

Heinz Ehrbar · Olivier Böckli · Christian Ammon

# U-Bau Praxis

Der Untertagbau

# Inhalt

## Impressum

Copyright	© 2023 by FachWissenBau GmbH
Auflage	Nr. 1
Verlag/Redaktion	FachWissenBau GmbH, fachwissenbau.ch
ISBN	978-3-9525139-7-2
Urheberrecht	Alle Rechte an Text, Bild, Grafiken und Illustrationen liegen beim Verlag und sind urheberrechtlich geschützt. Eine allfällige Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf einer vorherigen Einwilligung durch den Verlag.
Text, Recherche	Heinz Ehrbar, Olivier Böckli, Christian Ammon
Konzept, Projektleitung	Rolf Steiner, Tobias Frick
Fotos, Bildbearbeitung	Hansjörg Egger, Michael Keller
Layout, Grafiken	Tereza Stäheli
Illustrationen	Dennis Nogard
Projektleitung	Melina Staub
Projektmitarbeit	Alena Weber
Lektorat	Brigitte Röthenmund
Druck	aprinta druck GmbH, Wemding
Haftung	FachWissenBau GmbH haftet nicht für Schäden, die durch die Anwendung des vorliegenden Werks entstehen könnten.

Im vorliegenden Fachbuch wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschliesslich die männliche Form verwendet. Sie soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

### Band 1

Fachausdrücke	6
Visualisierte Begriffe	8
Die Autoren	10
Vorwort	12
Die heilige Barbara	14

<b>1. Einführung</b>	<b>16</b>
1.1 Projektanforderungen	18
1.2 Zeitlicher Ablauf eines Projekts	21
1.3 Qualität im Bauwesen – generelles Prozessmodell	22
1.4 Der Baugrund als wichtigstes Baumaterial	23
1.5 Beschreibung und Beurteilung des Gebirges	28
1.6 Grundprinzipien zur Tragwerksplanung	30

<b>2. Grundlagen</b>	<b>32</b>
2.1 Gesetze und Verordnungen	34
2.2 Normen und Empfehlungen	35
2.3 Richtlinien	36
2.4 Vertraglicher Rahmen	37

<b>3. Begriffe</b>	<b>38</b>
3.1 Generelle Begriffsdefinitionen im Tunnelbau	40
3.2 Klassierung nach Funktionalität	43
3.3 Querschnittsformen	44
3.4 Tunnelbauverfahren	46
3.5 Vortriebsverfahren	48
3.6 Ausbrucharten	50
3.7 Sicherungsklassen gemäss Norm SIA 118/198	52

<b>4. Entwicklung und heutige Bedeutung</b>	<b>58</b>
4.1 Historische Entwicklung	60
4.2 Wirtschaftliche Bedeutung	64

<b>5. Vortriebsmethoden</b>	<b>70</b>
5.1 Klassierung der Vortriebsmethoden	72
5.2 Charakteristik des konventionellen Vortriebs	75
5.3 Charakteristik des maschinellen Vortriebs	76
5.4 Kriterien zur Auswahl der Vortriebsmethode	80
5.5 Entscheidungsablauf	87
5.6 Fallbeispiele	90

<b>6. Sprengvortrieb</b>	<b>100</b>
6.1 Vortriebszyklus im Sprengvortrieb	102
6.2 Sprengstoffe	104
6.3 Zündmittel	109
6.4 Sprengschema	113
6.5 Bohren von Sprenglