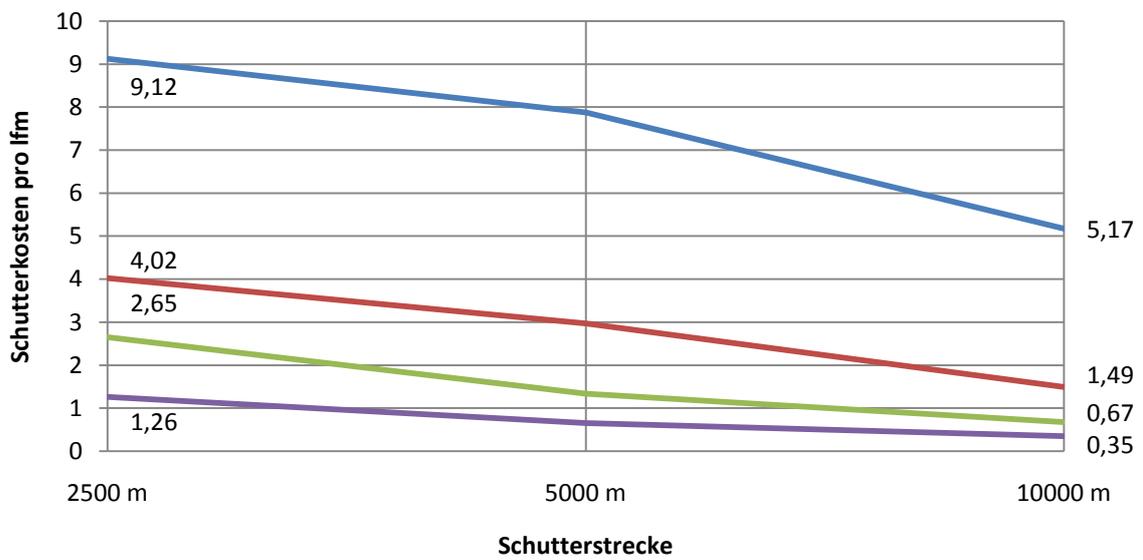
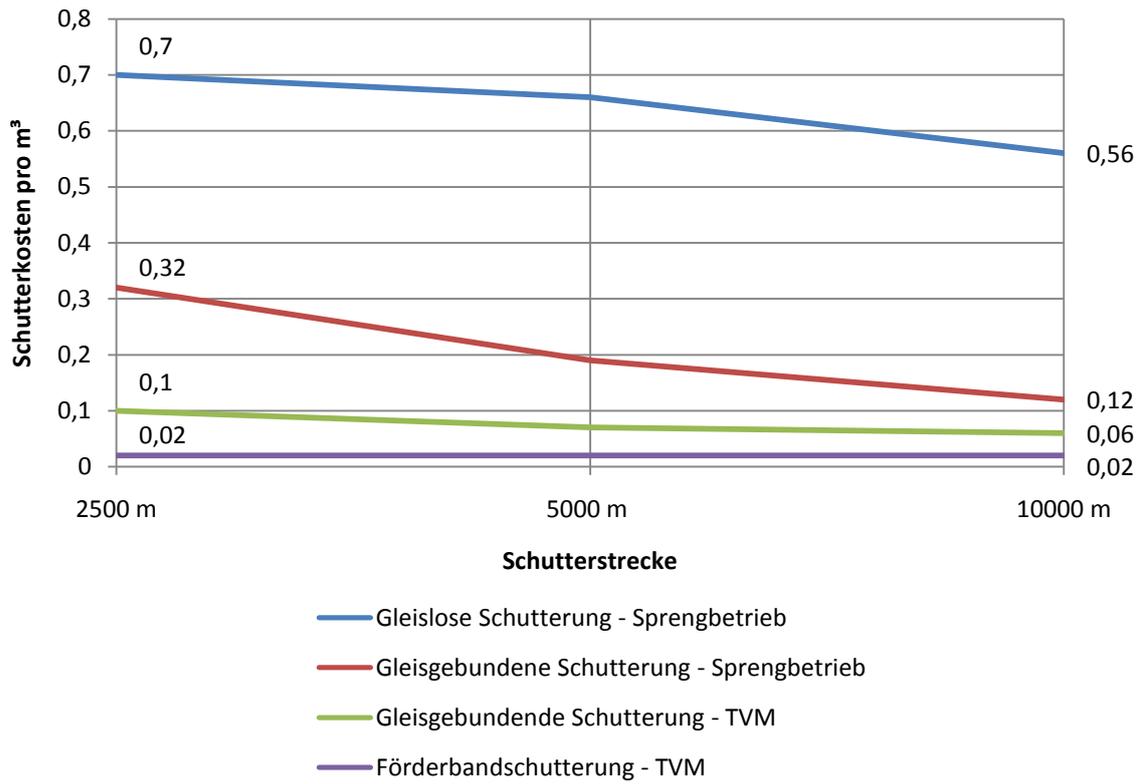


Diagramm 1: Überblick der unterschiedl. Transportkosten bei einröhrigen Tunneln

		Gleislose Schutterung (Muldenkipper)	Gleisschutterung bei Sprengbetrieb			Gleisschutterung bei TBM – Vortrieb	Bandschutterung
Transportmenge [fm³]		154	154			157	154
Radlader		1	1			-	-
Muldenkipper	2.5 km	5	-			-	-
	5.0 km	9	-			-	-
	10.0 km	15	-			-	-
Lokomotive		-	1	1*	2**	1	-
Kastenkipper	2.5 km	-	9	9*	-	9	-
	5.0 km	-	9	-	18**	9	-
	10.0 km	-	9	-	18**	9	-
Förderband	2.5 km	-	-			-	1
	5.0 km	-	-			-	1
	10.0 km	-	-			-	1
pro Hub bzw. Abschlag							
Transportlänge [km]		Kosten pro m³ [Euro]	Kosten pro m³ [Euro]			Kosten pro m³ [Euro]	Kosten pro m³ [Euro]
2.5		11,35	5,17			1,55	0,28
5.0		21,29	6,32			2,26	0,59
10.0		36,47	7,85			3,72	1,25
Transportlänge [km]		Kosten pro lfm [Euro]	Kosten pro lfm [Euro]			Kosten pro lfm [Euro]	Kosten pro lfm [Euro]
2.5		0,70	0,32			0,10	0,02
5.0		0,66	0,19			0,07	0,02
10.0		0,56	0,12			0,06	0,02
pro Tag (20 m Vortrieb)							
Transportmenge [fm³]		1540	1540			1570	1540
		24h	24h			20h	20h
Transportlänge [km]		Kosten pro lfm [Euro]	Kosten pro lfm [Euro]			Kosten pro lfm [Euro]	Kosten pro lfm [Euro]
2.5		9,12	4,02 *			2,65	1,26
5.0		7,87	2,97 **			1,33	0,65
10.0		5,17	1,49 **			0,67	0,35

Tabelle 17: Überblick über die unterschiedl. Transportkosten bei einröhrigen Tunneln

6.3.2.5.2 ZWEIRÖHRIGE TUNNELS

Bei zweiröhrigen Tunnelbauwerken kann durch eine kurze Förderbandverbindung über einen Querschlag ein zweites Förderband (über die gesamte Länge) vermieden werden. Dadurch kommt es zu keiner Verdopplung der Transportkosten wie bei der gleislosen bzw. gleisgebundenen Schutterung. Hier muss der Abtransport über jede Röhre getrennt durchgeführt werden. Bezüglich Einrichtungskosten wird auf *Kapitel 6.3.2.5.1* verwiesen.

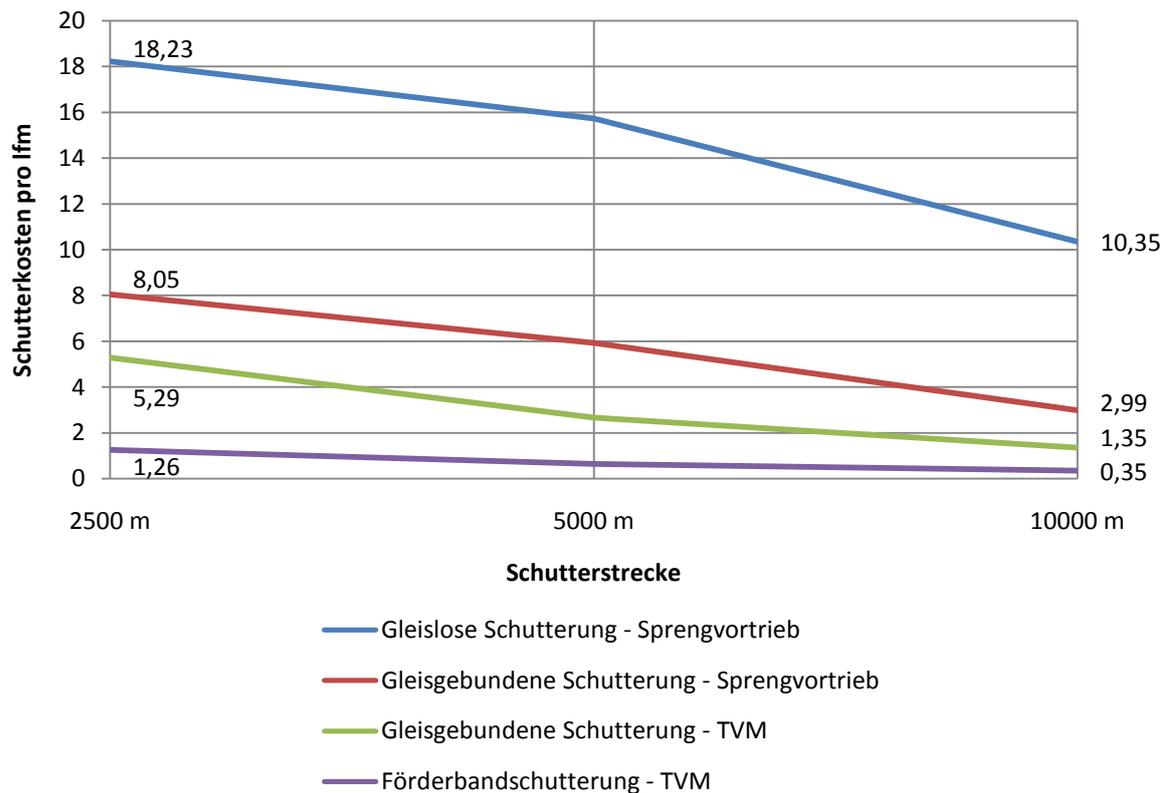


Diagramm 2: Überblick der unterschiedl. Transportkosten pro lfm bei zweiröhrigen Tunneln

		Gleislose Schutterung (Muldenkipper)	Gleisschutterung bei Sprengbetrieb		Gleisschutterung bei TBM – Vortrieb	Bandschutterung
Transportmenge [fm³]		3080	3080		3140	3080
		24h	24h		20h	20h
Radlader		2	2		-	-
Muldenkipper	2.5 km	10	-		-	-
	5.0 km	18	-		-	-
	10.0 km	30	-		-	-
Lokomotive		-	2	4	2	-
Kastenkipper	2.5 km	-	18	-	18	-
	5.0 km	-	-	36	18	-
	10.0 km	-	-	36	18	-
Förderband	2.5 km	-	-		-	1
	5.0 km	-	-		-	1
	10.0 km	-	-		-	1
pro Tag (20 m Vortrieb)						
Transportlänge [km]		Kosten pro m³ [Euro]	Kosten pro m³ [Euro]		Kosten pro m³ [Euro]	Kosten pro m³ [Euro]
2.5		14,80	6,53	-	4,22	1,00
5.0		25,54	-	9,63	4,24	1,04
10.0		33,59	-	9,70	4,30	1,10
Transportlänge [km]		Kosten pro lfm [Euro]	Kosten pro lfm [Euro]		Kosten pro lfm [Euro]	Kosten pro lfm [Euro]
2.5		18,23	8,05	-	5,29	1,26
5.0		15,73	-	5,93	2,66	0,65
10.0		10,35	-	2,99	1,35	0,35

Tabelle 18: Überblick über die unterschiedl. Transportkosten bei zweiröhriigen Tunneln

6.3.3 BETON

Beton und Spritzbeton zählen zu den wesentlichen Bestandteilen eines Tunnelbauwerkes.

Der Beton wird in Form von Spritzbeton z.B. zur Ausbruchssicherung, sowie als Normalbeton z.B. für die Tunnelinnenschale verwendet.

Unterschiedliche Arten der Betonproduktion¹¹⁰:

- Baustellenbeton: Beton, der auf der Baustelle vom Verwender des Betons für seine eigene Verwendung hergestellt wird.
- Transportbeton: Beton, der in frischem Zustand durch eine Person oder Stelle geliefert wird, die nicht der Verwender ist. Transportbeton im Sinne der Norm ist auch
 - vom Verwender außerhalb der Baustelle hergestellter Beton
 - auf der Baustelle nicht vom Verwender hergestellter Beton.

Im Tunnel können folgende, die Betonqualität negativ beeinflussende Randbedingungen auftreten:

- erhöhte Umgebungstemperatur beim Einbau
- erhöhte Luftfeuchtigkeit
- Wasserzutritt
- lange Antransportzeit.

Aus diesen Gründen sind umfangreiche Voruntersuchungen notwendig, um die erforderliche Betonqualität gewährleisten zu können. Durch die wechselnden Umgebungsbedingungen in einem Tunnel muss die Betonrezeptur einer laufenden Kontrolle unterzogen werden, um diese nötigenfalls sofort an geänderte Randbedingung anpassen zu können.

Zusätzlich zu den gegebenen örtlichen Randbedingungen ergeben sich besondere Anforderungen an den Tunnelbeton, durch den Betoneinbau bzw. durch von Normen vorgegebene Betoneigenschaften.

¹¹⁰ ÖNORM EN 206-1, 2005, S.12.

Eigenschaften und Anforderungen¹¹¹ von Tunnelbeton:

- hohe Ausschalfestigkeit
- hohe Frühfestigkeit
- erhöhte Brandbeständigkeit
- verminderte Rissbildung
- Wassereindringwiderstand
- Dauerhaftigkeit (z.B. Beständigkeit gegenüber chemischen Angriffen, Frostwiderstand)
- Verarbeitbarkeit bedingt durch lange Lieferzeiten.

Neue Entwicklungen wurden erarbeitet, die eine Verarbeitungszeit von bis zu 9,5 Stunden bei einer Frühfestigkeitsentwicklung von 5 N/mm² erzielen.

In Spitzenzeiten werden bei großen Tunnelbauwerken Mengen von bis zu 850 m³ täglich von den verschiedenen Gewerken eingebaut. Um die Produktion dieser enormen Betonmengen sicherstellen zu können, ist der Betrieb einer eigenen Produktionsanlage (*Kapitel 6.3.3.3*) auf dem Baustelleneinrichtungsplatz oder in einer Tunnelkaverne von Vorteil. Neben der reinen Transportzeit müssen auch allfällige Wartezeiten berücksichtigt werden, daher ist ein Aushärten des Betons in den Transportwagen unbedingt zu vermeiden, weil sowohl das Material als auch das Fahrzeug unbrauchbar wäre.

Um den oben genannten Anforderungen genüge zu leisten, erfolgt die Anlieferung gleisgebunden, eine Möglichkeit wäre der Transport in Kaskadenmischern, mit einem Volumen von 12 m³, die während der Fahrt durch die Lokomotive um die eigene Achse gedreht werden können. Durch die Rotation, in Verbindung mit einer innenliegenden Mischspirale, erfolgt eine ständige Durchmischung des Frischbetons. Je nach Verwendung des Betons für Sohlbeton, Spritzbeton, Querschläge oder Innenschale werden eigene Garnituren verwendet.

¹¹¹ ÖNORM EN 206-1, 2005, S.35.



Bild 10: Betonmischer
oben Nachmischer; unten Kaskadenmischer¹¹²



6.3.3.1 SPRITZBETON

Für eine Klassifikation der Spritzbetonverfahrenstechniken werden die Ausgangsmischungen (Trocken- oder Nassmischgut) in der Spritzmaschine, die Art der Materialförderung und die Art der Wasserzugabe bzw. des Erstarrungsbeschleunigers vor der Düse als Unterscheidungskriterien herangezogen. Dadurch ergeben sich drei übergeordnete Spritzbetonverfahren (*Tabelle 19*):

- Trockenspritzverfahren mit ofentrockenem Mischgut
- Trockenspritzverfahren mit naturfeuchtem Mischgut
- Nassspritzverfahren im Dicht- oder Dünnstromverfahren.

¹¹² Pacher, 2007, S.6.

Die Hauptaufgaben des Spritzbetons sind¹¹³:

- temporäre Sicherung des anstehenden Gebirges
- Oberflächenversiegelung
- Verfüllen von Hohlräumen infolge Mehrausbruchs
- Ausgleichsschichten
- endgültiger Tunnelausbau.

Eigenschaften und Anforderungen^{114, 115} an den Spritzbeton im Tunnelbau sind:

- Erreichen einer definierten Festigkeitsklasse unter Berücksichtigung der Frühfestigkeit
- rasches Erstarren durch Zugabe von Erstarrungsbeschleunigern
- hohe Frühfestigkeit
- Wassereindringwiderstand
- Zurückdrängen von flächigem Wasserzutritt
- hohe Auftragsleistung auch Überkopf
- gute Haftung am Untergrund
- Dauerhaftigkeit (z.B. Beständigkeit gegenüber chemischen Angriffen, Frostwiderstand)
- geringe Staubentwicklung.

Ein historischer Rückblick über die Verfahren wurde schon in Kapitel 4.1.3 gegeben.

¹¹³ Girmscheid, 2005, S.283.

¹¹⁴ ÖNORM EN 206-1, 2005, S.35.

¹¹⁵ ÖNORM EN 14487-1, 2006, S.19.

	Trockenspritzbeton			Nassspritzbeton
Wassergehalt der Gesteinskörnung	$W < 0,2 \text{ M-\%}$	Regelbereich $W = 2,0 - 4,0 \text{ M-\%}$ Streubereich $W = 1,5 - 5,0 \text{ M-\%}$		$W \leq 8,0 \text{ M-\%}$
Bezeichnung	Trockenmischgut	Feucht – Mischgut lagerfähig	Feucht – Mischgut mit sofortiger Anwendung	Nass – Mischgut (Pumpbeton)
Kurzbezeichnung	TM	FM–L	FM–S	NM
Bindemittel	Tunnelzement (TZ) und Zusatzstoffe oder SBM–T, –FT	Tunnelzement (TZ) und Zusatzstoffe	SBM–FT	Tunnelzement (TZ) und Zusatzstoffe
Beigabe des EB	fallweise in der Mischanlage	bei der Verarbeitung	(fallweise bei der Verarbeitung)	bei der Verarbeitung
Herstellung	Werks- oder Baustellenmischung (Trockenanlage)	Werks- oder Baustellenmischung	Durchlaufmischung bei Verarbeitung	Werks- oder Baustellenmischung
Lagerung	geschlossen (z.B. Silo, Sack)	geschützte Lagerung erforderlich	unkompliziert	geschützt
Verfügbarkeit	keine Einschränkung	begrenzt verfügbar	keine Einschränkung	begrenzt verfügbar
Bereitstellung (ohne Langzeitverzögerung)	Bevorratung nach Bedarf	Produktion auf Bevorratung, Verarbeitung innerhalb der Lagerzeit	Produktion für unmittelbaren Bedarf	Produktion auf Bevorratung, Verarbeitung innerhalb der
Mischgutförderung	Dünnstrom (Dosierblasschnecke)	Dünnstrom (Rotorspritzmaschine)	Dünnstrom (Rotorspritzmaschine)	Dichtstrom (Kolbenpumpe)
Geräte	Dosierblasschnecke, kompaktes Spritzmobil oder Silo + Fördereinheit	Hydrokuli, Förderband, Dosiereinrichtung für EB und Zement, SpB – Maschine	fahrbare oder stationäre Misch- und Aufgabereinheit, SpB - Maschine	kompaktes Spritzmobil, Transportbetonmischer
Förderleitung	Schlauch- oder Rohrleitung	Schlauch- oder Rohrleitung	Schlauch- oder Rohrleitung	Rohrleitungen (analog Pumpbeton)
Wasserzugabe	Hauptbenetzungs- bzw. Vorbenetzungsdüse erforderlich	Hauptbenetzungsdüse	Hauptbenetzungsdüse	direkt in der Transport- oder Baustellenmischanlage
Erstarrungsbeschleunigerzugabe	bereits im Mischgut enthalten	Dosierung für flüssige und pulverförmige EB an der Düse	bereits im Mischgut enthalten	Dosierungseinrichtung für flüssige und pulverförmige EB an der Düse
Spritzdüse	gute Vermischung von Mischgut und Wasser	gute Vermischung von Mischgut, Wasser und bei Bedarf auch EB	gute Vermischung von Mischgut, Wasser und bei Bedarf auch EB	beim Dichtstromfahren muss der Dichtstrom durch die Düse aufgelockert und beschleunigt werden. Die Düse hat nur Leitfunktion
Düsenführung	manuell/Spritzmanipulator	manuell/Spritzmanipulator	manuell/Spritzmanipulator	Spritzmanipulator

Tabelle 19: Überblick über die Spritzbetonverfahrenstechnik¹¹⁶

¹¹⁶ Goger, 2003, S.40.

Legende zu <i>Tabelle 19</i> :	SB	Erstarrungsbeschleuniger
	SpB	Spritzbeton
	SpB – Maschine	Spritzbetonmaschine
	SBM–T	Spritzbindemittel für SpB mit trockenen Zuschlägen
	SBM–FT	Spritzbindemittel für SpB mit feuchten Zuschlägen

6.3.3.1.1 TROCKENSPRITZVERFAHREN MIT OFENTROCKENEM MISCHGUT

Die Anforderungen an den Feuchtegehalt des Mischgutes liegen bei max. 0,2 Massen-%, die sowohl bei der Herstellung als auch bei der Lagerung und Transport berücksichtigt werden müssen. Das Trockenmischgut setzt aus trockenen Zuschlägen mit Tunnelzement oder mit Spritzbindemittel zusammen.

Für die Anwendung im Tunnelbau wird das Mischgut an der Spritzdüse, unter entsprechendem Druck, mit Wasser vermischt und verarbeitet. Der eventuell erforderliche Erstarrungsbeschleuniger ist bereits im Mischgut enthalten.

6.3.3.1.2 TROCKENSPRITZVERFAHREN MIT NATURFEUCHTEM MISCHGUT

Das Feuchtmischgut besteht aus naturfeuchten Zuschlägen (2,0 – 4,0 Massen-% Eigenfeuchte), Tunnelzement und Zusatzstoffen. Die Zugabe von Erstarrungsbeschleuniger erfolgt direkt bei der Verarbeitung. Auch hier wird das Mischgut an der Spritzdüse mit Wasser vermischt und anschließend auf den Untergrund aufgebracht.

6.3.3.1.3 NASSSPRITZVERFAHREN

Beim Nassspritzverfahren werden Gesteinskörnung, Tunnelzement, Zusatzstoffe und Wasser entweder auf der baustelleneigenen Mischanlage oder in einem Transportbetonwerk gemischt und anschließend zum Einbauort transportiert. Die Verarbeitbarkeit darf i. d. R. 90 Minuten nicht überschreiten, kann aber durch Zugabe von Verzögerern verlängert werden. Man unterscheidet zwei Verfahren der Förderung:

- im Dichtstrom: das Nassmischgut wird an die Nassspritzmaschine übergeben und mittels einer Pumpe zur Spritzdüse gefördert und dort wird der Dichtstrom mit Druckluft aufgerissen und beschleunigt.

- im Dünnstrom: der Unterschied zum Dichtstromverfahren liegt darin, dass das Naschmischgut bereits mit Druckluft von Rotorspritzmaschine zur Spritzdüse gefördert wird.

Aufgrund der hohen erzielbaren Spritzleistungen und den daraus resultierenden Kräfte an der Düse erfolgt der Auftrag des Nassspritzbetons grundsätzlich mit ferngesteuerten, maschinell geführten Spritzbetonmanipulatoren.

6.3.3.2 BETONFERTIGTEILE

Definition Betonfertigteile¹¹⁷: Betonprodukt, das an einem anderen Ort als dem endgültigen Ort der Verwendung hergestellt und nachbehandelt wird.

Die Herstellung von Fertigteilen (Tübbing) erfolgt meistens auf baustelleneigenen Betonwerken¹¹⁸. Die Tübbingproduktion erfolgt in Umlauffertigung¹¹⁹, welche folgende Punkte gewährleistet:

- optimale Erhärtingsbedingungen und verkürzte Ausschalzeiten durch Wärmebehandlung im Wärmetunnel
- geringere Anzahl von Schalungen durch tägliche Mehrfachbelegung
- Optimierung der Arbeitsabläufe.

Um die 28 Tage – Festigkeit zu erreichen, erfolgt die Produktion im Vorlauf, also schon vor dem eigentlichen Beginn des Tunnelvortriebs. Ausgelegt wird die Herstellungsleistung nach benötigter Stückzahl, geplanter Vortriebsgeschwindigkeit und vorhandener Vorlaufzeit. Dies wiederum bedingt, dass die Produktionsanlage bereits vor Beginn des Tunnelvortriebs mit der Fertigung beginnt.

Je nach Ausführung kann der Tübbing entweder schlaff bewehrt für die Außenschale der zweischaligen Bauweise oder durch Zugabe von Stahl- oder Polypropylenfasern für die einschalige Bauweise hergestellt werden. Durch eine Wärmebehandlung kann beim Erhärten des Betons die Festigkeitsentwicklung maßgebend beeinflusst werden. Die Luftfeuchtigkeit und die Temperatur lassen sich so kontrollieren, dass eine optimale Hydratation und Festigkeitsentwicklung gewährleistet wird. Um Spannungsrisse infolge von Temper-

¹¹⁷ ÖNORM EN 206-1, 2005, S.13.

¹¹⁸ Diewald, 2007, S.2.

¹¹⁹ Girmscheid, 2005, S.341.

aturdifferenzen zu vermeiden, werden die Tübbinge nach Fertigstellung einen Tag in der Halle zwischengelagert, bevor sie am Lagerplatz auf ihre Verwendung warten.

Zur Qualitätssicherung werden vor Beginn der Serienproduktion alle Vorgaben der einzelnen Fertigungsschritte sowie deren Kontrolle festgelegt, u.a. enthält die Liste folgende Voraussetzungen:

- Vorgaben an die Betonzusammensetzung
- Güteüberwachung für den Beton
- Toleranzvorgaben für die Schalung und den Tübbing selbst, inkl. Vermessung
- Temperatursteuerung für den Härteprozess
- Speicherung aller Daten jedes einzelnen Tübbings.

Die Fertigungstoleranzen befinden sich im Millimeterbereich, darum wird die Schalung regelmäßig vermessen, um Abweichungen verhindern und eventuelle Veränderungen nachjustieren zu können.

Die Lage jedes einzelnen Tübbings im Tunnel ist schon vor der Produktion vorherbestimmt, deshalb kann schon bei der Produktion auf bestimmte Besonderheiten des Gebirges eingegangen werden und so individuell gefertigt werden. Durch die Identitätsnummer wird der Tübbing in einer Datenbank gespeichert und kann so im Tunnel seiner entsprechenden Position eingebaut werden.

Die Kennzeichnung umfasst üblicherweise folgende Angaben:

- Materialnummer
- Erzeugungsdatum/Losnummer
- Bezeichnung – Tübbingtyp (z.B. Schlussstein oder Sohlstein)
- Gewicht
- Lagerplatznummer
- Schalungsnummer
- erstellt nach Plannummer/Version.

Die Ringbreite der Tübbinge kann zwischen 60 cm und 2.50 m variieren. Der Einbau der Tübbingringe im Tunnel erfolgt mit der TVM durch den Erektor.



Bild 11: Betonproduktion am Baustellengelände (Wienerwaldtunnel)
oben baustelleneigenes Betonwerk mit angeschlossener Tübbingproduktion
unten links Tübbinglagerplatz; unten rechts Qualitätskontrolle



Schäden an den Tübbingungen können durch unsachgemäßen Transport, beim Ausschalen oder beim Einbau durch den Erektor auftreten, in den seltensten Fällen gefährden sie jedoch die Tragfähigkeit des Ringes. Abplatzungen (siehe Bild oben, rot gekennzeichnet) können einfach mit Reparaturmörtel ausgebessert werden.

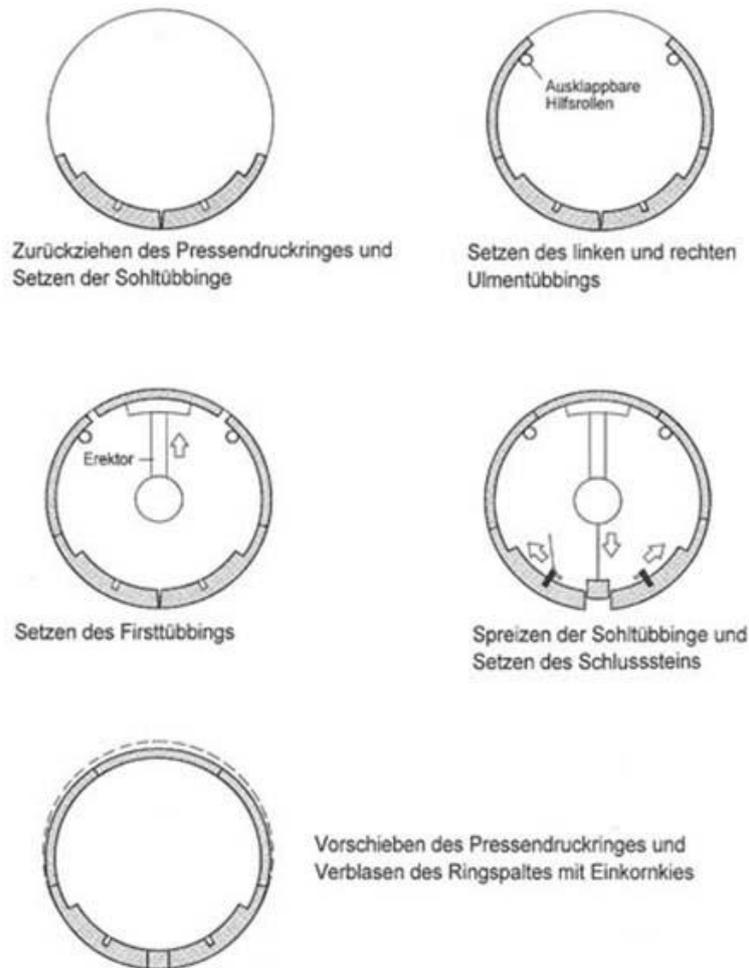


Abbildung 27: Ringbau eines sechsteiligen Tübbingringes (5+1)¹²⁰

6.3.3.3 BETONPRODUKTIONSANLAGE AM BAUSTELLENGELÄNDE

Hinsichtlich der Versorgungssicherheit stellt insbesondere die Entfernung des Tunnelbauprojektes zur nächsten Betonproduktionsanlage ein wesentliches Kriterium für die Entscheidung über die Errichtung einer eigenen Aufbereitungs- bzw. Betonmischanlage dar.

Vorteile einer Produktionsanlage am Baustellengelände:

- geringe Fahrdistanzen
- 24 Stunden Versorgung bei Durchlaufbetrieb
- keine externe Abhängigkeiten (Stau, Nachtfahrverbot, Transport durch bewohntes Gebiet, höchstzulässige Nutzlasten).

¹²⁰ Maidl, 2001, S.276.

Wobei eine Spitzenabdeckung von Betonwerken aus der näheren Umgebung abgedeckt werden kann.

Der Güteverband für Transportbeton verfügt über 130 Mitgliedsunternehmen¹²¹ mit 217 Transportbetonwerken.

Fläche Österreich:	84 000 km ²
Transportbetonwerke:	217
jährliche Produktionsmenge:	9,7 Mio. m ³

Dies entspricht einer durchschnittlichen Jahresproduktion von 44 700 m³ pro Werk in einem durchschnittlichen Radius von 11,1 km.

Erfüllt die Tunnelbaustelle diese Anforderungen an die benötigte Spritzbeton-, Innenschalenbetonmengen bzw. Fertigteilproduktion (Tübbing) wird man die Errichtung einer Produktionsanlage am Baustellengelände als Option in Betracht ziehen.

Eckdaten Produktionsanlage Wienerwaldtunnel (Länge 2x 12.8 km)¹²²:

57 336	Betonfertigteile – Tübbinge
9556	Tübbingringe
120	Tübbinge pro Tag
500 m ³	Betonproduktion pro Tag für Fertigteile
4800 m ²	Produktionshalle
18 000 m ²	Lagerplatz – entspricht 20 000 Fertigteilen

¹²¹ www.gueteverband-transportbeton.at – 8.07.2007.

¹²² www.maba.at – 8.07.2007.

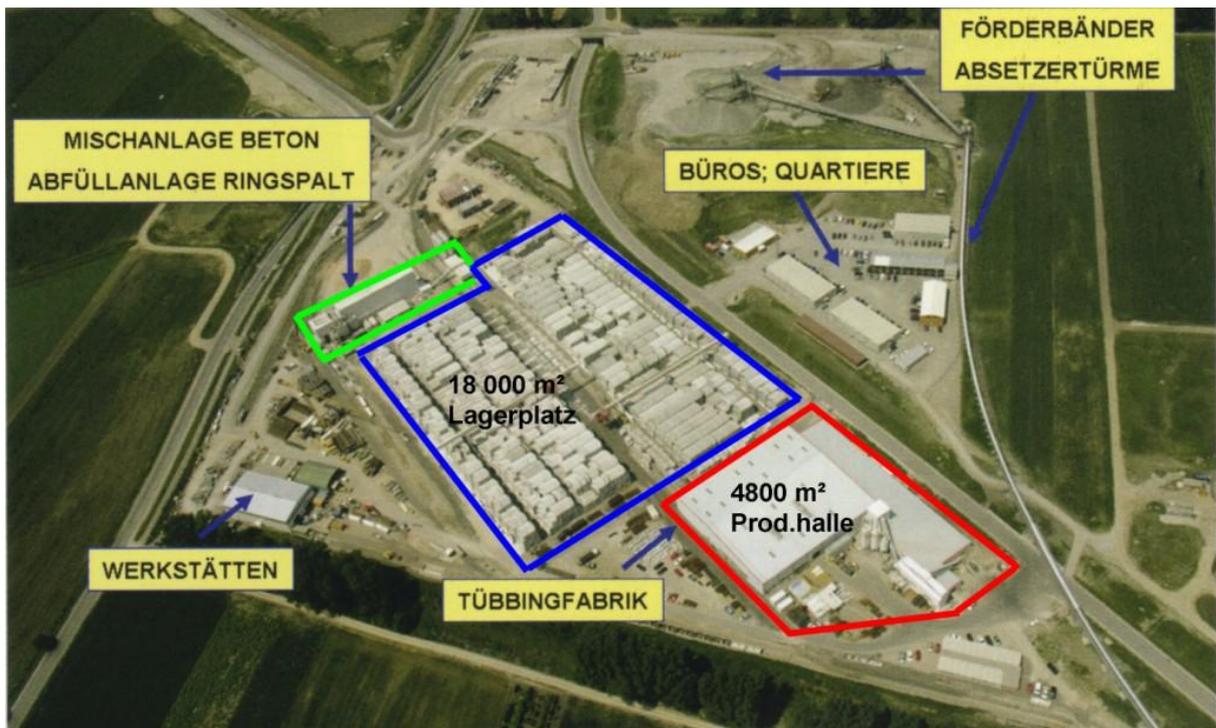


Bild 12: Baustelleneinrichtung Wienerwaldtunnel, Chorherr¹²³

6.3.3.4 STAHL- ODER GUSSEISENTÜBBINGE

Neben den am häufigsten verwendeten Stahlbetontübbingen kommt auch Stahltübbinge zur Anwendung. Durch die aufwendige Herstellung kommen sie nur noch selten zum Einbau, nachteilig ist auch die Korrosivität.

6.3.4 STÜTZMITTEL

Der Einbau von Stützmittel erfolgt zur Stabilisierung der Hohraumbaung und somit zum Schutz der Mannschaft und der Geräte. Beim Stützen soll das Gebirge unter Verwendung verschiedenster Stützmittel in seinem Tragverhalten unterstützt werden. Je nach angetroffenem Gebirge sind unterschiedliche Maßnahmen zu treffen, die sich in Art und Umfang erheblich unterscheiden können. Unter Umständen kann unerwartet schlechtes Gebirge anstehen/angetroffen werden und hier sind umfangreiche Sofortmaßnahmen zu ergreifen. Daher ist eine ausreichende Lagerung der Stützmittel am Nachläufer bzw. direkt hinter dem Bohrkopf sicherzustellen. Beim zyklisch (konventionellen) Vortrieb lagern die Stützmittel in unmittelbarer Nähe der Ortsbrust.

¹²³ Rath, 2007, S.7.

Zu diesen zählen u.a.:

- Spritzbeton
- Stahlbögen
- Bewehrungsmatten
- Anker
- Spieße
- Injektionsspieße.

6.4 LEITUNGSGEBUNDENE TRANSPORTS

Mit leitungsgebundenen Systemen werden Flüssigkeiten, Gase und Energie transportiert. Zu den Flüssigkeiten¹²⁴ zählen:

- Wasser (Nutz-, Berg- und Schmutzwasser)
- Druckluftversorgung für Notfall- oder Fluchtcontainer
- Injektionsleitungen für Suspensionen, Pumpbeton, Spritzbeton
- Ausbruchsmaterial bei Flüssigförderung.

Ihr Transport erfolgt in der Regel durch Rohrleitungen, wobei sich das Material der Rohre je nach Flüssigkeit unterscheiden kann (Stahl-, Gusseisen- oder PVC – Rohr). Die Länge der Transportleitungen lassen sich beliebig lang erweitern, wobei jedoch zu sagen ist, dass der Unterhalt mit der Distanz steigt.

Der letzte Nachläuferwagen dient im Wesentlichen der allgemeinen Leitungsverlängerung, über Schlauchtrommeln können die Leitungen während des Vortriebes durch Abrollen ununterbrochen verlängert werden. Während eines Hubes oder in der Wartungsschicht erfolgt die planmäßige Verlängerung der Rohrleitungen und die Schlauchtrommeln werden wieder aufgerollt und stehen für das folgende Vortriebsintervall wieder zur Verfügung.

Im Tunnelinneren verlaufen die Leitungen entweder an der Tunnelsohle oder werden an der Schale seitlich befestigt.

Grundsätzlich erfolgt die leitungsgebundene Versorgung eines zwei- oder mehrröhrigen Tunnels über jede einzelne Röhre, d.h. im Falle eines Ausfalles kann man diese über den anderen Strang mitversorgen.

¹²⁴ Lauffer, 2007, S.194.



Bild 13: Versorgungsleitungen zur Ortsbrust

6.4.1 WASSER

In diesem Abschnitt wird nur die Versorgung des Vortriebes mit Wasser betrachtet, die Entsorgung des Berg- und Schmutzwassers erfolgt unter *Kapitel 9.2*.

Die für den Vortrieb nötige Wasserzufuhr für die Kühlung der TBM oder als Stützmittel für die SM erfolgt wiederum per Rohrleitung über den Nachläufer.

Für die Löschwasserversorgung sind alle 50 m Entnahmestellen vorzusehen.



**Bild 14: Rohrleitungseinsatz im Tunnelbau
oben Leitungsröhrlagerplatz
links Ver- und Entsorgungsleitungen (z.B.
Wasser, Ringspaltmörtel)**

6.4.2 RINGSPALTMÖRTEL

Den Hohlraum zwischen anstehendem Gebirge und versetzten Tübbingring nennt man Ringspalt, um diesen zu verfüllen, verwendet man einen Verpressmörtel oder Ringspalzmörtel. Die Verfüllung hat wesentlichen Einfluss auf das Tragverhalten der Tübbingringe.

Je nach geologischen Verhältnissen unterscheidet man zwischen zwei zeitlich unterschiedlichen Einbauarten:

- kontinuierliche Verpressung des Ringspaltes durch den Schildschwanz der Schildmaschine
- nachträgliche Verpressung durch Verpressstutzen in den Tübbing.

Im Lockergestein ist die erstgenannte Anwendung derzeit Stand der Technik. Die Verpressung muss gleichmäßig über den Tübbingring, über mehrere Öffnungen, erfolgen, um keine unzulässigen Verformungen oder Schäden an den Fertigteilen zu erhalten. Durch eine volumen- und druckgesteuerte Verfüllung werden sowohl Setzungen an der Oberfläche vermieden als auch ein kraftschlüssiger Verbund zwischen Ring und Baugrund erzielt. Sichergestellt wird dies durch entsprechende Überwachungs- und Steuerungseinrichtungen.

Beim Antransport über lange Druckleitungen kommt der Zusammensetzung der Mörtelrezeptur große Bedeutung zu. Das Absetz- und Abbindeverhalten ist bei der Auslegung des Leitungs- und Pumpsystems zu beachten. Während der Transportphase über mehrere Kilometer und der Verarbeitungsphase muss der Mörtel gute Fließeigenschaften besitzen und nach dem Einbau, dem Verpressen, in den Ringspalt möglichst schnell hohe Beanspruchungen aufnehmen. Eine schnelle Stabilisierung des Verpressmörtels ist wesentlich für eine Beschränkung der Verformung und Tragverhalten verantwortlich.

Bestandteil	Standard [kg/m ³]	Variationen [kg/m ³]
Zement	50	100 (150)
Füller	500	450 (400)
Bentonit	30	30
Sand 0/2	1084	1084
Wasser	ca. 200	ca. 200

Tabelle 20: Anhaltswerte für Ringspalzmörtel¹²⁵

¹²⁵ Girmscheid, 2005, S.344.

Im Festgestein hingegen ist die Rollkiesverfüllung¹²⁶ (Backfill Cravel) des Ringspalt mit Mörtelverpressung Stand der Technik. Der untere Teil des Tübbingringes, der Sohlbereich, wird mit Mörtel verpresst, um eine gute Bettung zu erzielen und das Wasser zu verdrängen. Der Mörtel wird radial über in den Schildschwanz integrierte Leitungen in den unteren Hohlraum eingebracht. Der Backfill Cravel wird in den oberen und seitlichen Hohlraum über radiale Öffnungen eingeblasen.

Zur Anwendung kommt gewaschenes Rundkorn oder gebrochenes und gesiebt Material mit \varnothing 8 – 12 mm. Sobald der Ringspalt ausgefüllt ist, ist das Tragsystem und die Formstabilität gegeben, sowie die volle Tragfähigkeit vorhanden.

Wenn der Tunnel wasserundurchlässig oder der Fels gegen Wassereinflüsse geschützt hergestellt werden soll, werden die in der Rollkiesmatrix verbleibenden Poren mittels Kontakt- und später mit einer Dichtinjektion verbessert.

Ziel der Kontaktinjektion ist die

- Rollkiesverfestigung und vollständigen Kontakt zum anstehenden Gebirge
- Verschluss der Fugen zwischen den Segmenten
- Riss- und Fehlstellen im Gebirge in Ringspaltnähe zu verbessern.

Ziel der Dichtinjektion ist eine

- Konsolidierung des Gebirges
- Abdichtung gegen Wasserzufluss
- Verkleinerung der Bereiche hohen Wasserdrucks.

Dazu wird die Injektionsmischung mit einem W/Z – Wert zwischen 0,8 – 1 und mit ca. 1 bis 2% Bentonit eingesetzt.

6.4.3 AUSBRUCHSMATERIAL BEI FLÜSSIGFÖRDERUNG

Die Vorteile einer hydraulischen Förderung liegen in der hohen kontinuierlichen Förderkapazität bei gleichzeitig geringem Querschnittsanspruch. Das Gemisch aus Ausbruchsmaterial und Suspension gelangt vom Abbaubereich über flexible Schläuche (Teleskoprohre) in die im Tunnel verlegte Transportleitung. Bei entsprechend feinkörnigen Böden können Förderstrecken von bis zu 2000 m mit einer Pumpe befördert werden, bei größeren Böden empfiehlt sich eine Anordnung der Pumpen alle 500 m. Gemische bis zu

¹²⁶ Girmscheid, 2005, S.344.

einer Dichte von $1,5 \text{ t/m}^3$ lassen sich noch störungsfrei pumpen, das Verpumpen mit höherer Dichte wird der Einsatz von Dickstoffkolbenpumpen empfohlen. Unnötig hohe Fördergeschwindigkeiten führen bei grobem Material zu relativ großem Verschleiß.

Nach der Trennung des Ausbruchsmaterials von der Suspension gelangt diese über eine zweite Rohrleitung (Stahlrohre mit Schnellkupplung) in den Kreislauf zum Schild zurück.

6.4.4 DRUCKLUFT

Im Brandfall oder bei Sprengungen (u.a. Querschläge) müssen die Flucht- und Rettungscontainern mit Luft versorgt werden. Die Druckluft ermöglicht in den Unterkünften eine rauchfreie Umgebung.

Die Versorgung im Tunnel kann einerseits durch Anlagen am Nachläufer der TVM, Hängebühnen beim zyklisch (konventionellen) Vortrieb oder durch Leitungen vom Baustellen- gelände sichergestellt werden.

6.4.5 STROM

Der Energietransport von elektrischem Strom über Hochspannungskabel stellt über längere Distanzen keine Schwierigkeit mehr dar. Bei langen Tunnelbauwerken ist es ratsam aus Gründen der Ausfallsicherheit zwei unabhängige Kabel zu verlegen. Eine unabhängige Stromversorgung während eines Unglücks im Tunnel muss in den Flucht- und Rettungscontainern immer gegeben sein, damit die Kommunikation mit der Leitzentrale bzw. Feuerwehr sichergestellt werden kann.

Wie in *Kapitel 5.1.3* schon erwähnt erfolgt der Anschluss über den letzten Nachläufer, von dort folgt die Einspeisung über eine Mittelspannungsschaltanlage in die Transformatoren. Sollte die Stromversorgung ausfallen, sorgt der automatische Start des Diesel – Notstrom- aggregats auf dem Nachläufer für den Notstrom, damit werden sowohl die Beleuchtung als auch die Steuerung der Anzeigen möglich.

Beim zyklischen (konventionellen) Vortrieb können Hängebühnen, die zur Unterbringung aller Infrastrukturaufbauten dienen, als Nachläufer eingesetzt werden.

6.4.6 LICHTWELLENLEITER

Der Lichtwellenleiter stellt eine wichtige Verbindung vom Inneren des Tunnels zum Baubüro dar. Wichtige Maschinendaten, wie Drehzahl, momentane Vortriebsleistung oder Ausbruchsmaterialmenge werden direkt an die Techniker des TVM – Herstellers übermittelt. Bei Problemen kann von außerhalb online auf das System zugegriffen und so Korrekturen durchgeführt werden. Neben den Maschinendaten werden auch die aktuellen Vermessungsdaten zur Navigation der TVM übertragen, so können Bauleitung und Vermessungsingenieure den momentanen Stand des Vortriebs überwachen oder eventuelle Soll – Ist Differenzen in der Navigation ausgleichen.

Neben der Übermittlung der TVM – Daten dient der Lichtwellenleiter auch als Kommunikationsmittel, er ermöglicht einen permanenten Mobiltelefonempfang im Tunnelinneren und so eine rasche Verständigung sowohl innerhalb als auch außerhalb des Tunnels. Bei Notfällen können sowohl die Tunnelmannschaft als auch die Bauleitung und die Rettungskräfte verständigt werden.

6.5 PROBLEME BEI AN- UND ABLIEFERUNG

Wie auch auf anderen Baustellen kommt es im Tunnel zu laufenden betrieblichen Einschränkungen während der Bauphase. Einige Probleme wurden schon in den vorherigen Kapiteln erwähnt und sollen nun nochmals zusammenfassend in Erinnerung gerufen werden, da sie über die Verfügbarkeit der Anlagen entscheiden.

Probleme und Betriebsunterbrechungen bzw. -einschränkungen treten auf bei:

- Entgleisungen
- Riss eines Förderbandes
- Bruch von Infrastrukturleitungen
- Problemen mit der TVM
- Unfällen
- unerwarteten Wassereinbruch.

Der Betrieb einer TVM ist sehr wartungsintensiv, der Verschleiß bei 20 stündigen Betrieb, 7 Tage die Woche über mehrere Jahre hinweg, verlangt nach regelmäßigen Betriebsunterbrechungen. Die Wartung und Reparatur wird in sogenannten Wartungsschichten durch die Hersteller der TVM erledigt, täglich werden die stillgelegten Anlagen kontrolliert, gewartet und gegebenenfalls ausgetauscht. Die Schneidräder am Bohrkopf unterliegen großem Verschleiß und müssen regelmäßig erneuert werden, dies nimmt viel Zeit in Anspruch und wird in der Wartungsschicht durchgeführt.

Die Verlängerung der Infrastrukturleitungen, wie

- Kühlwasserkreislauf
- Strom
- Druckluft
- Luttenleitungen
- Schienenstränge
- Förderband.

werden ebenfalls während der Wartungsschicht verlängert.

Laufende Unterhaltsmaßnahmen für den Gleisbetrieb können ungestört vonstatten gehen, ohne die laufenden Nachschubfahrten zu behindern. Die Herstellung der Querschläge und der Innenschale verläuft aber weiterhin unabhängig von den Wartungsschichten, ebenso die Herstellung der Ortbetonsohle und die Belieferung der TVM mit Tübbingringe,

Sicherungsmittel oder anderen Betriebsmitteln, die auf der Maschine für deren raschen Gebrauch zwischengelagert werden können.

6.6 TUNNELAUSBAU

6.6.1 HERSTELLUNG DER INNENSCHALE

Die Art des endgültigen Tunnelausbaus ist projektspezifisch festzulegen und ergibt sich aus den Randbedingungen, Vorgaben aus Nutzungsanforderungen, Betriebsdauer, Dichtigkeitsanforderungen und den Zusammenhängen von Tunnellänge, -querschnitt, geologische und hydrologische Verhältnisse sowie dem Vortriebsverfahren.

Ausbausystem	Ausbauart	Funktion
Einschalige Systeme	Spritzbetonauskleidung	Spritzbeton, Stahlausbau, Anker übernehmen Tragfunktion, Dichtfunktion nur mit Zusatzmaßnahmen, Brandschutz zusätzlich erforderlich
	Tübbingauskleidung	Tübbingauskleidung übernimmt Tragfunktion, Dichtfunktion, Brandschutz nach Erfordernis
Zweischalige Systeme	bergseitig Spritzbetonauskleidung	Spritzbeton, Stahlausbau, Anker übernehmen temporäre Tragfunktion, Innenschale übernimmt die dauerhafte Tragfunktion, Dichtfunktion bei wasserundurchlässiger Innenschale, Brandschutz nach Erfordernis
	hohlraumseitig Ortbetonauskleidung	
	bergseitig Tübbingauskleidung	Tübbingauskleidung übernimmt Tragfunktion, Innenschale erhöht Tragfunktion und Dichtfunktion bei wasserundurchlässiger Innenschale, Brandschutz nach Erfordernis
	hohlraumseitig Ortbetonauskleidung	

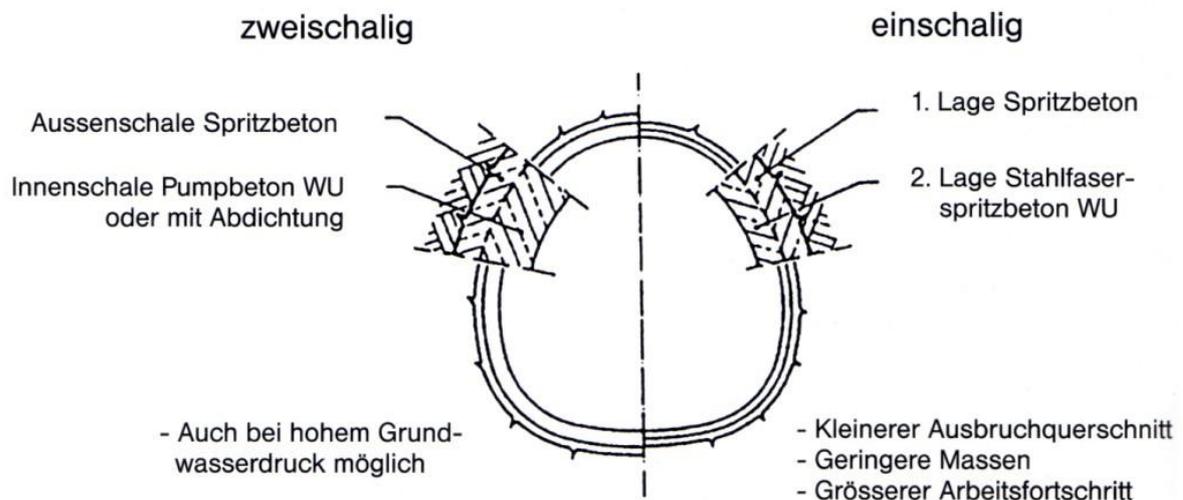


Tabelle 21: Ausbausysteme für Tunnel¹²⁷

¹²⁷ Girmscheid, 2000, S.361.

Beim einschaligen Tunnelausbau muss die gewählte Auskleidung sämtliche Lasten und Gebrauchsanforderungen dauerhaft übernehmen. Dies stellt besonders hohe Ansprüche an die Herstellungs- und Materialqualität¹²⁸. Bei den Abdichtungen oder beim Brandschutz kann beim einschaligen Ausbau zu Problemen kommen, weil keine zusätzliche Systemsicherheit einer zweiten unabhängigen Schale gegeben ist. Vor Anwendung dieser Bauweise sind die Randbedingungen aus Gebirge und Bauwerk sorgfältig zu prüfen.

Durch die zeitlich verschobene Herstellung von zwei oder mehreren Lagen kann nach dem Abklingen gebirgsbedingter Verformungen erfolgen. Es muss jedoch ein kraft- und formschlüssiger Verbund mit der ersten Lage erzielt werden. Die Bauweise wird bevorzugt, wo mit keinem oder nur geringem Wasserandrang zu rechnen ist und eine Drainage möglich ist. Daher wird sie für Druckwasser haltende Tunnelbauwerke nicht zur Anwendung empfohlen.

Der zweischalige Tunnelausbau sieht zwei herstellungstechnisch und konstruktiv unabhängige Schalen mit unterschiedlichen Anforderungen vor. Die berganliegende Schale übernimmt primär die temporären Belastungen aus dem Vortrieb und die Sicherung für den Einbau der zweiten Schale. Die tunnelseitige, also zweite Schale übernimmt die endgültigen, dauerhaften Belastungen aus dem Gebirge weiters die Abdichtung und die Anforderungen an den Brandschutz. Die erste Schale kann aufgrund der letztgenannten Anforderungen rasch und kostengünstig eingebaut werden.

In der Planung ist festzulegen, ob die Innenschale entweder als dichte Druckwasser haltende Tunnelröhre oder als drainierte Druckwasser entlastende Röhre erstellt wird. Im Verkehrstunnelbau werden erstere als bewehrte wasserundurchlässige Innenschalen ausgeführt. Derartige Innenschalen werden als dichte Bauwerke ohne zusätzliche Abdichtung ausgeführt, aber sind nur bei geringen Überlagerungshöhen bzw. bis zu bestimmten Druckhöhen sinnvoll ausführbar.

¹²⁸ Jodl, 2005, S.111.

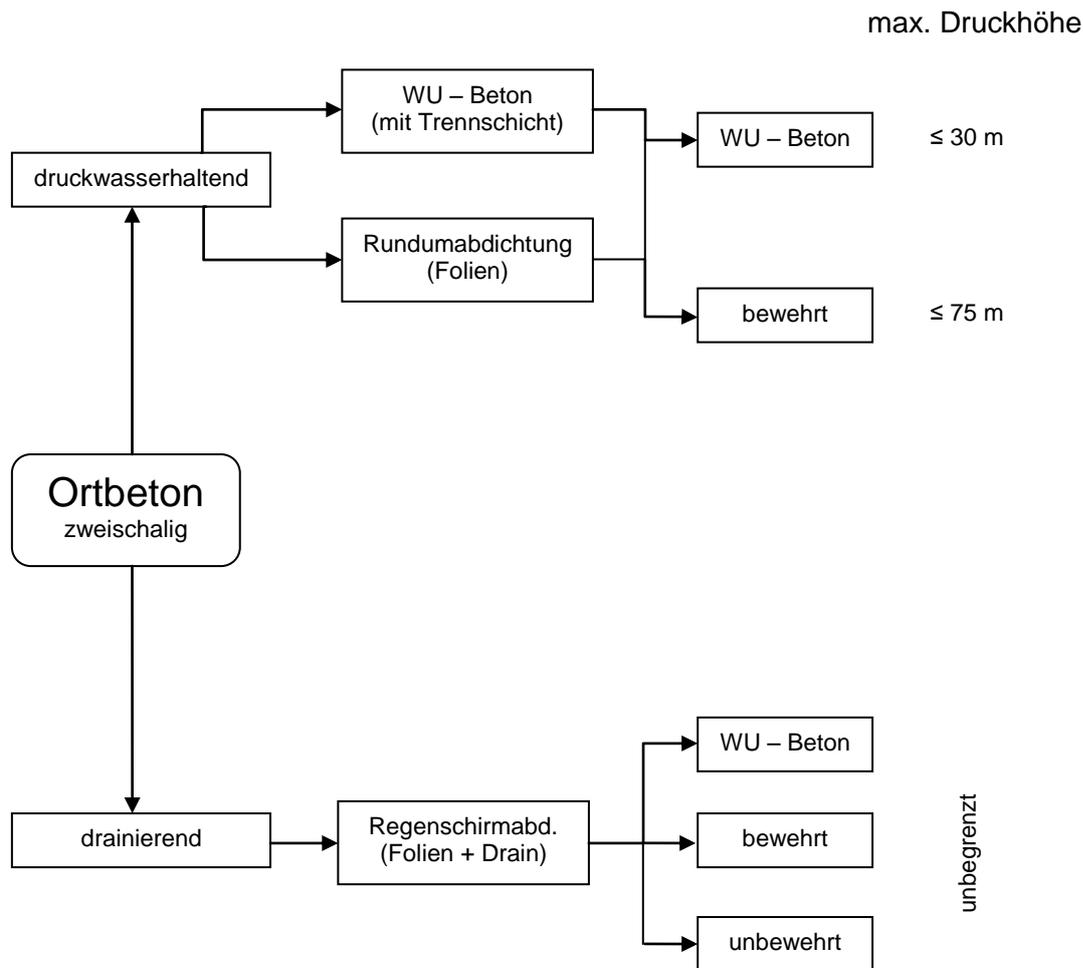


Abbildung 28: Varianten für die Innenschale bei zweischaligen Konstruktionen¹²⁹

Erfolgt bei der zweischaligen Bauweise eine Schutterung mittels Band, sollte man mit dem Innenschaleneinbau auf jeden Fall bis zur Beendigung des Schuttervorganges warten, weil die Aufhängung des Förderbandes diesen unmöglich bzw. erheblich erschwert.

Ein Unterschied besteht in der Querschnittsform der Tunnelschwalgen, beim kontinuierlichen (maschinellen) Vortrieb ist die Form kreisrund (*Bild 15, rechts*), während der Querschnitt beim zyklisch (konventionellen) Vortrieb maul-, hufeisen- bzw. korbbogenförmig sein kann. (*Bild 15, unten*)

Der Betoniervorgang mittels Schalwagen (Wurm) erfolgt üblicherweise 2000 m hinter dem eigentlichen Tunnelvortrieb und nach der Querschlagherstellung.¹³⁰

¹²⁹ Maidl, 1997, S.125.

¹³⁰ Baggenstos, 2007, S.3.

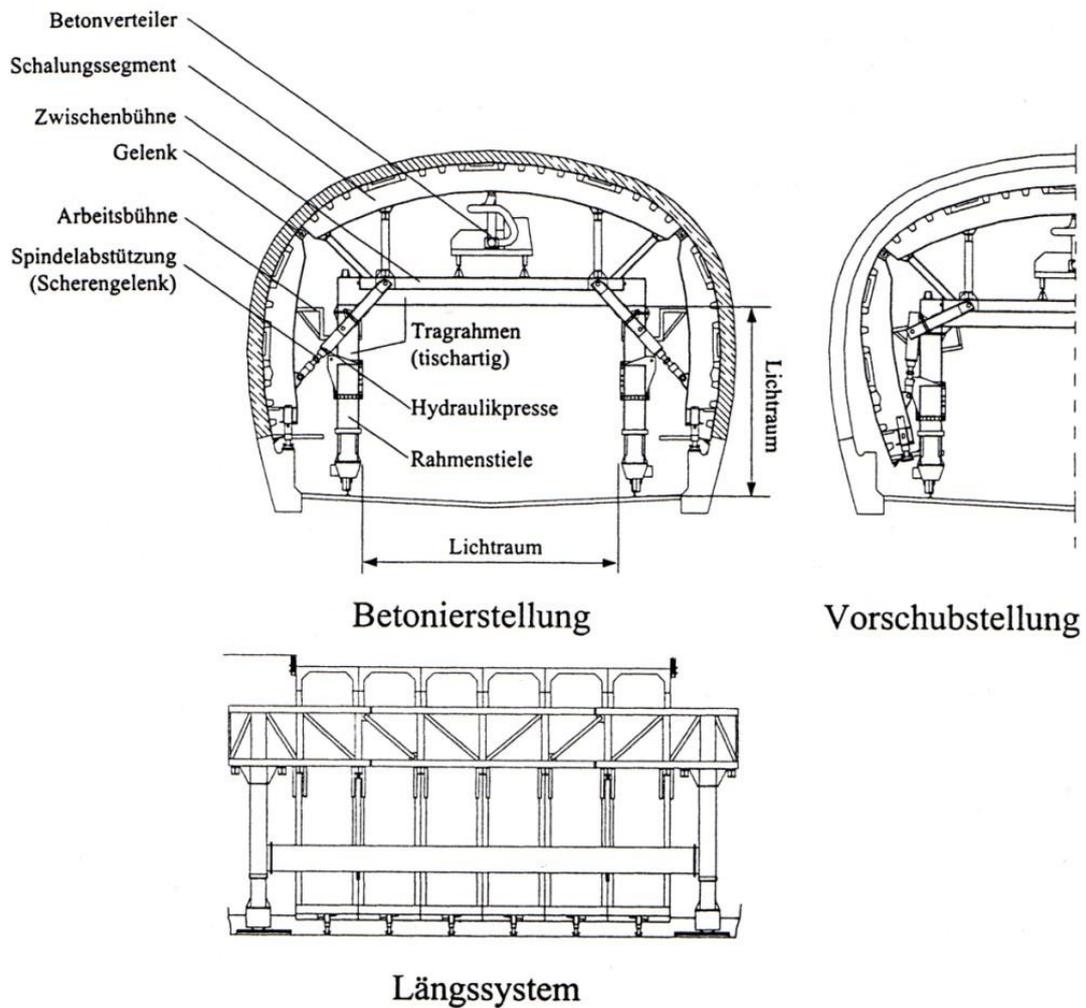


Bild 15: Innenschalenausbau

oben links letzte Vorbereitungen vor dem Betonieren¹³¹;

oben rechts fertige Innenschale¹³²;

unten schematische Darstellung eines Tunnelschalwagens¹³³



¹³¹ Blindenbacher, 2007, S.4.

¹³² Baggerstos, 2007, S.8.

¹³³ Girmscheid, 2000, S.376.

6.6.2 HERSTELLUNG DER QUERSCHLÄGE

Aus Gründen der Sicherheit werden bei Verkehrstunneln, sei es für den Straßenverkehr als auch den schienengebunden Verkehr, die einzelnen Fahrrichtungen vermehrt baulich getrennt angeordnet. In diesem Falle dient der Querschlag in der Regel als Fluchtweg und auch für die Beherbergung verschiedener Tunnelinstallationen. Er verbindet die zwei parallel verlaufenden Tunnelröhren in bestimmten Abständen, in der Regel max. 500 m entfernt, miteinander. Durch den zusätzlichen Platzbedarf ergibt sich eine erhebliche Querschnittsvergrößerung und sie mutieren zu Verbindungstunnel. Bei langen Tunnelprojekten wird für das Fluchtszenario die Nachbarröhre genützt, weil Begleitstollen oder Fluchtstollen bzw. Schächte an die Oberfläche oft nicht wirtschaftlich umsetzbar sind.

Der Ausbau der Querschläge¹³⁴ erfolgt ungefähr 1500 m hinter der Ortsbrust und wird im zyklisch (konventionellen) Vortrieb erstellt, die große Distanz zur TVM und deren Nachläufern ergibt sich aus Gründen der Arbeitssicherheit.

Die Versorgung der Querschlagsbaustelle erfolgt über die zweite Gleislage, durch die Installierung von Mobilweichen muss der Begegnungsverkehr nur im Bereich des Querschlages beherrscht werden. D.h. die Versorgungsfahrten der Hauptbaustelle dürfen möglichst wenig beeinflusst werden. In der Regel besteht in der Umgebung der noch in Bau befindlichen Querschläge eine Langsamfahrpflicht für die verkehrenden Ver- und Entsorgungszüge. Verunreinigungen an den Gleisanlagen können bei schneller Fahrt Entgleisungen zur Folge haben und somit Menschen im Umfeld der Querschlagsbaustelle gefährden.

¹³⁴ Blindenbacher, 2007, S.6.

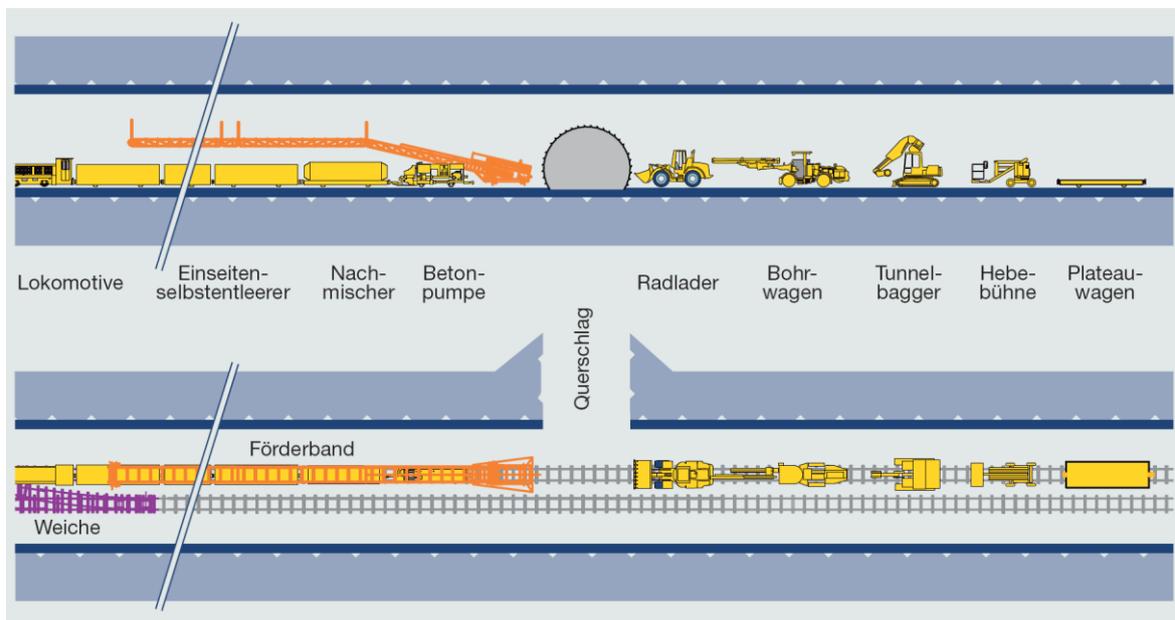


Bild 16: Querschlagherstellung¹³⁵

oben links ausgebrochener Querschnitt mit Sprengschutzmatten,
rechts Schalwagen¹³⁶; unten: Ablaufschema¹³⁷

Ausgerüstet ist die Querschlagsbaustelle mit folgenden Geräten:

- Bohrwagen
- Fahrlader
- Raupenbagger für die Profilreinigung
- mobiles Spritzgerät

¹³⁵ www.alptransit.ch – 7.08.2007.

¹³⁶ Diewald, 2007, S.4.

¹³⁷ Vgl. Ebenda.

- Versorgungszug
- Sprengschutzwand
- Hängekonstruktion mit Förderband zur Abgabe des Ausbruchsmaterials an den Zug.

Bei günstiger Geologie bestehen die ersten Abschlüge aus tiefen Einbrüchen, die anschließend aufgeweitet werden. Ab dem dritten Abschlag wird im Vollprofil gesprengt. Um eine Arbeitserleichterung zu erzielen, können die Arbeiten auf mehrere logistische Teilarbeitsstätten aufgeteilt werden, sodass immer an mehreren Querschlügen gearbeitet wird. Beim Wienerwaldtunnel entschied man sich auf fünf getrennte Arbeitsabläufe¹³⁸:

- Umbau
- Betonrohr- und Schneidearbeiten
- Vortrieb
- Innenschale Sohle
- Innenschale Gewölbe.

Nach Abschluss des Querschlages werden die mobilen Weichen zur neuen Baustelle vorgesetzt.

Bei TVM – Vortrieb mit Tübbingeinbau gestaltet sich die Herstellung der Querschlüge wesentlich schwieriger, da die versetzten Tübbinge wieder herausgelöst werden müssen. Ansonsten verläuft der Arbeitsprozess ident wie oben beschrieben.

¹³⁸ Diewald, 2007, S.3.

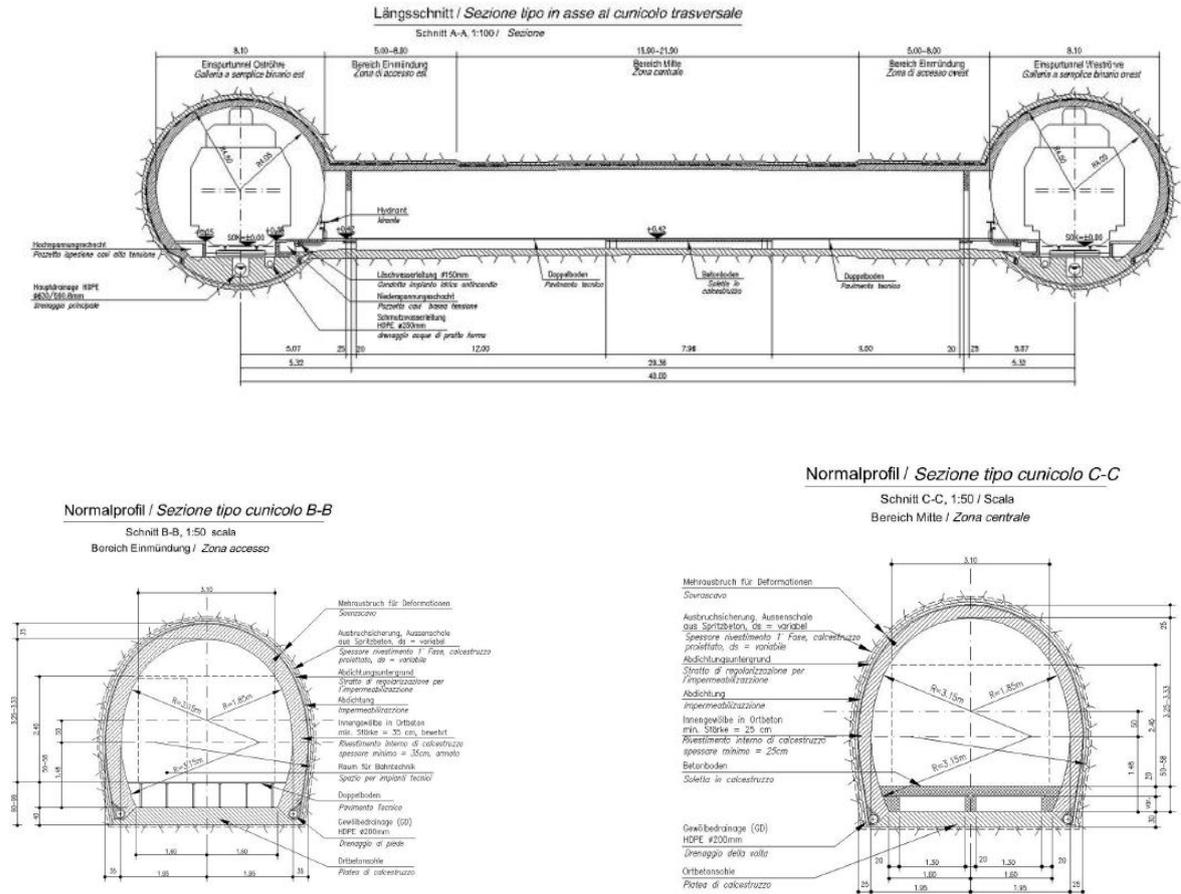


Abbildung 29: Tunnelröhren mit Querschlügen¹³⁹

6.6.3 LEITSTELLE

Eine zentrale Steuerung und Überwachung der Bewetterungssysteme, der Zutrittskontrolle und der Notsysteme ist für die Einhaltung der Termine und die Aufrechterhaltung der Arbeitssicherheit unerlässlich¹⁴⁰. Eine Besetzung rund um die Uhr gewährleistet neben den erwähnten Systemkontrollen auch eine optimale Logistikplanung aller Zug- oder LKW – Bewegungen im Tunnel. Alle Materialbestellungen der einzelnen Teilbaustellen werden registriert und zusammengefasst, darauf basierend können die Transportbewegungen koordiniert und die nötigen Fahrpläne erstellt werden. Bei zusätzlichem Gleisbetrieb können Weichen gestellt und Fahrwege innerhalb und außerhalb des Tunnels gesichert werden. Die Kommunikation zwischen Zugführer und Leitstelle erfolgt über Funk. Besonders bei Unfällen im Tunnel obliegt es der Leitstelle die Rettungskräfte zu alarmieren und koordinieren, eine genauere Erklärung folgt im Kapitel Sicherheitsmanagement.

¹³⁹ www.alptransit.ch – 7.08.2007.

¹⁴⁰ Brux, 2005, S.204.

7 BEWETTERUNG

Bei langen Tunnelbaulosen stoßen die Belüftungssysteme an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit. Daher ist es unabdingbar, dass man sich in der Planungsphase des Bauwerkes mit den Gegebenheiten auseinandersetzt und die Anlagen an die Randbedingungen anpasst. Ein geeignetes Normenregelwerk für die Dimensionierung hierfür ist die SIA 196, „Baulüftung im Untertagebau“ des Schweizer Ingenieur- und Architektenvereins (SIA).

Neben den arbeitsmedizinischen Richtlinien (*Tabelle 22*) müssen auch¹⁴¹

- Materialeinsatz (dieselbetriebene Maschinen)
- Personalstärke
- Schwadenbildung bei Sprengarbeiten
- Gaszutritte und
- Fels- und Verdunstungswärme

in die Dimensionierung der Frischluftmenge miteinbezogen werden. In *Abbildung 30* wird diese Vorgangsweise exemplarisch dargestellt.

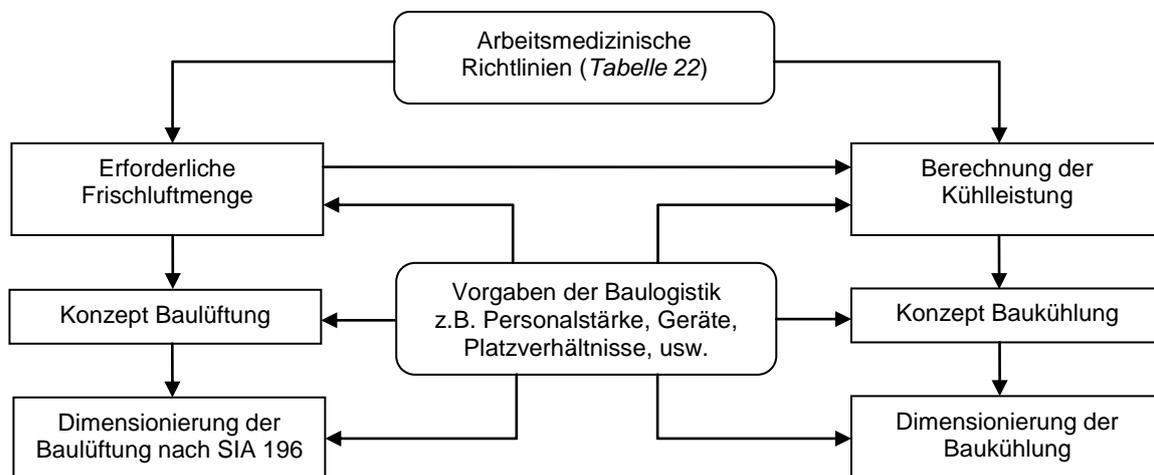


Abbildung 30: Randbedingungen zur Dimensionierung von Lüftungs- u. Kühlsystemen im Tunnelbau¹⁴²

¹⁴¹ Buslinger, 2007, S.2.

¹⁴² Vgl. Ebenda.

Nach Berechnung der benötigten Luftmenge werden die, zur Einhaltung der Klimagrenzwerte (*Tabelle 23*) erforderliche Kühlleistung, mittels dem Simulationsprogramm Bauklima, bestimmt.

Mit diesen beiden errechneten Mengen kann mit dem Konzept der Baulüftung (Verteilung und Menge der Anlagen) und schlussendlich mit der Größendimensionierung der Ventilatoren und Luttenleitungen begonnen werden.

Richtlinie	Grenzwert [mg/m ³]
Frischluftezufuhr für Arbeiter	≥ 2 m ³ /min/Arbeiter
Frischluftezufuhr zur Abfuhr von Dieselschadstoffen	≥ 4 m ³ /min/kW
Luftgeschwindigkeit im Tunnelquerschnitt	≥ 0,2 m/s ≤ 5,0 m/s
Trockentemperatur	≤ 30°C

Tabelle 22: Arbeitsmedizinische Richtlinien¹⁴³

Stoff	Tagesmittelwert [mg/m ³]	Kurzzeitwerte + Dauer
Schwefeldioxid (SO ₂)	5	10 mg/m ³ für 5 min 8x pro Tag
Stickstoffdioxid (NO ₂)	6	12 mg/m ³ für 5 min 8x pro Tag
Stickstoffmonoxid (NO)	30	--

Tabelle 23: Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK – Werte)¹⁴⁴

Die in *Tabelle 23* angeführten Tagesmittelwerte dürfen zu keiner Zeit die doppelte Menge erreichen.

Insbesondere im Brandfall müssen besondere Sicherheitsanforderungen sichergestellt werden. Die Gewährleistung von rauchfreien Fluchtbereichen und die Entrauchung des Tunnels müssen unbedingt gegeben sein.

7.1 BELÜFTUNGSSYSTEME

Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Arten und Anwendungsweisen der Belüftungssysteme beschrieben.

Grundsätzlich erfolgt die Planung der Lüftungssysteme für jeden Bauabschnitt bzw. Baulos individuell, um die speziellen Gegebenheiten des Abschnitts in der Planung berücksichtigen

¹⁴³ Bauarbeiterschutverordnung (BauV), 1994, S.40.

¹⁴⁴ Grenzwerteverordnung 2006, S.36.

zu können. Um eine effektive Belüftungsleistung zu erzielen, müssen vor Tunneldurchbruch die fertigen Querschläge mit Trennwänden und nach Tunneldurchbruch die benachbarten Bauabschnitte mittels Schleusen¹⁴⁵ aerodynamisch voneinander getrennt werden. Der maximale Anlagenbedarf richtet sich nach der größten maximalen Maschinenleistung und der Vortriebslänge, wobei alle Verbindungen zur Oberfläche (Tunnelportal, Erkundungsstollen oder Lüftungsschächte) entweder als Luftzufuhr oder zur Luftabfuhr genutzt werden. In allen Bereichen müssen die minimalen und maximalen Luftgeschwindigkeiten eingehalten werden, ebenso wie die minimal erforderliche Luftmenge.

Die Installation von Lüftungsanlagen darf zu keinen wesentlichen Einschränkungen im Bauablauf führen. Die wird folgendermaßen erreicht, indem die Lutten an der Tunnelfirste befestigt werden und im Nachläuferbereich enden, so wird die optimale Luftmenge an der Ortsbrust erreicht. Die alleinigen Ausführung von Lüftungsschächten¹⁴⁶ rechnet sich durch die hohen Vortriebsleistungen im Tunnelbau nicht mehr, da heute der Ausbruch nach dem Raise – Boring Verfahren von unten zur Oberfläche erfolgt und bei großen Überlagerungen sehr lange dauern kann. Sind Schächte trotzdem projektiert, können sie u.a. auch mehrere Funktionen erfüllen, als

- Lüftungsschacht
- Materialschacht (Schutterstollen)
- Rettungsschacht und
- Zwischenangriff für Multifunktionsstellen

dienen.

Eine Reduktion der dieselbetriebenen Fahrzeuge im Tunnel bringt eine weitere Erleichterung bei der Dimensionierung der Belüftungssysteme, als sinnvollen Ersatz stellt die gleisgebundener Ver- und Entsorgung sowie die Bandförderung dar.

¹⁴⁵ Baggenstos, 2007, S.6.

¹⁴⁶ Diewald, 2007, S.4.



Bild 17: Luttenleitungen am Tunnelportal¹⁴⁷

7.1.1 LUTTENLEITUNG

Den Lufttransport oder -abtransport übernehmen Rohrleitungen, sogenannte Lutten, von 200 bis 3500 mm Durchmesser. Die im heutigen Tunnelbau eingesetzten Kunststofflutten¹⁴⁸ für die blasende Belüftung lassen sich unterscheiden in:

- Faltlutten: für blasende Belüftung, können platzsparend gelagert werden (z.B. auf TBM – Nachläufer).
- Bügellutten: sind mit Verstärkungen alle 0.5 bis 2 m ausgestattet, die ein Zusammenfallen nach Abschalten des Ventilators verhindern sollen.
- Spirallutten: besitzen im Gegensatz zu den Faltlutten zusätzlich eine durchgehende verstärkende Spirale, durch den ungünstigen Reibungswiderstand der Innenseite nur bis Tunnellängen von 150 m einsetzbar.
- Schachtlutten: Speziallösung für die Verwendung im Vertikalbetrieb.
- Wirbellutten: Spezialelemente, die es ermöglichen über 2 bis 5 m Länge Luftströme lokal austreten zu lassen, um örtlich Gas oder Staub zu bekämpfen.

¹⁴⁷ Diewald, 2007, S.6.

¹⁴⁸ Girmscheid, 2000, S.557.

Für die saugende Belüftung verwendete Lutten¹⁴⁹:

- Spirallutten: kann beschränkt im Unterdruckbereich als Sauglutte eingesetzt werden. Für kurze Strecken und enge Radien.
- Stahllutten: finden im Nachläuferbereich ihre Anwendung.

Der Luttenleitungen sind regelmäßig auf Beschädigungen durch den laufenden Betrieb zu untersuchen, um eine ordnungsgemäße Belüftung des ganzen Tunnelquerschnitts zu gewährleisten. Außerdem lassen sich die Kunststoffleitungen auf anderen Tunnelbaustellen wiederverwenden.

7.1.2 DRÜCKENDE (BLASENDE) BELÜFTUNG

Mit einem Ventilator wird Frischluft vom Tunnelportal angesaugt und durch Lutten zu den Arbeitsstellen im Tunnelinneren zugeführt. Das Ende der Lutten ist möglichst nahe an die Ortsbrust heranzuführen, um Verwirbelungen infolge zunehmender Entfernung von der Ortsbrust zu vermeiden. Gase und staubhaltige Luft strömen über den freien Querschnitt nach außen.

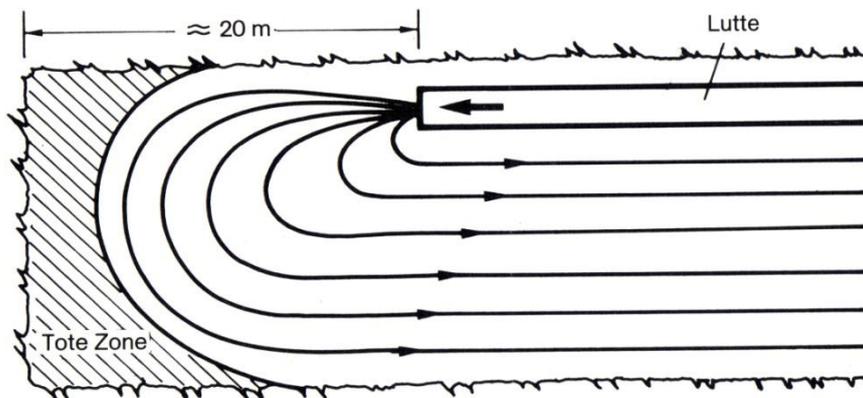


Abbildung 31: Funktionsweise der drückenden Belüftung¹⁵⁰

7.1.3 SAUGENDE BELÜFTUNG

Im Gegensatz zur oben erwähnten blasenden Belüftung wird bei der saugenden Belüftung die verunreinigte Luft durch die Luttenleitung abgesaugt. Durch den Hohlraumquerschnitt

¹⁴⁹ Girmscheid, 2000, S.557.

¹⁵⁰ Maidl, 2004, S.387.

strömt die Frischluft bis zur Ortsbrust, der Wirkungsbereich des zu belüftenden Raumes ist allerdings gering, weil der überwiegende Teil vom Luftstrom nicht erreicht wird.

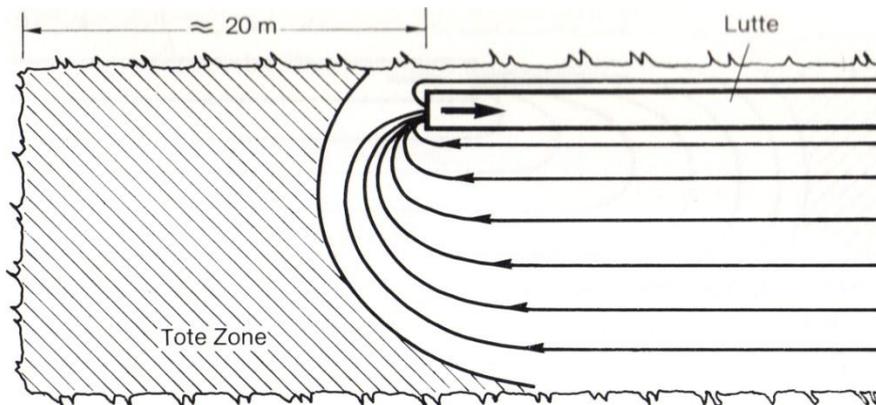


Abbildung 32: Funktionsweise der saugenden Belüftung¹⁵¹

7.1.4 UMKEHRBARE BELÜFTUNG

Schwenkbare Ventilatoren bieten die Möglichkeit die Belüftung von „Drücken“ auf „Saugen“ umzuschalten. Einsatzgebiet ist vor allem der Sprengvortrieb, nach dem Abschlag werden die Sprengschwaden sofort abgesaugt, sodass bei Arbeitsfortsetzung die Tunnelmannschaft wieder Frischluft zur Verfügung hat. Während der restlichen Arbeitszeit wird drückend belüftet. Durch die doppelte Nutzung der Luttenleitung steigt die Gefahr von Staubablagerungen über die Länge hinweg an, deswegen empfiehlt sich die umkehrbare Belüftung nur bei kurzen Tunnelbauwerken.

7.1.5 KOMBINIERTE BELÜFTUNG

Wichtige Einsatzgebiete der kombinierten Belüftung sind der Sprengvortrieb, aber auch der Vortrieb mit Vollschnitt- und Teilschnittmaschinen, da hier besonders große Staubemissionen zu erwarten sind.

Durch die kombinierte Belüftung erfährt der tote Raum nicht nur eine Durchmischung mit Frischluft, sondern auch eine Verdrängung der verunreinigten Luft zur Hauptbelüftung und in den Strom der abgesaugten Luft.

¹⁵¹ Maidl, 2004, S.388.

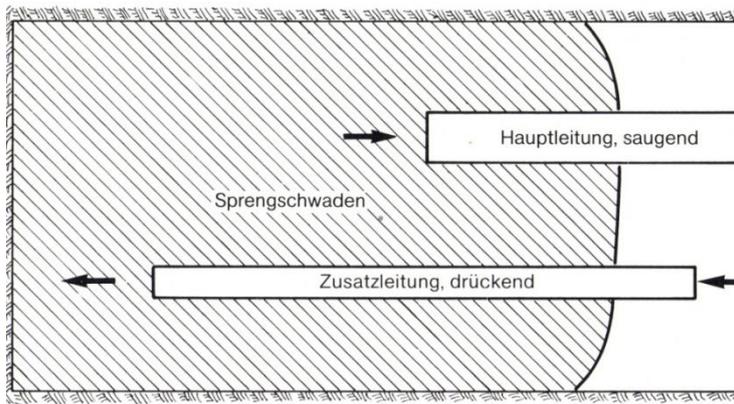


Abbildung 33: Funktionsweise der kombinierten Belüftung¹⁵²

7.1.6 UMLUFTSYSTEM

Bei zweiröhrigen Tunnelvortrieben¹⁵³ bildet das Umluftsystem einen sinnvollen Lösungsansatz. Durch die Installation von zusätzlichen Luttenlüftern und die lüftungstechnische Trennung in Zuluft- und Abluftröhre erfolgt der Eintrag mittels Luttenleitungen bis zur Ortsbrust. Die räumliche Trennung der Lüftungsröhren erfolgt durch die Querschläge.

Die Frischluft gelangt durch den Beschleunigungslüfter am Tunnelportal und den angeschlossenen Luttenleitungen oder einfach im freien Tunnelquerschnitt bis in den Vortriebsbereich. Durch die Zwischenlüfter kurz vor dem Querschlag erfolgt die Verteilung der Frischluft zu den beiden Ausbruchsbereichen, die Abluft wird ebenfalls über dem Querschlag in die zweite Röhre (Abluftröhre) geführt. Die gesamte Abluft beider Röhren strömt im Tunnelquerschnitt Richtung Portal. Eine geringe Restfrischluftmenge strömt ebenfalls in die Abluftröhre, da diese sonst unbelüftet wäre.

An der Ortsbrust werden die Luftmengen abgesaugt, staubgefiltert und wieder der Umluft beigemengt. Das Umluftsystem verlangt eine genaue Abstimmung der Luftmengen der einzelnen Ventilatoren und der Förderung durch den offenen Querschlag. Voraussetzung für die einwandfreie Funktion ist die Abdichtung aller erstellten Querschläge.

¹⁵² Maidl, 2004, S.388.

¹⁵³ Busslinger, 2007, S.4.

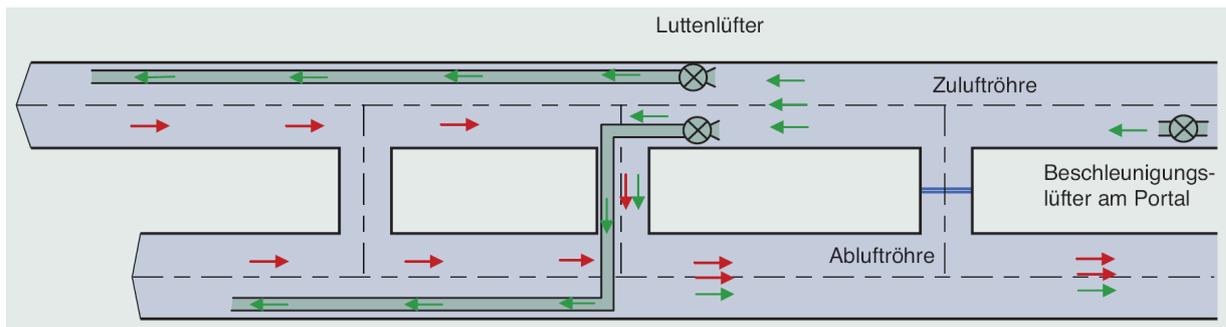


Abbildung 34: Umluftsystem¹⁵⁴

Im Bereich von mehrfachen Angriffsstellen (z.B. 4 Vortriebe an einer Multifunktionsstelle) stellt sich eine komplexe Versorgungssituation dar. Aufgrund des großen Frischluftbedarfs werden zusätzliche Baulüftungs – Tunnelbauwerke erforderlich, dies könnte u.a. folgende Bauwerke umfassen:

- Lüftungsstollen
- Lüftungsschächte für Zu- und Abluft
- Lüftungskavernen für die Ventilatoren.

7.1.7 SPEZIELLE BELÜFTUNGSSYSTEME IM TBM – BEREICH

Durch den beim Gesteinslösevorgang entstehenden Staub stellt die Belüftung der TBM vor eine große Aufgabe. Neben dem Betrieb einer Entstaubungsanlage, idealerweise in die TBM integriert, muss eine ausreichende Belüftung im Vortriebsbereich gegeben sein. Die Entstaubungsanlage muss so leistungsfähig sein und entsprechend gewartet werden, dass die zulässigen Konzentrationen nicht überschritten werden.

Betrachtet man die Staubemissionen im Abraumbereich durch die Abbauwerkzeuge allein, würde die Staubabsaugung ausreichen. Besteht aber die Gefahr der Methanausgasung, sei es durch Öffnen der Gesteinsporen oder durch eine Kluftausgasung, reicht die Belüftung des Abbauraumes nicht mehr aus. Daher bedingt man sich durch in die Schottwand eingebaute Belüfter, die zusammen mit der Staubabsaugung für die notwendige Belüftung der Gase Sorge tragen.

¹⁵⁴ Diewald, 2007, S.5.

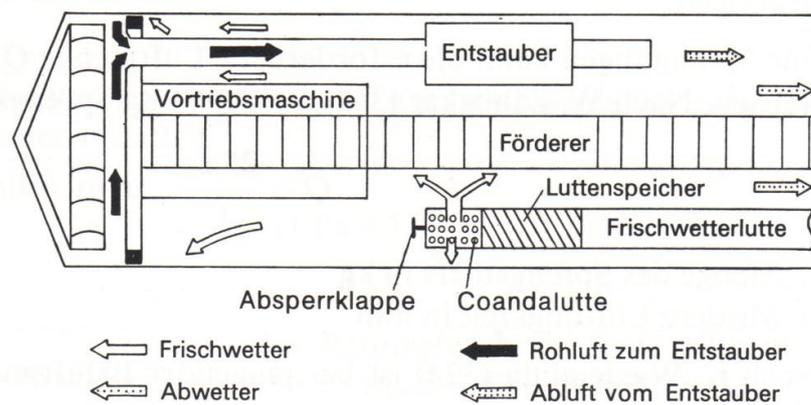


Abbildung 35: Belüftungsschema eines TBM – Vortriebes¹⁵⁵

7.2 KÜHLUNG

Durch die teilweise hohen Temperaturen im Inneren des Tunnels, insbesondere bei großen Überlagerungen, verlangt der Gesetzgeber die Einhaltung der arbeitsmedizinischen Richtwerte (Tabelle 22), dies umfasst auch die Temperaturobergrenze von 30°C.

Neben der natürlichen Umgebungstemperatur¹⁵⁶ sind die Maschinen für erhebliche Abwärme verantwortlich, durch den Einsatz von Wetterkühlern wird der Tunnelluft diese Wärme entzogen. Die Kühler geben diese an das Kühlwasser ab, das im geschlossenen Kreislauf über Kühlrohre aus dem Tunnel transportiert wird. Dieses System verfügt über einen Vor- (Zufuhr von kaltem Wasser) und Rücklauf (Abfuhr von erwärmtem Wasser). In Kühltürmen am Tunnelportal erfolgt der Wärmeaustausch zwischen Umgebungstemperatur und Kühlwasser statt.

Die Vorteile der geschlossenen Kühlwasserzirkulation liegen auf der Hand:

- geringer Wasserbedarf
- geringe Umweltbelastung (geringe Wasserentnahme, Wärmeabgabe an Vorfluter)
- unabhängig von Umwelteinflüssen.

¹⁵⁵ Maidl, 2004, S.397.

¹⁵⁶ Busslinger, 2007, S.1.

8 SICHERHEITSMANAGEMENT

Das Sicherheitsmanagement bezeichnet die Planung, Steuerung und Kontrolle der Sicherheit auf einer Baustelle. Sie umfasst u.a. die Betriebssicherheit von Maschinen und Geräte und die Arbeitssicherheit der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz.

Das vorrangige Ziel aller Beteiligten (Bauherr, Planer, Bauleitung, Unternehmer oder Lieferanten) soll eine möglichst hohe Arbeitssicherheit auf der Baustelle sein.

Als gesetzliche Grundlagen dienen:

- Bauarbeitenkoordinationsgesetz (BauKG)
- ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG)
- Bauarbeiterschutverordnung (BauV)
- Arbeitsstättenverordnung (AStV)
- Arbeitsmittelverordnung (AM – Vo).

Durch die genannten Gesetze und Verordnungen versucht man die Rahmenbedingungen für einen reibungslosen Arbeitsablauf zu schaffen. Die Einhaltung der Vorschriften überwachen auf der Baustelle die Aufsichtsperson (Bauleiter, Polier) bzw. der Sicherheitsbeauftragte und der durch den Bauherrn benannte Baustellenkoordinator. Weitere Kontrollorgane, die bei Missachten der Gesetze verpflichtet sind die Baustelle einzustellen, sind die Baupolizei und das Arbeitsinspektorat.

Wie in *Bild 18* dargestellt, wird in China auf jeder öffentlichen Baustelle eine Unfallstatistik geführt. Sie zeigt anschaulich die durchschnittliche Anzahl an Beschäftigten und deren Arbeitsunfälle auf der Baustelle pro Monat.

„Jeder Unfall ist einer zu viel.“

MONTH 月份	2006	JAN 一	FEB 二	MAR 三	APR 四	MAY 五	JUN 六	JUL 七	AUG 八	SEP 九
NO. OF ACCIDENTS 工傷數目		0	0	0	0	0				
NO. OF EMPLOYEES 僱用人數		350	240	540	450	898				
ACCIDENT RATE 工傷率		0	0	0	0	0				

Bild 18: Unfallstatistik in China

Erster Schritt ist das Erkennen der potentiellen Gefahren, das zu einer Risikoanalyse in allen Planungsphasen führt. Daraus sind technisch durchdachte und den zu erwartenden Risiken

angepasste Lösungen zu erarbeiten. Durch den herrschenden Wettbewerbsdruck dürfen die Belange der Arbeitssicherheit nicht zu einem Spekulationsposten werden.

Eine deutsch – österreichisch – schweizerische Arbeitsgruppe¹⁵⁷ erarbeitet derzeit einen „Leitfaden für die Planung und Umsetzung von Sicherheitskonzepten auf Untertagebaustellen“, dieser enthält Anleitungen für die

- Aufgabenteilung und Verantwortungsbereiche
- Erstellung des Sicherheits- und Gesundheitsschutzplanes (SiGe – Plan) und dessen Umsetzung auf der Baustelle
- Risikoanalyse
- Sicherheitsanalyse.

Im ersten Schritt erfolgt die Ermittlung der möglicherweise eintreffenden Ereignisse bzw. Risiken, dabei erfolgt die Erstellung einer Ereignis- und Maßnahmentabelle. Als nächsten Schritt folgt eine systematische Aufzählung der zu treffenden strukturellen, materiellen und personellen Maßnahmen samt Erläuterungen.

¹⁵⁷ Brux, 2007, S.109.

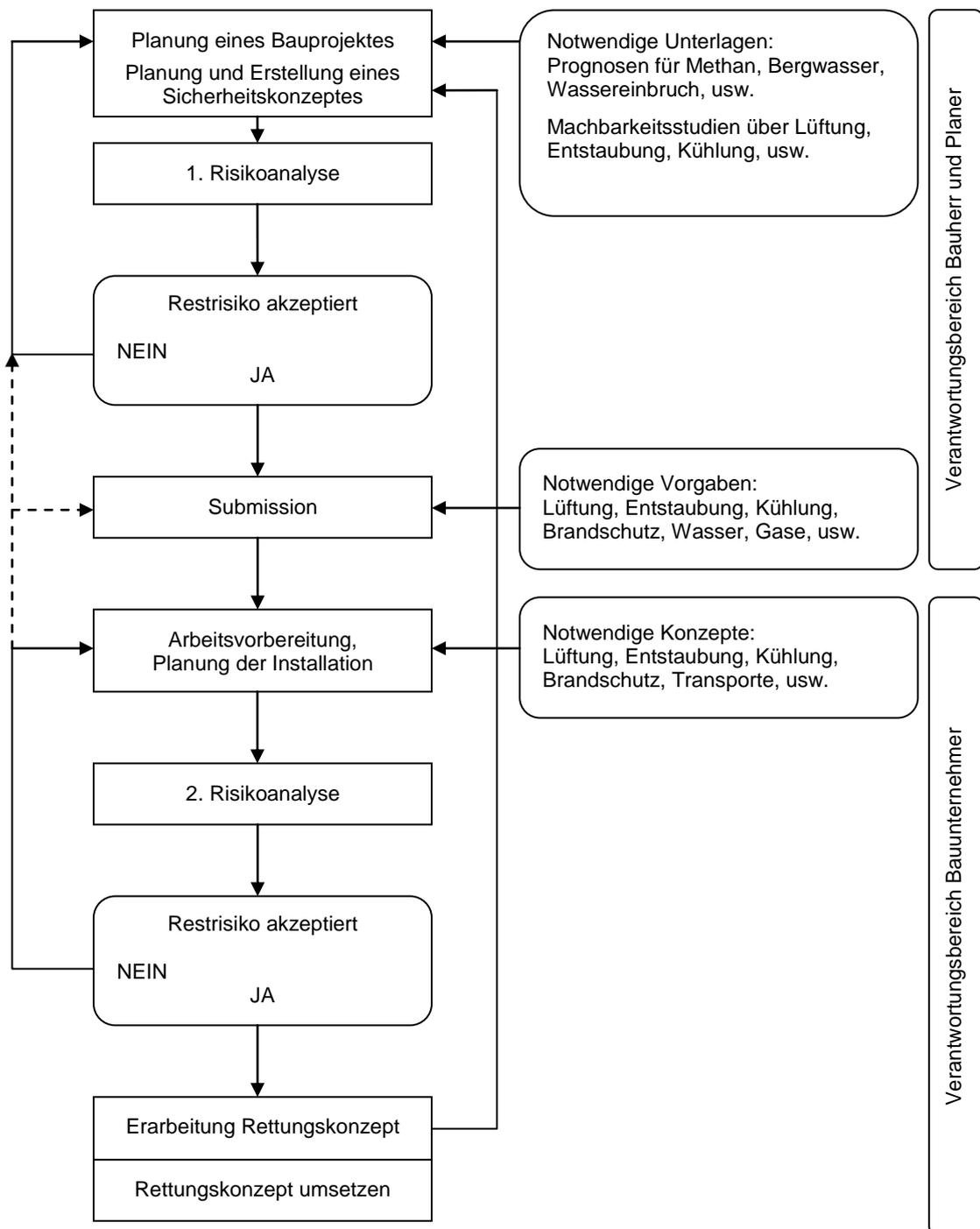


Abbildung 36: Rettungskonzept für den Untertagebau¹⁵⁸

Nach dem Auflisten der akzeptierbaren Restrisiken erfolgt die Auswahl der Maschinen und Geräte, die mit allen erforderlichen sicherheitstechnischen Erfordernissen ausgerüstet sind, um den Anforderungen der Maßnahmenliste zu entgegen. Durch regelmäßige Schulungen und Übungen wird die Mannschaft in der Handhabung geschult und unterwiesen. Damit

¹⁵⁸ Brux, 2007, S.109.

ergibt sich eine Baustelle, die hinsichtlich Rettung zweckmäßig eingerichtet und ausgerüstet ist und auf der die Beschäftigten wissen, welche Maßnahmen im Notfall getroffen werden müssen. Als letzter Schritt erfolgt bei geänderten Voraussetzungen oder Projektänderungen die Anpassung des Rettungskonzeptes sowie der Restrisiken.

Zur Umsetzung gehören während des laufenden Baubetriebes¹⁵⁹:

- periodisch wiederkehrende Kontrollen der vertraglich vereinbarten Maßnahmen, sowie laufende Schulungen aller Beteiligten
- Unterweisung des Arbeitssicherheit für Subunternehmer und Spezialunternehmen
- Sensibilisierung aller Beteiligten vor Ort sowie aller Führungskräfte
- regelmäßige Notfallübungen mit den Rettungskräften der näheren Umgebung.

Präventive Arbeitssicherheitsmaßnahmen sind nicht Bestandteil des Rettungskonzeptes und werden in diesem Kapitel gesondert behandelt.

8.1 UMSETZUNG DES RETTUNGSKONZEPTES

Bei Notfällen auf Tunnelbaustellen können die Rettungskräfte nur bedingt eingesetzt werden. Für die Rettung bei Unfällen und zur Brandbekämpfung müssen die Retter besonders ausgebildet und ausgerüstet sein. Bei gleislosem Betrieb ist die Fahrt bis zur Ortsbrust möglich, bei Gleisbetrieb kann der Tunnel aufgrund der verlegten Schienentrasse nicht mit den Einsatzfahrzeugen befahren werden. Aufgrund der behördlichen Vorgaben müssen dann spezielle schienengebundene Rettungswagen auf der Baustelle vorhanden sein (Bild 19).

Für den Einsatz liegen genaue Flucht-, Rettungs- und Lüftungspläne¹⁶⁰ auf, die gemeinsam mit den Planern, Behörden und Rettungskräften erstellt und regelmäßig auf ihre Tauglichkeit überprüft werden. Zu der Einsatzvorbereitung gehören Einsatzplan, Einsatz- und Alarmorganisation, Übungen und Vorbereitungen der am Tunnelbau Beteiligten sowie Überprüfungen von Flucht- und Rettungsmöglichkeiten.

Durch die Zutrittskontrolle erfasst ein System am Tunnelportal jede im Tunnel befindliche Person, das verpflichtende Mitführen eines Chips muss zur Sicherheit aller gewährleistet sein. Aufgrund dieser Kontrolle lässt sich nach Evakuierung rasch feststellen, ob sich noch Personen im Gefahrenbereich befinden. Durch die Sicherstellung der Mobilkommunikation

¹⁵⁹ Brux, 2005, S.211.

¹⁶⁰ Bergmeister, 2005, S.548.

im Tunnel können die Arbeiter jederzeit, die auf ihrer Notfallkarte verzeichneten Rettungsnummern telefonisch erreichen und im Notfall Alarm schlagen.

Der Alarm- oder Leitstelle¹⁶¹ obliegt das Weitergeben der Alarmmeldungen, Aufrechterhaltung der Verbindungen und Protokollierung des Ablaufes. Hier laufen sämtliche Steuerungseinrichtungen, wie

- Lüftung, Kühlung, Notsysteme
- Überwachung der Zutrittskontrolle
- Funk- und Telefonzentrale

zusammen, darum ist eine 24 stündliche Besetzung notwendig.

¹⁶¹ Brux, 2005, S.204.



rechts Notfalltelefon im Tunnel¹⁶²

Bild 19: Rettungsmaßnahmen

links Sammelpunkt im Notfall; mitte Innenansicht eines Rettungscontainers
unten Rettungscontainer



¹⁶² www.suva.ch – 10.09.2007.

8.1.1 GEFÄHRDUNGEN IM TUNNELBAU

Eine Vielzahl von unterschiedlichen Unfall- und Gefahrenquellen lauern an einem ungewöhnlichen Arbeitsplatz Untertage, wie z.B.

- Verbrüche
- Verkehrs- und Maschinenunfälle
- Staubentwicklung
- Erdgaszutritt und Sauerstoffmangel
- Brandfall.

8.1.1.1 VERBRÜCHE

Verbrüche werden durch nicht ausreichende Sicherungsmaßnahmen beim Vortrieb hervorgerufen.

8.1.1.2 VERKEHRS- UND MASCHINENUNFÄLLE

Der Aufenthalt im Wendebereich von Baumaschinen, Fahrzeugen und im Arbeitsbereich von Großmaschinen ist gefährlich.

8.1.1.3 STAUBENTWICKLUNG

Durch den Vortrieb der TVM bzw. eben durchgeführter Sprengarbeiten oder Leitungsbruch bei Trockenspritzbeton ist mit starker Staubentwicklung zu rechnen.

8.1.1.4 ERDGASZUTRITT UND SAUERSTOFFMANGEL

Im Tunnelinneren austretende Gase können durch Explosion oder Vergiftung die Mannschaft gefährden. Gaseintritt kann durch Bohrungen, bei laufenden TVM – Vortrieb, nach Abschlägen bei Sprengbetrieb, diffuse Ausgasungen oder Ausfall der Belüftung auftreten.

Eine kontinuierliche Messung der Umgebungsluftkonzentration mit Alarmierung bei Überschreiten der Grenzwerte und eine ausreichende Belüftung ($\geq 0,5$ m/s bei Methangaszutritt) helfen der Mannschaft rasch auf die Gefahren zu reagieren, ein Aufenthalt im Rettungscontainer im Nachläuferbereich bzw. ein sofortiges Ausfahren sind beim Erreichen der unteren Explosionsgefahr notwendig.

Gefahrenstufe	Gasvorkommen	Überflutungsgefahr	Ausgasverhalten
0	nicht gegeben	---	---
1	möglich oder sicher	ohne Gefahr	während kurzer Zeit
2	möglich oder sicher	ohne Gefahr	während langer Zeit
3	möglich oder sicher	mit Gefahr	während kurzer Zeit
4	möglich oder sicher	mit Gefahr	während langer Zeit

Tabelle 24: Gasgefahrenstufen¹⁶³

(Interventionswert: 1,5 Vol.% Methan = 30% der unteren Explosionsgefahr)

Explosionssgeschützte Notbeleuchtung, schlagwettergeschützte Lutzenleitungen und Förderbandgurte können den Schutz der Mannschaft weiter erhöhen und Explosionen im Arbeitsbereich bzw. Brände verhindern.

8.1.1.5 BRANDFALL

Eine besondere Gefahr für die Tunnelmannschaft besteht bei Ausbruch eines Feuers durch die hohe Temperatur- und starke Staubentwicklung im Tunnel. Daher ist eine möglichst schnelle Evakuierung zu gewährleisten. Einen starken Einfluss auf die Temperatur- und Staubentwicklung üben die Belüftungsverhältnisse aus. (*Kapitel 8.1.1.5.1*)

Kleinere Brandherde können eventuell durch die Belegschaft, die in der Brandbekämpfung unterwiesen wurde, gelöscht werden. Größere Brände werden hingegen durch die örtlichen Feuerwehren, die regelmäßige Übungen in Tunnel durchführt und über spezielle Ausrüstung (z.B. Atemschutz) verfügt, bekämpft.

Die Brandschutzkette¹⁶⁴ umfasst alle Maßnahmen, die von der Prävention bis zur Selbstrettung der Tunnelmannschaft reichen:

- vorbeugender Brandschutz: umfasst alle baulichen und betrieblichen Maßnahmen, die bereits vor Brandausbruch getroffen werden.
- abwehrender Brandschutz: umfasst alle Maßnahmen zur Bekämpfung eines bereits ausgebrochenen Brandes.

¹⁶³ Brux, 2005, S.210.

¹⁶⁴ Widetschek, 2003, S.88.

- Selbstschutz: umfasst alle Maßnahmen von Personen, in erster Linie zum eigenen Schutz.

8.1.1.5.1 BELÜFTUNG IM BRANDFALL¹⁶⁵

Abhängig vom Ort des Brandfalls kann das Belüftungssystem wie folgt gesteuert werden:

Brandherd Zulufröhre:

- Umluftsystem wird ausgeschaltet
- Evakuierung der Mannschaft über die Querschläge in die Abluftröhre.

Brandherd Abluftröhre:

- Umluftsystem bleibt in Betrieb
- Evakuierung der Mannschaft über die Querschläge in die Zulufröhre.

8.2 ARBEITSSICHERHEIT DER MANNSCHAFT

Sowohl der sorgfältige Umgang mit den Maschinen und Geräten als auch der persönliche Schutz der Arbeiter hilft Arbeitsunfälle zu verringern und schwere Verletzungen zu vermeiden. Das Tragen der persönlichen Schutzausrüstung liegt in der Selbstverantwortung der Mannschaft und sollte als selbstverständlich erachtet werden. Die Aufmerksamkeit der Kollegen bzw. der Vorgesetzten sollte auf der ordnungsgemäßen Verhaltensweise liegen, immerhin kann ein Mitarbeiter durch unsachgemäßes Arbeiten die ganze Tunnelmannschaft gefährden.

Die Kontrolle der Arbeitssicherheit erfolgt, wie in *Kapitel 8* erwähnt, durch

- Aufsichtsperson (Bauleiter, Polier)
- Sicherheitsfachkraft
- Baukoordinator
- Baupolizei
- Arbeitsinspektorat.

¹⁶⁵ Blindenbacher, 2007, S.7.

Die persönliche Schutzausrüstung umfasst:



allgemein:

- wetterfeste Arbeitskleidung mit Leuchtstreifen (anliegend)
- Kopfschutz – Schutzhelm mit Gehörschutz
- Augenschutz
- Hautschutz – Handschuhe
- Sicherheitsschuhe mit Stahlkappen
- Funkgerät



Arbeiten mit gefährlichen Stoffen:

- Augenschutz
- Mundschutz
- Handschutz



Arbeiten mit Spritzbeton:

- Gesichtsschutz – Schutzschirm
- 2. Hautschutz
- Handschutz
- Gehörschutz
- Funkgerät



Arbeiten mit Maschinen:

- Gehörschutz
- Hautschutz (anliegend)
- Handschutz

zu rotierenden Maschinen Abstand halten.

Bild 20: Persönliche Schutzausrüstung im Tunnelbau¹⁶⁶

9 MATERIALBEWIRTSCHAFTUNG

9.1 AUSBRUCHSMATERIAL

Eine große Herausforderung an die Logistik von langen Tunnelbauwerken stellt die Entsorgung des anfallenden Ausbruchsmaterials dar. Beim derzeit längsten Tunnelbauwerk der Welt, dem Gotthard – Basistunnel, fallen z.B. ca. 25 Millionen Tonnen (~ 14 Mio. m³) Ausbruchsmaterial¹⁶⁷ an.

Bei der Entsorgung gibt es drei Möglichkeiten der Verwertung des Ausbruchsmaterials:

- Deponierung
- Verwendung für landschaftsbauliche Maßnahmen (z.B. Auffüllungen, Lärmschutz-, Bahndämme und Rekultivierungen)
- Verwendung als Betonzuschlagsstoff.

Aus wirtschaftlichen Gründen¹⁶⁸ versucht man einen möglichst großen Anteil des anfallenden Schuttermaterials als Betonzuschlagsstoff zu verwenden. Hierfür wird schon in der Projektierungsphase durch Eignungsprüfungen die Verwertbarkeit bei einer Betonherstellung untersucht.

Mögliches Einsparungspotential bei der Tunnelherstellung durch die Verwendung des Ausbruchsmaterials als Betonzuschlagsstoff:

- geringere Deponierungskosten
- geringere Transportkosten
- Entfall des eigentlich notwendigen Zuschlagsstoffes.

Da jedoch mehr Ausbruchsmaterial anfällt als für die Betonherstellung benötigt wird, muss eine Trennung des Materials erfolgen.

Beim Gotthard – Basistunnel erfolgt die Trennung des Ausbruchsmaterials nach der Schutterung an der Materialtriage. Hier geht es in die Verantwortung der Materialbewirtschaftung über. Nach eingehenden Laboruntersuchungen wird das Material in sogenannte A- und B – Qualitäten¹⁶⁹ eingeteilt, d.h. A – Material wird als Betonzuschlagsstoff verwendet und B – Material kommt für Rekultivierungen und als Schüttmaterial zum Einsatz.

¹⁶⁷ Kruse, 2002, S.27.

¹⁶⁸ Ebenda, S.28.

¹⁶⁹ Ebenda, S.29.

Folgende Tabelle zeigt die prozentuelle Aufteilung des Ausbruchmaterials anhand des Gotthard – Basistunnels.

	Menge [to]	Anteilsprozente
Betonzuschlagsstoffe	5,4	22%
Schüttmaterial	6,0	24%
Baurohstoffe Dritte	1,0	4%
Rekultivierung	12,3	49%
Deponierung	0,3	1%
	Σ 25 to	100%

Tabelle 25: Materialaufteilung [%] Gotthard – Basistunnel¹⁷⁰

Das A – Rohmaterial wird in eigens errichteten Kieswerken zu hochwertigen Splitt- und Sandprodukten aufgewertet, hier fällt der Verfahrenstechnik eine zentrale Rolle zu. Die Hauptaufgabe besteht darin, aus dem getrennten Gestein durch Brechen, Waschen, Trennen und Sieben einwandfreie Zuschlagsstoffe herzustellen. Kornform und Kornzusammensetzung haben großen Einfluss auf die Auswahl der Maschinensysteme der Aufbereitungsanlage. Besonders hilfreich ist eine Vorabtrennung des Kleinkorns auf 16 mm und ein Größtkorn von 26 mm bei Ort betonproduktion.

Durch die Verwendung des Ausbruchmaterials als Zuschlagsstoff können bei der Errichtung des Gotthard – Basistunnels 92 Mio. CHF eingespart werden.

	Einsparungen [Mio. CHF]	Mehrkosten[Mio. CHF]
Herstellung der Beton-zuschlagsstoffe	43	
Wegfall Entsorgung Tunnelausbruch	57	
Großlaborversuche		6
Mehraufwand an Ausschreibungen		2
	100	8

Tabelle 26: Prognostizierte Einsparungen durch Eigenversorgung beim Gotthard – Basistunnel¹⁷¹

¹⁷⁰ Hitz, 1999, S.7.

¹⁷¹ Ebenda, S.8.

9.2 WASSERHALTUNG

Mit Wasserzutritten bei Tunnelbauwerken ist in der Bauphase immer zu rechnen, es beeinflusst sowohl die Bauausführung als auch den Betrieb der Anlagen. Eine der Hauptaufgaben der Wasserhaltung besteht darin, das eindringende Bergwasser zu beseitigen.

9.2.1 ARTEN VON WÄSSERN IM TUNNELBAU

Durch geologische, hydrologische und chemische Voruntersuchungen lässt sich die Menge und Zusammensetzung des zu erwartenden Wasserzutrittes gut vorbestimmen und dadurch die Art und den Umfang der Wasserhaltung hinreichend vorausplanen zu können.

Man unterscheidet folgende Arten der Wässer in Tunnelbaustellen:

- Bergwasser: alle aus dem Gebirge auftretenden Wässer.
 - Grundwasser
 - Schichtenwasser
 - Hangwasser
 - Kluftwasser.

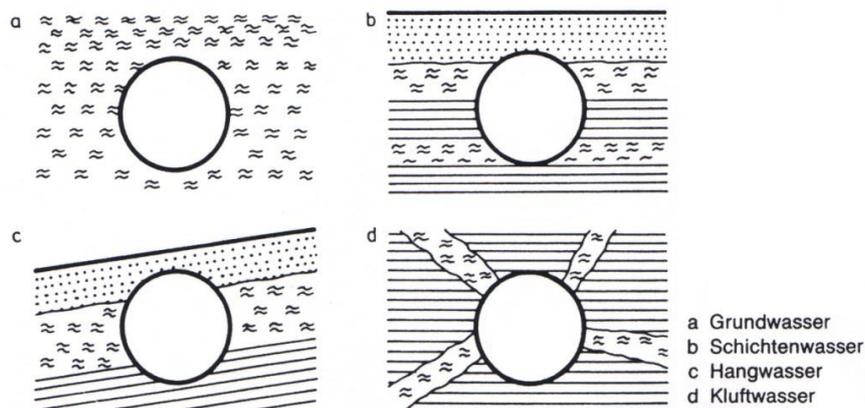


Abbildung 37: Arten der Wasserführung im Gebirge¹⁷²

- Tagwasser: Niederschlagswässer, die durch das Portal zutreten und durch in den Tunnel fahrende Fahrzeuge eingebracht werden, weiters Schmelzwässer von Schnee- und Eisresten.

¹⁷² Jodl, 2005, S.48.

- Betriebswasser: Wässer, die zur Kühlung der Maschinen verwendet werden (TVM, Bohrlöcher,...), Löschwasser aus der Brandbekämpfung.

9.2.1.1 BERGWASSER

Der Zutritt erfolgt in verschiedensten Formen und über unterschiedlich langen Zeiträumen, d.h. er kann über lange Zeit konstant bleiben oder nach unbestimmter Zeit nachlassen und versiegen, man spricht hier vom Ausbluten.

Die Intensität eines Wasserzutrittes ist von der Druckhöhe, vom Strömungsgefälle und von der Durchlässigkeit des Gebirges abhängig.

Arten des Wasserzutrittes:

- Schwitzen: flächenhafter Wasseraustritt an der Ausbruchslaibung, Tropfenbildung an der Firste.
- Sickerwasser: Wasseraustritt aus Klüften und Rissen, die über den gesamten Querschnitt auftreten können.
- Wassereinbruch: häufig plötzlicher Wassereinbruch, vermischt mit Schwebstoffen, Schlamm oder kleinstückigem Gestein.
- Wasserzufluss (Seihwasser): Austreten von geschlossenen Wasserstrahlen aus einzelnen Spalten. Man unterscheidet zwei Arten:
 - Quellen: Wasseraustritt in dünnen Strahlen
 - Spaltwasser: Wasseraustritt in konzentrierten Flüssen bei sehr großen Querschnitten, besonders in Karstgebirgen häufig auftretend.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Grundwasserleiter (gut durchlässige Gesteine) und Grundwasserstauer (undurchlässige Gesteine). Relevant zur Abschätzung der Speicherkapazität des Gesteins sind die Art der Ausbildung des anstehenden Gebirges und die unterschiedlichen Lagerformen der oben erwähnten Leiter.

Eine Gefährdung tritt dann auf, wenn man beim Vortrieb auf Kluftsysteme trifft, die in mächtigen Schichten mit Wassermassen gefüllt sind. Besonders gefährlich sind für den Tunnelbau Karstwässer, durch chemische Auflösungen und mechanische Erosion des durchsickernden Niederschlagswasser bilden sich vornehmlich in Dolomit- oder Karstgebirgen komplizierte unterirdische Rinnensysteme. Trifft man beim Vortrieb auf ein

solches Karstsystem, so ergießt sich das Wasser mit großem hydrostatischem Druck und in großen Mengen in den aufgefahrenen Tunnel. Oftmals werden bei einem Wassereinbruch Schwebstoffe, Geschiebe und Sand mitgeführt. Dies kann im Extremfall zu einem Verbruch führen.

Eine eingehende Analyse aller relevanten Einflussfaktoren ist entscheidend für die Auswahl eines geeigneten Verfahrens bzw. für die optimale Kombination¹⁷³.

- Geologie
 - Durchlässigkeit des Bodens für Wasser und Luft
 - Verlauf und Mächtigkeit der einzelnen Bodenschichten und Störzonen
 - Überdeckung über der Firste
 - Setzungsempfindlichkeit und Lagerungsdichte
 - Hohlräume, alte Wasserläufe.
- Hydrologie
 - hydrostatischer Wasserdruck
 - Grundwasserströmung
 - Überdeckungshöhe des Wasserspiegels über der Firste
 - Druckhöhe und Anzahl der GW – Stockwerke
 - Durchlässigkeit
 - GW – Chemismus.
- Vortrieb
 - Vortriebsmethode
 - Dauer und Streckenlänge der Wasserhaltung
 - Anzahl gleichzeitig offener freier Ortsbrustflächen
 - Vorlauf- und Bauzeitentwicklung
 - Entwicklungslänge der aufzufahrenden Rohbaustrecke.
- Oberfläche
 - Bebauungsdichte, -zustand und Gewässerbestand
 - Art, Lage, Dichte und Zustand der Infrastruktur.
- Umwelt
 - Trinkwassereinzugsgebiete, -versorgung, Quellen
 - Altlasten
 - Baulärm, Staubentwicklung.

¹⁷³Kranner, 2001, S.40.

- Wirtschaftlichkeit
 - Auflagen von Behörden
 - Kostenrechnung.

9.2.2 WASSERHALTUNG IM VORTRIEB

Aus den oben aufgezählten Einflussfaktoren erfolgt die Wahl der Wasserhaltungsmaßnahmen, oft kann mit einfachen Methoden ein Auslangen gefunden werden, bei größerem Wasserandrang sind höherwertige Sondermaßnahmen zu setzen, d.h. es erfolgt entweder ein Einzelverfahren oder eine Kombination davon.

- Ableitung
- Absenkung
- Drainagestollen
- Filterrohre
- Vakuumlampen
- Injektionen, Injektionsschirme.

9.2.2.1 ABLEITUNG

Das anfallende Bergwasser soll möglichst ungestört (kontinuierlich) und ohne den Vortrieb zu beeinträchtigen abgeleitet werden. Die Fassung erfolgt direkt an der Tunnellaubung und wird in die Baudrainage eingeleitet.

Die technischen Anforderungen und der Installationsaufwand für die Wasserhaltung im Tunnel hängen grundsätzlich davon ab, ob der Tunnel steigend oder fallend vorangetrieben wird. Der Vorteil eines steigenden Tunnels ist, dass sowohl die erwarteten als auch die unerwarteten, plötzlich eintretenden Wassermengen durch die Längsneigung abgeleitet werden können. Bei fallendem Vortrieb hingegen muss das Wasser in Pumpensämpfen gefasst und nach außen gepumpt werden.

Eine Minimalvorhaltung an Leitungen und Pumpen sollte bei Tunnelbaustellen immer gegeben sein, sollten große Wasserzutritte prognostiziert sein, müssen Pumpen, Pumpensämpfe und Förderleitungen mit einem Sicherheitszuschlag für die Streubreite vorgesehen werden.

punktueller Fassung	linienhafte Fassung	flächenhafte Fassung
Bohrung	Oberhasli - Verfahren	Einkornbeton – Außenschalen
Steckschlauch	Filterschläuche	Einkornbetonverfüllung beim mehrschaligen Streckenausbau
Tropfrinne	Halbschalendrainung	U – Stein – Drainung
	Filterstreifen	Noppendrainplatten
	Noppen- Stegfolien	Schutzvlies als Drain- und Schutzelement von Folienabd.
	Drainplatten	Sohlfiler nach Art der Frostschutzkoffer
	Strukturmatten	

Tabelle 27: Arten der Wasserableitung¹⁷⁴

Die punktuelle Fassung kommt bei Wassereintritt durch kleine Öffnungen oder geöffneten Klüften zur Anwendung, ist jedoch der Zufluss an mehreren Stellen vorhanden wird es linienförmig gefasst. Ist der Wasserzutritt so stark, dass er weder punktuell noch linienförmig gefasst werden kann, müssen flächenhafte Drainierungen angeordnet werden. Diese müssen die Zuflussstelle wasserdicht abdecken, einen freien Abfluss unter der Abdeckung gewährleisten und einen tragfähigen Grund zur Aufbringung des Spritzbetons bilden.

Aquifer-typ	Durch-lässigkeit	Wasser-druck	charakt. Tunneltyp	Maßnahmen	Endausbau
Poren und Kluftgrundwasserleiter	groß	klein	Lockergesteinstunnel, ev. seichter Felstunnel	temporäre GW – Absenkung erlaubt und wirtschaftlich Wasserhaltung mittels Filterbrunnen	wasserdichte Röhre, Drainageröhre selten, wegen des zu großen Wasserandrangs
		groß	Störzonen, resp. sehr starke Klüftung bei tiefliegenden Felstunnel	vorausseilende Drainagebohrung, Drainagestollen, vorausseilende Abdichtungs-injektionen	Drainageröhre, wasserdichte Röhre
	klein	klein	seichte Tunnel im Fels und bindigem Lockergestein	keine speziellen Maßnahmen erforderlich	Drainageröhre, wasserdichte Röhre, Kombinationslösungen
		groß	tiefliegender Felstunnel	keine speziellen Maßnahmen erforderlich	Drainageröhre zur Vermeidung von Wasserdrücken
Großkluftkarst	groß	klein	Felstunnel mit unterschiedlicher Lage zum GW – Spiegel	vorausseilende Drainagebohrungen	Drainageröhre, wasserdichte Röhre, Kombinationslösungen
		groß		vorausseilende Felsabdichtungs-injektionen, Abschotten in Tunnellängsrichtung	

Tabelle 28: Zusammenstellung der Aquifertypen samt Maßnahmen und Endausbau¹⁷⁵

¹⁷⁴ Maidl, 1997, S.154.

¹⁷⁵ Czermak, 1996, S.73.

9.2.2.2 DRAINAGESTOLLEN

Das Anlegen eines Drainagestollens empfiehlt sich bei prognostiziertem starkem Wasserandrang, sie können neben der vorauseilenden Entwässerung auch andere Aufgaben, wie z.B. als Erkundungs-, Belüftungsstollen oder späteren Fluchtstollen¹⁷⁶ haben.

Sie werden sowohl innerhalb als auch außerhalb des eigentlichen Tunnelquerschnitts angelegt, um den Vortrieb möglichst wenig zu beeinflussen.

9.2.2.3 FILTERROHRE

Die systematische Vorausentwässerung wird in der Firste, den Kämpfern und den Ulmen abgeteuft und mit Filterrohren ausgebaut. Die fallenden Rohre in den Ulmen sind im Bohrlochtiefsten mit einer Pumpe ausgestattet, um das Wasser bis zur Ortsbrust zu fördern. Die Grenzen hinsichtlich Länge und des Durchmessers sind maßgeblich durch das Bohrverfahren und die Bodenverhältnisse bestimmt¹⁷⁷.

9.2.2.4 VAKUURLANZEN

Dieses Verfahren wird hauptsächlich angewendet, wenn das Wasser in den Kapillaren gebunden ist. In den Filterrohren, die vom Tunnel aus in den Boden eingespült, eingeschlagen oder gebohrt werden, wird ein Unterdruck erzeugt, um das Wasser aus dem Gestein zu ziehen. Systeme mit Selbstbohrvakuumspießen mit Längen von bis zu vier Metern haben sich beim Entwässern von lokalen Linsen bestens bewehrt¹⁷⁸.

9.2.2.5 INJEKTIONEN, INJEKTIONSSCHIRME

Bei Injektionen werden die Hohlräume des Gebirges durch Einbringen von Verpressgut verschlossen. Beim Injektionsverfahren wird dem Vortrieb vorauseilend ein sich überlappender Injektionskörper in Form eines geschlossenen Ringes erstellt. Voraussetzung ist die Injizierbarkeit wie auch die Wahl des geeigneten Injektionsmittels (Zement, Kunstharz oder chemische Injektion). Folgende geologische, hydrologische und chemische Einflussfaktoren bestimmen den Erfolg dieser Methode:

¹⁷⁶ Schneider, 2007, S.22.

¹⁷⁷ Mauerhofer, 2007, S.436.

¹⁷⁸ Ebenda, S.437.

- mineralische Zusammensetzung und Kornverteilung
- Schichtmächtigkeit und Klufnetz
- Durchlässigkeit und hydrostatischen Druck
- chemische Eigenschaften des Bergwassers.

Bei diesem Verfahren wird das anstehende Bergwasser nicht abgeführt, sondern vielmehr durch einen undurchlässigen Schirm vor dem Eindringen in den Tunnelvortrieb gehindert. Durch die Injektionen entsteht ein stabiler Gebirgstragring, der die Gesteinsdurchlässigkeit herabsetzt und Drücke bis zu einer Wassersäulenhöhe von 2000 m aufnehmen kann.

9.2.2.6 ABSENKUNG

Vor allem bei oberflächennahen (seicht liegenden) Tunneln im Lockergestein wird die Grundwasserabsenkung angewendet. Vor Beginn der Vortriebsarbeiten, also vorausseilend, wird mit Hilfe von Brunnen der Grundwasserspiegel unter die Tunnelsohle abgesenkt. Erst nach Fertigstellung der Innenschale werden die ursprünglichen Verhältnisse wiederhergestellt. Bereits vor der Bauphase müssen umfangreiche Untersuchungen durchgeführt werden, um die Anzahl und Tiefe der Brunnen sowie die Setzungen abschätzen zu können. Je nach vorhandener Wasserdurchlässigkeit erfolgt die Wasserhaltung durch

- Gravitations- oder Filterbrunnen
- Vakuumverfahren
- Elektroosmose – Verfahren.

9.2.3 TUNNELABWASSERENTSORGUNG

Das gesammelte Wasser (Berg- und Betriebswasser) kann durch den laufenden Vortrieb des Tunnels bzw. durch Auswaschungen von Schadstoffen¹⁷⁹ mit Nitriten, Ammonium, Kohlenwasserstoffen und Chromaten stark verunreinigt und verändert sein. Die Belastungen stammen zum Teil vom Einsatz von Schmiermitteln, Treibstoffen und Hydraulikflüssigkeiten der eingesetzten Maschinen oder vom Sprengbetrieb (Nitrit und Ammonium). Zusätzlich belastet der Spritzbetonruckprall sowie Auswaschungen aus dem Beton (Spritz- oder Ortbeton) das Wasser mit Chromaten.

Eine direkte Einleitung des gesammelten Wassers ist im Falle einer starken Verschmutzung in den Vorfluter aus umweltbiologischen Gründen ohne Vorreinigung nicht erlaubt.

¹⁷⁹ Hitz, 2005, S.1.

Unter Tage	Über Tage	
transportable Absetzbecken	mechanische Verfahren	Absetzanlage
Zwischenpumpensümpfe als Absetzbecken	chemische Verfahren	Fällung, Neutralisation
Hauptpumpensümpfe mit Vorklärbecken als Absetzanlage	Schlammbehandlung	Kammerfilterpresse
Einsatz von Vakuumsaufwagen	Kontrolleinrichtung	pH – Meter, Mengenmessung

Tabelle 29: Einrichtungen zur Wasserreinigung¹⁸⁰

Die Reinigung erfolgt im Baustellenumfeld und in Abhängigkeit der Einleitbedingungen. Abhängig von der Abwassertemperatur und dem pH – Wert (6,5 – 8,5) können unterschiedliche Maßnahmen zur Abwasserreinigung getroffen werden:

Für die Neutralisation von alkalischen Wässern (Spritzbetonaustrag) können folgende Verfahren angewendet werden:

- Kohlensäure: umweltfreundlich, keine Erhöhung der Salzfracht
- Solvo – B – Verfahren: es wird ebenfalls Kohlensäure verwendet, über im Beckenboden verlegte Begasungsschläuche wird das CO₂ gleichmäßig im alkalischen Wasser verteilt.

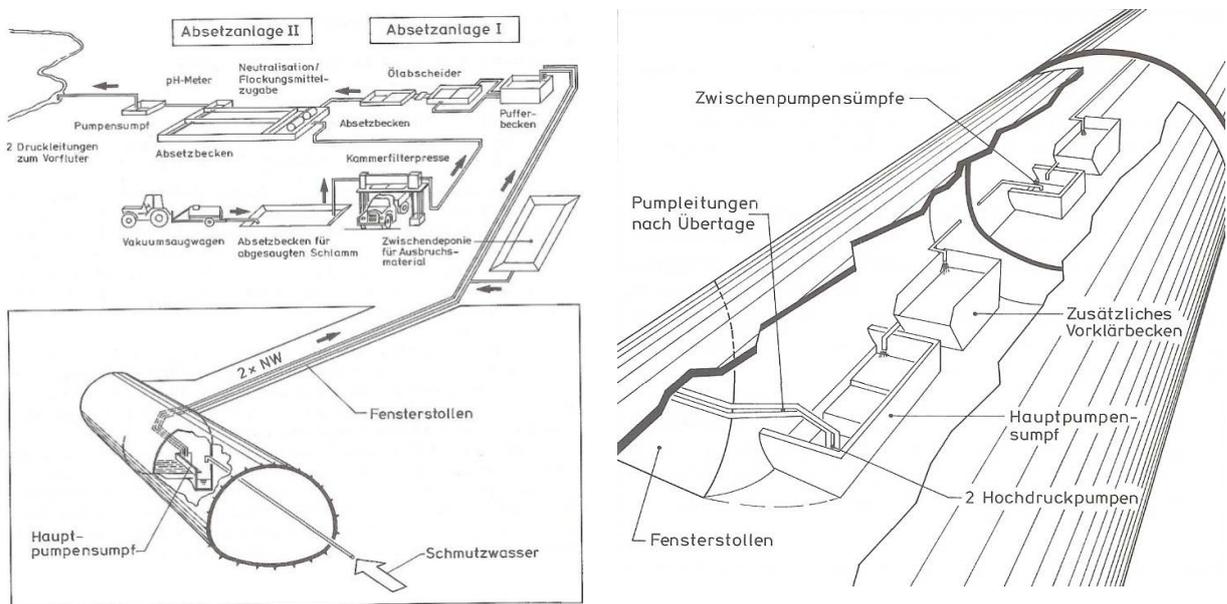


Abbildung 38: Abwasserreinigung im Tunnelbau¹⁸¹

links Abwasserreinigung über Tage; rechts Abwasserreinigung unter Tage

¹⁸⁰ Maidl, 1997, S.167.

¹⁸¹ Ebenda, S.168.

Erst nach der Reinigung erfolgt der Abfluss des Wassers in die Vorflut.

Der bei der Reinigung anfallende Klärschlamm wird nach der Denitrifikation und Entwässerung deponiert. In Spezialfällen kann er als Rohstoffersatz in der Ziegel- oder Zementproduktion¹⁸² weiterverwendet werden.

¹⁸² Hitz, 2005, S.6.

10 SCHLUSSFOLGERUNG

Der Bau von langen Tunnelbauwerken ist eine technisch wie logistisch hochkomplexe Herausforderung. Die Erstellung einer Rezeptur bzw. Leitfadens zum Bau eines Tunnels ist aus vielerlei Gründen nicht möglich. Die Errichtung hängt von vielen laufend wechselnden Randbedingungen ab. Der Einfluss der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse bestimmt die Vortriebsart und wirkt sich entscheidend auf den Baufortschritt aus. Viele mögliche, unerwartet eintreffende Ereignisse können im Vorfeld zwar berücksichtigt und Vorkehrungen getroffen werden, eine ausreichende Sicherheit stellt dies jedoch nicht dar.

Diese Interaktion der Faktoren soll in *Abbildung 40* (komplexe Darstellung) gezeigt werden. Aufgrund der Komplexität wurde versucht eine Vereinfachung in mehreren Ebenen darzustellen (*Abbildung 39*). Mit den geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen, den gesetzlichen Auflagen, Art und Ausbau des Tunnelsystems beginnend zeigt sich in der zweiten Ebene neben den örtlichen Gegebenheiten der Einfluss auf die Planung der Baustellenlogistik. Dem übergeordnet ist die Versorgungs- und Arbeitssicherheit. Die Gesamtheit der Faktoren ergibt schlussendlich, ob ein wirtschaftlicher Bauerfolg erzielt werden kann.

Im Bau von zwei- oder mehrröhrigen Tunnels liegen klare logistische Vorteile. Durch eine Ver- und Entsorgung über die einzelnen Röhren trägt die Versorgungssicherheit einen wesentlichen Einfluss auf den Bauerfolg bei. Weiters kann im Falle einer Evakuierung ein Fluchtweg über die anderen Röhren gegeben sein.

Ein Abtransport des gelösten Bodens ohne Verzögerung und die Anlieferung der für den Tunnelausbau benötigten Materialien ist unabdingbar. Der gelöste Boden wird, abhängig von der Vortriebslänge, entweder schienengebunden oder mittels Förderband (langer Vortrieb) bzw. mit LKW's (kurzer Vortrieb) aus dem Tunnel gefördert. Bei langen Vortrieben liegen die Vorteile beim Förderband, das sich durch eine hohe Leistungsfähigkeit auszeichnet. Durch eine Trennung der Materialflüsse (*Abbildung 18*) versucht man eine möglichst große Entflechtung der An- und Abtransporte zu erzielen, um genügend Ressourcen für eine termingerechte Anlieferung der Materialien zur Ortsbrust bzw. an die Linienbaustellen zu schaffen.

Aus wirtschaftlichen Gründen versucht man das anfallende Ausbruchsmaterial, soweit wie möglich, wiederzuverwerten. Nach der Eignungsüberprüfung erfolgt die Trennung in Deponiematerial, Auffüllungen oder Betonzuschlagsstoff.

Eine große Herausforderung stellt eine geeignete Betonzusammenstellung (Rezeptur – Spritzbeton, Innenschale) dar. Durch lange Antransportzeiten und erhöhte Umgebungs-

temperaturen beim Einbau muss den geforderten Eigenschaften und Anforderungen an den Tunnelbeton genüge getan werden. Besonders erwähnt sei hier eine lange Verarbeitungszeit und hohe Frühfestigkeit in Verbindung mit einer hohen Ausschalfestigkeit.

Besondere Probleme beim Vortrieb ergeben sich durch eindringendes Bergwasser, das entweder an der Ortsbrust oder durch vorausseilende Wasserhaltungsmaßnahmen gefasst werden muss. Die teilweise großen Überlagerungen im Gebirge haben nicht nur auf das Bergwasser Einfluss, sondern auch auf den Tunnelschalenausbau. Entscheidend hier ist, ob die Schale drainierend oder druckwasserhaltend ausgeführt wird.

Durch die hohe Mechanisierung im Tunnelbau wird das Personal zunehmend Gefahren ausgesetzt, ein umfangreiches Sicherheits- und Rettungskonzept hilft, dass die Gefahren evaluiert und bei Notfällen die richtigen Maßnahmen getroffen werden.

Von der Planung bis zur Fertigstellung eines Tunnelbauwerks sind viele komplexe Probleme zu lösen. Während der Bauphase ergeben sich neue Problemstellungen, denen oft mit unkonventionellen Maßnahmen zu begegnen ist. Den beteiligten Ingenieuren und Tunnelmannschaften wird hohe Flexibilität und Arbeitsbereitschaft abverlangt, um einen schnellen, möglichst kostengünstigen Vortrieb zu erzielen.

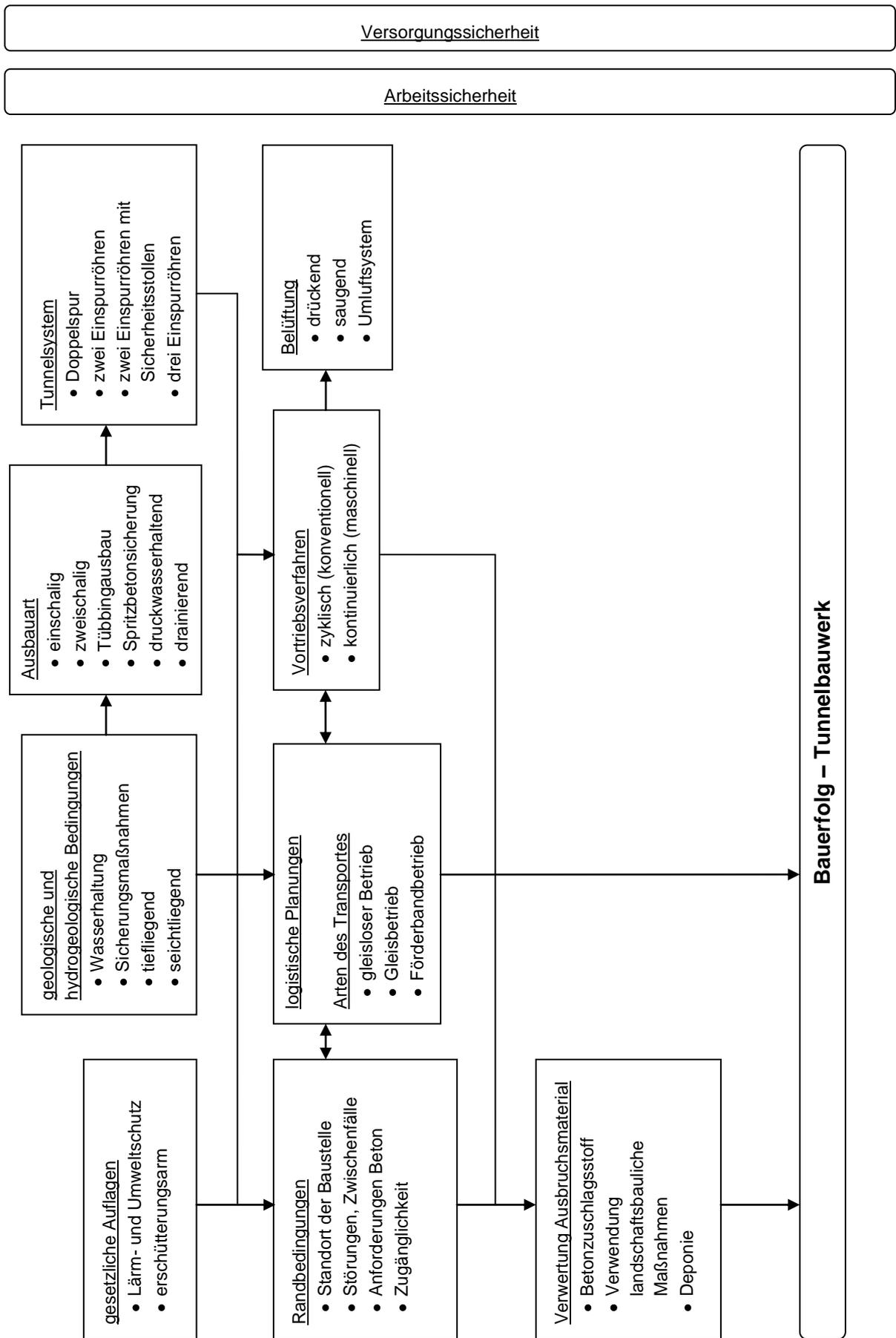


Abbildung 39: Bauerfolg – Beziehungen (vereinfachte Darstellung)

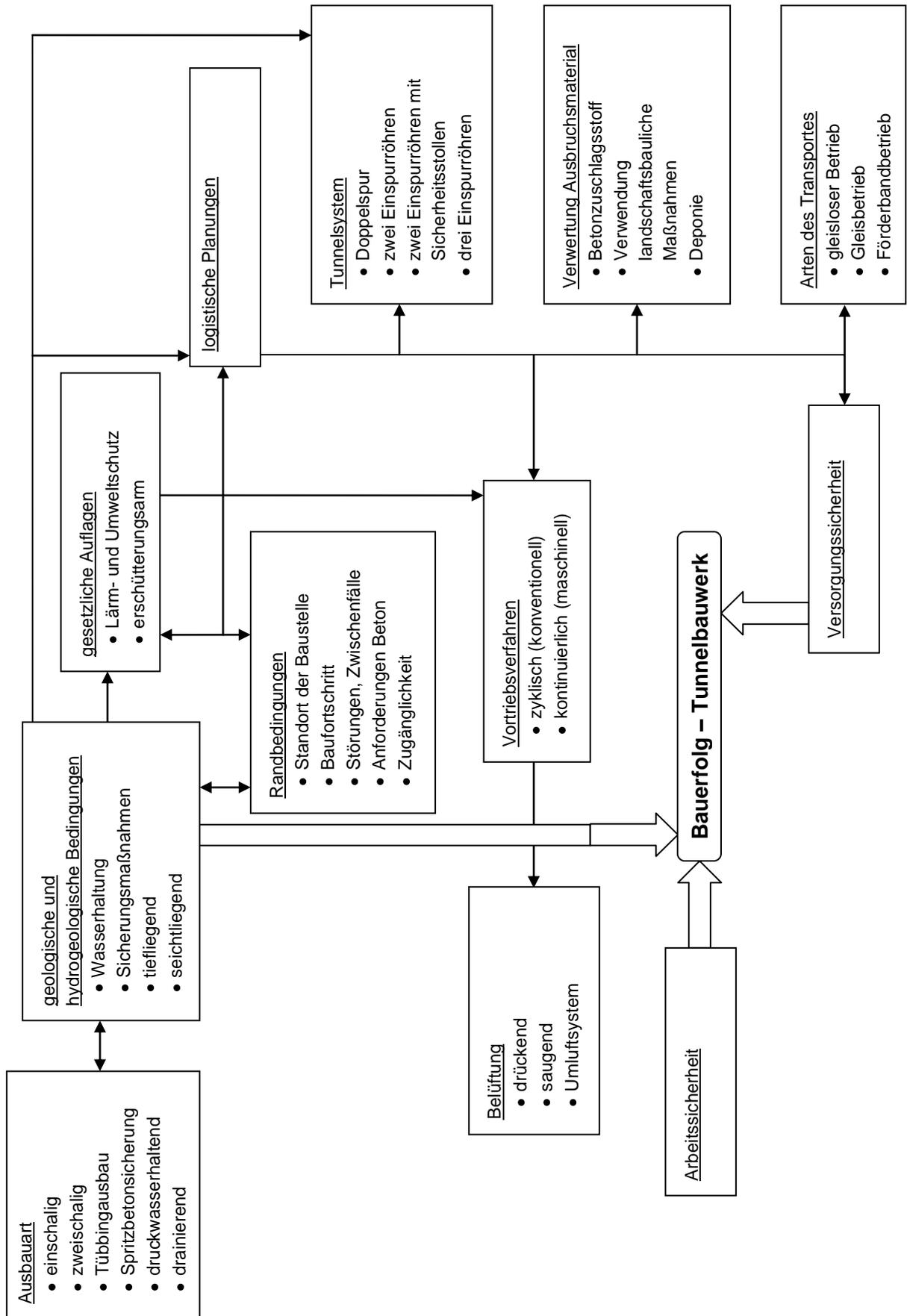


Abbildung 40: Bauerfolg – Beziehungen (komplexe Darstellung)

11 LITERATURVERZEICHNIS

Aunkofer:

Handbuch der Bergbaulogistik, Band 37. Essen: Glückauf-Betriebsbücher, 1992.

BGL 2007. Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, 2007.

Baggenstos, R.:

TBM - Vortrieb auf langen Vortriebsstrecken im Hartgestein. *Felsbau 3/2007*, 2007.

Basistunnel: *Technisches Projekt Brenner - Basistunnel*, 2002.

Bergmeister, K.:

Sicherheitskonzepte für Tunnel. In *Betonbaukalender 2005: Fertigteile - Tunnelbauwerke*. S.521-551, Berlin: Ernst & Sohn, 2005.

Blindenbacher, B.:

Logistik und Bewetterung bei langen parallelen TBM Tunnelvortrieben. *Felsbau 3/2007*, 2007.

Brux, G.:

Sicherheitskonzepte für Untertagebaustellen. *Tiefbau 2/2007*, S. 109, 2007.

Brux, G.:

Tunnelbetrieb und Sicherheit. In D. G. Geotechnik, *Taschenbuch für den Tunnelbau 2005*, S.183-214, Essen: Glückauf Verlag, 2005.

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit:

Bauarbeiterschutzverordnung (BauV), S.64, 1994.

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit:

Grenzwerteverordnung 2006, S.66.

Busslinger, A.:

Baulüftung und -kühlung des Brenner Basistunnel. *Felsbau 3/2007*, 2007.

Czermak, R.:

Abdichtung gegen Bergwässer im Tunnelbau. Diplomarbeit, TU Wien, Inst. für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 1996.

Diewald, M.:

Logistik langer TBM Vortriebe am Beispiel Wienerwaldtunnel. *Felsbau 3/2007*, 2007.

Eberl, G.:

Leitfaden für die Planung und Umsetzung von Sicherheitskonzepten auf Untertagebaustellen. *Österreichischer Tunneltag*, S. 79-82, Salzburg, 2006

Embacher, M.:

Tunnelschälwagen. Diplomarbeit, TU Wien, Inst. für Tragkonstruktionen/Stahlbau, 2003.

Europäische Kommission:

Transeuropäisches Verkehrsnetz - TEN - V - vorrangige Achsen und Projekte 2005.
Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaft, 2005.

FSV:

Leitfaden für die Planung und Umsetzung eines Sicherheits- und Gesundheitsschutzkonzeptes auf Untertagebaustellen. 2007.

Girmscheid, G.:

Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau. Berlin: Ernst & Sohn, 2000.

Girmscheid, G.:

Tunnelbohrmaschinen - Vortriebsmethoden und Logistik. In *Betonbaukalender 2005: Fertigteile - Tunnelbauwerke*, S.119-381, Berlin: Ernst & Sohn.

Goger, G.:

Auswahl für Spritzbetonsysteme für zyklische Tunnelvortriebe. Dissertation, TU Wien, Inst. für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2003.

Haack, A.:

Brandschutz in Verkehrstunneln. In *Betonbaukalender 2005: Fertigteile - Tunnelbauwerke*, S.552-574, Berlin: Ernst & Sohn, 2005.

Hitz, A.:

Verwertung belasteter Schlämme aus dem Gotthard - Basistunnel, 2007.

Hitz, A.:

Verwertung von TBM - Ausbruchsmaterial beim Gotthard - Basistunnel. Zollikon: Ernst Basler+Partner, 1999.

Homepage: www.alptransit.ch

Homepage: www.gueteverband-transportbeton.at

Homepage: www.helogistik.de

Homepage: www.herrenknecht.de

Homepage: www.maba.at

Homepage: www.muellerscience.com

Homepage: www.oebb.at

Homepage: www.rowa-ag.ch

Homepage: www.schoema-locos.de

Homepage: www.wuwien.ac.at

Insam, R.:

Tunnelentwässerung. Diplomarbeit, TU Innsbruck, 1999.

Jodl, H. G.:

Vortriebsmethoden und Ausbau von Tunnels. In *Betonbaukalender 2005: Fertigteile - Tunnelbauwerke*, S.19-117, Berlin: Ernst & Sohn, 2005.

Kranner, A.:

Begleitmaßnahmen im Tunnelbau. Diplomarbeit, TU Wien, Inst. für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2001.

Kruse, M.:

Aufbereitung des Ausbruchmaterials am Gotthard - Basistunnel. *Tunnel 5/2002*, S. 27-34, 2002.

Lachsteiner, A.:

Kriterien zur Auswahl von Schuttergeräten. Diplomarbeit, TU Wien, Inst. für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2003.

Lauffer, H.:

Die Logistik langer Tunnelvortriebe. In *Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Jodl*, S.193-203, Wien: TU Wien, Eigenverlag, 2007.

Lehner, W.:

Erfahrungen mit der Schutterung beo langen Vortriebsstrecken am Beispiel des Lötchberg - Basistunnels Nord. *Tunnel IUT 2002* , S.70-77, 2002.

Maidl, B.:

Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus, Band I: Konstruktion und Verfahren. Essen: Verlag Glückauf, 3. Auflage, 2004.

Maidl, B.:

Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus, Band II: Grundlagen und Zusatzleistungen für Planung und Ausführung. Essen: Verlag Glückauf, 3. Auflage, 2004.

Maidl, B.:

Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb. Berlin: Ernst&Sohn, 1995.

Maidl, B.:

Tunnelbau im Sprengvortrieb. Berlin: Springer Verlag, 1997.

Maidl, B.:

Tunnelbohrmaschinen im Hartgestein. Berlin: Ernst & Sohn, 2001.

Mauerhofer, G.:

Systematische Vorauserkundung im Tunnelbau Erfahrungen in den Neogenstrecken der Erkundungstunnel für den Koralmtunnel. 6. *Österreichische Geotechniktagung*, S.431-442, 2007.

Pacher:

Logistik bei langen Vortrieben am Beispiel des Gotthard - Basistunnels, Los 554, *Felsbau 3/2007*, S.2007.

Rath, A.:

Wienerwaldtunnel - besondere Anforderungen an die Baustellen-Logistik für ein bedeutendes Infrastrukturprojekt. *Zement+Beton 2/2007*, S.6-11, 2007.

Schneider, E.:

Innovatives Konzept für den Bau des Brenner Basistunnels mit vorgängig hergestelltem Erkundungsstollen. *Tunnel 1/2007*, S.21-32, 2007.

Schweizerische Versicherungsanstalt:

Sicherheit und Gesundheitsschutz im Untertagebau, 2004.

Widetschek, O.:

Brandschutz in Tunnels und anderen Bauwerken. *Der Sachverständige, Heft 2/2003*, S.88-91, 2003.

Zingel, H.: *Homepage: www.zingel.de, 2007.*

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Logistik.....	11
Abbildung 2: Logistik im Laufe des letzten 50 Jahre	13
Abbildung 3: Ansätze für stützende Mitwirkung des Baugrundes	14
Abbildung 4: Tiefliegender Tunnel mit Gebirgstragring.....	15
Abbildung 5: Geschichtliche Entwicklung der Spritzbetonverfahren	21
Abbildung 6: Doppelspurtunnel mit Sicherheitsstollen (D + S)	24
Abbildung 7: System mit zwei Einspurröhren (E + E)	25
Abbildung 8: System mit zwei Einspurröhren mit Sicherheitsstollen (E + S + E)	25
Abbildung 9: System mit drei Einspurröhren (E + E + E).....	26
Abbildung 10: Wahl des Vortriebsverfahrens	27
Abbildung 11: Einteilung der verschiedenen Tunnelvortriebsmaschinen	28
Abbildung 12: Schneidkopfvorrichtung bei Teilschnittmaschinen	32
Abbildung 13: Systemgruppen einer Tunnelbohrmaschine	34
Abbildung 14: Einfachschild – TBM.....	35
Abbildung 15: Nachläufer.....	41
Abbildung 16: Funktionsbereiche eines Gripper – TBM Nachläufersystems mit Sohlübbling	41
Abbildung 17: Sicherungskonzepte.....	45
Abbildung 18: Trennung des Materialtransport in horizontale und vertikale Flüsse	47
Abbildung 19: Rotationskipper	53
Abbildung 20: Einseitenselbstentleerer	53
Abbildung 21: Bunkerzug.....	54
Abbildung 22: Monorail – Zugzusammenstellung.....	55
Abbildung 23: California – Weiche	57
Abbildung 24: Umlauf – Paternostersystem	58
Abbildung 25: Bandspeicher mit mobiler Umlenkstation.....	61
Abbildung 26: Füllquerschnitt einer Bandförderanlage.....	81
Abbildung 27: Ringbau eines sechsteiligen Tübbingringes (5+1)	98
Abbildung 28: Varianten für die Innenschale bei zweischaligen Konstruktionen.....	110
Abbildung 29: Tunnelröhren mit Querschlägen	115
Abbildung 30: Randbedingungen zur Dimensionierung von Lüftungs- u. Kühlsystemen im Tunnelbau.....	116
Abbildung 31: Funktionsweise der drückenden Belüftung	120
Abbildung 32: Funktionsweise der saugenden Belüftung	121
Abbildung 33: Funktionsweise der kombinierten Belüftung	122
Abbildung 34: Umluftsystem	123

Abbildung 35: Belüftungsschema eines TBM – Vortriebes	124
Abbildung 36: Rettungskonzept für den Untertagebau	127
Abbildung 37: Arten der Wasserführung im Gebirge	138
Abbildung 38: Abwasserreinigung im Tunnelbau	145
Abbildung 39: Bauerfolg – Beziehungen (vereinfachte Darstellung)	149
Abbildung 40: Bauerfolg – Beziehungen (komplexe Darstellung)	150

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Längste Tunnelbauwerke weltweit und in Österreich.....	23
Tabelle 2: Einsatzbereiche von Tunnelvortriebsmaschinen.....	37
Tabelle 3: Vortriebsklassen für TBM und SM.....	38
Tabelle 4: Aspekte für den Entwurf von Nachläufersystemen.....	40
Tabelle 5: Ankersysteme bei Verwendung im TBM – Vortrieb.....	46
Tabelle 6: Übersicht über verschiedene Förderwagentypen.....	52
Tabelle 7: Füllfaktor φ abh. vom Material.....	70
Tabelle 8: Auflockerungsfaktoren.....	70
Tabelle 9: Spielanzahl von gebräuchlichen Ladegeräten im Tunnelbau.....	70
Tabelle 10: Benötigte Fahrzeit zur Deponie.....	72
Tabelle 11: Benötigte Fahrzeit zur Ortsbrust.....	72
Tabelle 12: Umlaufzeit eines Muldenkippers.....	72
Tabelle 13: Benötigte Muldenkipperanzahl.....	73
Tabelle 14: Gesamte Umlaufzeit für eine Schuttergarnitur.....	76
Tabelle 15: Umlaufzeit für eine Schuttergarnitur.....	79
Tabelle 16: Theor. Füllquerschnitte für 3-teilig gemuldete Gurte.....	82
Tabelle 17: Überblick über die unterschiedl. Transportkosten bei einröhrigen Tunneln.....	86
Tabelle 18: Überblick über die unterschiedl. Transportkosten bei zweiröhrigen Tunneln.....	88
Tabelle 19: Überblick über die Spritzbetonverfahrenstechnik.....	93
Tabelle 20: Anhaltswerte für Ringspaltmörtel.....	103
Tabelle 21: Ausbausysteme für Tunnel.....	108
Tabelle 22: Arbeitsmedizinische Richtlinien.....	117
Tabelle 23: Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK – Werte).....	117
Tabelle 24: Gasgefahrenstufen.....	132
Tabelle 25: Materialaufteilung Gotthard – Basistunnel.....	137
Tabelle 26: Prognostizierte Einsparungen durch Eigenversorgung beim Gotthard – Basistunnel.....	137
Tabelle 27: Arten der Wasserableitung.....	142
Tabelle 28: Zusammenstellung der Aquifertypen samt Maßnahmen und Endausbau.....	142
Tabelle 29: Einrichtungen zur Wasserreinigung.....	145
Tabelle 30: Gebirgstyp für den zyklischen und kontinuierlichen Vortrieb.....	163

BILDVERZEICHNIS

Bild 1: Deutsche Bauweise	18
Bild 2: Englische Bauweise	18
Bild 3: Belgische Bauweise	19
Bild 4: Österreichische Bauweise.....	19
Bild 5: Lokomotiven	52
Bild 6: Monorail	55
Bild 7: Schienenstoß	56
Bild 8: Unterkunft und Transport auf Tunnelbaustellen.....	63
Bild 9: Transportwagen im Tunnelbau.....	65
Bild 10: Betonmischer	91
Bild 11: Betonproduktion am Baustellengelände (Wienerwaldtunnel).....	97
Bild 12: Baustelleneinrichtung Wienerwaldtunnel.....	100
Bild 13: Versorgungsleitungen zur Ortsbrust.....	102
Bild 14: Rohrleitungseinsatz im Tunnelbau	102
Bild 15: Innenschalenausbau	111
Bild 16: Querschlagherstellung	113
Bild 17: Luttenleitungen am Tunnelportal.....	119
Bild 18: Unfallstatistik in China.....	125
Bild 19: Rettungsmaßnahmen.....	130
Bild 20: Persönliche Schutzausrüstung im Tunnelbau.....	135

DIAGRAMMVERZEICHNIS

Diagramm 1: Überblick der unterschiedl. Transportkosten bei einröhrigen Tunneln.....	85
Diagramm 2: Überblick der unterschiedl. Transportkosten pro lfm bei zweiröhrigen Tunneln	87

ANHANG

Gebirgstyp A:	Erfordernisse für den Ausbruch und die Stützmaßnahmen bei
<p>Gebirgsverhalten:</p> <p>A1 standfest sehr rasch abklingende, geringe Deformationen, keine Ablösescheinungen von Gesteinstteilen nach dem Entfernen loser Gesteinstteile</p>	<p>zyklischem Vortrieb kontinuierlichem Vortrieb</p> <p>Stützmittel sind nicht erforderlich: Abschlagslängen sind lediglich arbeitstechnisch beschränkt.</p>
<p>A2 nachbrüchig sehr rasch abklingende, geringe Deformationen, vereinzelt gefügebegleitete Ablösungen von Gesteinstteilen aus der Firse und dem oberen Ulmenbereich</p>	<p>Stützmittel sind nur örtlich in der Firse, im Kämpfer und im oberen Ulmenbereich zur Sicherung einzelner Klufkörper und zur Kerbversiegelung erforderlich. Abschlagslänge ist zur Begrenzung des Oberprofils zu beschränken.</p> <p>Stützmittel sind nur örtlich in der Firse, im Kämpfer und im oberen Ulmenbereich zur Sicherung einzelner Klufkörper erforderlich. Einbau der Stützmittel im Arbeitsbereich 2 ohne Unterbrechung des Maschinenvortriebs. Standzeit: 3 Wochen bis 4 Tage.</p>
<p>Gebirgstyp B:</p> <p>gebäches Gebirge Dieser Gebirgstyp umfaßt jenes Gebirge, welches wegen gefügebegleiteter mangelnder Verbandsfestigkeit und/oder mangelnder Verspannung zu Entfestigung neigt</p>	
<p>B1 gebäch sehr rasch abklingende geringe Deformationen; gefügebegleitete geringe Verspannung, hohe Teilbeweglichkeit und Sprenginflüsse führen zu rascher, tiefer Erschütterungen führen zur Auflockerung und zu Ablösungen des Gebirgsverbandes in der Firse und im oberen Ulmenbereich</p>	<p>Stützmittel sind systematisch, jedoch in geringem Umfang erforderlich. Die Abschlagslänge ist, der Standzeit und der Stützweite entsprechend, dem Zeitbedarf zum Einbringen der Stützmittel anzupassen. Voraussetzungen können lokal erforderlich sein.</p> <p>B 1.1 systematischer Stützmitteleinbau in geringem Umfang, vornehmlich im First-, Kämpfer- und Ulmenbereich im Arbeits-freien Bereich 2, ohne Unterbrechung des Maschinenvortriebs. Standzeit: 4 bis 2 Tage. B 1.2 systematischer Stützmitteleinbau im First-, Kämpfer- und Ulmenbereich in den Arbeitsbereichen 1 und 2. Der Maschinenvortrieb wird durch den Stützmitteleinbau beeinträchtigt. Standzeit: 2 Tage bis 10 Stunden.</p>
<p>B2 stark gebäch rasch abklingende Deformationen; gefügebegleitete geringe Gebirgsfestigkeit, geringe Verspannung, hohe Teilbeweglichkeit und Sprenginflüsse führen zu rascher, tiefer reichender Auflockerung sowie Ablösung von Gestein aus freien ungestützten Flächen</p>	<p>Stützmittel sind systematisch über den gesamten Ulmen-, Kämpfer- und Firstbereich und meist für die Ortsbrust erforderlich. Der Ausbruchquerschnitt ist in Abhängigkeit von der Profigröße zu unterteilen. Die Abschlagslänge ist der reduzierten Standzeit und der freien Stützweite anzupassen. Voraussetzungen sind systematisch zu verwenden.</p> <p>B 2.1 systematischer Stützmitteleinbau, beginnend unmittelbar hinter dem Bohrkopf; die Dauer des Stützmitteleinbaues bestimmt im allgemeinen die Vortriebsgeschwindigkeit; das Fräsen erfolgt nur mehr in Teilhuben. Standzeit: 10 bis 5 Stunden. B 2.2 systematische Vorstützung im Bohrkopfbereich und systematischer Stützmitteleinbau am gesamten Querschnittsumfang im Arbeitsbereich 1. Standzeit: ohne Vorausstützung 5 bis 2 Stunden.</p>
<p>B3 rollig Beim Öffnen auch nur kleiner Teilquerschnitte kommt es zum Hereintrieseln des Gebirges. Mangelnde Kohäsion und fehlende Verzahnung sind Ursache unzureichender Standsicherheit.</p>	<p>Voraussetzungen, gebirgsverbessernde oder stand sicherheitsverbessernde Maßnahmen sind erforderlich, um in Teilquerschnitten vorgehen zu können. Stützmittel sind über den gesamten Querschnittsumfang und auch für die Ortsbrust erforderlich.</p> <p>Kontinuierlicher Vortrieb mit offenen Tunnelbohrmaschinen ist nur mit Sondermaßnahmen möglich. Standzeit: kürzer als 2 Stunden.</p>

Gebirgstyp C:	Gebirgsverhalten:	Erfordernisse für den Ausbruch und die Stützmaßnahmen bei
<p>druckhaftes Gebirge</p> <p>Dieser Gebirgstyp umfaßt jenes Gebirge, bei welchem die Gebirgsfestigkeit tiefreichend überschritten wird.</p> <p>Zu Bergschlag neigendes Gebirge und Gebirge mit ausgeprägten Quellerscheinungen werden diesem Gebirgstyp zugeordnet.</p>	<p>Bei hoher Primärspannung wird in meist massigem, hartem und sprödem Festgestein elastische Energie gespeichert. Durch plötzliches Umsetzen dieser Energie kommt es zu schlagartigen Bruchvorgängen mit Ausschleudern von Gesteinstellen. Diese aus freigelegten Felsoberflächen herausgeschleuderten Gesteinsteile sind meist scharfbemförmig, der Bruchvorgang reicht nur in geringe Tiefe.</p>	<p>kontinuierlichem Vortrieb</p> <p>Einbau von kurzen, dicht gesetzten Anker, erforderlichenfalls mit Baustahlgitter, im Arbeitsbereich 1; der Maschinenvortrieb wird nicht wesentlich beeinträchtigt.</p>
<p>C1 Bergschlag</p>	<p>ausgeprägte, lang andauernde und langsam abklingende Deformationen.</p> <p>Entwicklung von Bruchvorgängen bzw. von plastischen Zonen in plastischem, stark kohäsivem Gebirge.</p>	<p>zyklischem Vortrieb</p> <p>Stützmittel sind sofort in Form kurzer, relativ dicht gesetzter Anker – erforderlichenfalls mit Baustahlgitter – meist nur über Teilbereiche erforderlich. Weitere Maßnahmen, der Bergschlaggefahr zu begegnen, bestehen im Entspannen des Gebirges, z. B. durch Entspannungsbohrungen oder Entspannungsschieben.</p>
<p>C2 druckhaft</p>	<p>Stützmittel sind systematisch über den gesamten Querschnittumfang erforderlich, meist ist die Ortsbrust vorübergehend stabil. Die Größe der Ortsbrust ist so zu wählen, daß ihre stützende Funktion erhalten bleibt. Die Stützmittel haben die Funktion, die entstehenden Brucherscheinungen zu begrenzen. Die Abschlagslänge ist unter Berücksichtigung der Ortsbruststabilität zu wählen.</p>	<p>C 2.1 systematischer Stützmitteleinbau im First-, Kämpfer- und Ulmenbereich. Stufenweiser Einbau der Stützmittel in den Arbeitsbereichen 1 und 2; der Maschinenvortrieb wird durch den Stützmitteleinbau beeinträchtigt; Vorkehrungen gegen das Einklemmen der Tunnelvortriebsmaschine sind zu treffen. Standzeit: 2 Tage bis 10 Stunden.</p> <p>C 2.2 systematischer Stützmitteleinbau, beginnend unmittelbar hinter dem Bohrkopf; die Dauer des Stützmitteleinbaues bestimmt im allgemeinen die Vortriebsgeschwindigkeit; das Fräsen erfolgt nur mehr in Teilhüben; Vorkehrungen gegen das Einklemmen der Tunnelbohrmaschine sind zu treffen. Standzeit: 10 bis 5 Stunden.</p>
<p>C3 stark druckhaft</p>	<p>große, lang andauernde und langsam abklingende Deformationen mit hoher Anfangsverformungsgeschwindigkeit.</p> <p>Entwicklung tiefreichender Bruchvorgänge bzw. plastischer Zonen.</p>	<p>C 2.1 systematischer Stützmitteleinbau im First-, Kämpfer- und Ulmenbereich; stufenweiser Einbau der Stützmittel in den Arbeitsbereichen 1 und 2; der Maschinenvortrieb wird durch den Stützmitteleinbau beeinträchtigt; Vorkehrungen gegen das Einklemmen der Tunnelvortriebsmaschine sind zu treffen. Standzeit: 2 Tage bis 10 Stunden.</p> <p>C 2.2 systematischer Stützmitteleinbau, beginnend unmittelbar hinter dem Bohrkopf; die Dauer des Stützmitteleinbaues bestimmt im allgemeinen die Vortriebsgeschwindigkeit; das Fräsen erfolgt nur mehr in Teilhüben; Vorkehrungen gegen das Einklemmen der Tunnelbohrmaschine sind zu treffen. Standzeit: 10 bis 5 Stunden.</p>
<p>C4 fließend</p>	<p>sehr geringe Kohäsion und Reibung, weiche plastische Konsistenz des Gebirges führt zum Hereinfließen des Gebirges auch bei sehr kleinen, nur kurzfristig freigelegten und ungestützten Flächen.</p>	<p>Vortrieb mit offenen Tunnelbohrmaschinen ist nur mit Sondermaßnahmen möglich. Standzeit: kürzer als 2 Stunden.</p>
<p>C5 quellend</p>	<p>Gebirgsarten mit Mineralanteilen, die in Abhängigkeit von der Entspannung durch Wasseraufnahme eine Volumenzunahme erfahren, z.B. quellfähige Tonminerale, Salze, Anhydrite.</p>	<p>Auf Dauer wirksame Stützmittel nehmen die Quelldrücke auf oder Vorkehrungen ermöglichen das schadlose Auftreten von Quellhebungen. Vortrieb mit offenen Tunnelbohrmaschinen ist nur mit Sondermaßnahmen möglich. Standzeit: ohne Anabe.</p>

Tabelle 30: Gebirgstyp für den zyklischen und kontinuierlichen Vortrieb ¹⁸³

¹⁸³ Maidl, 1997, S.298.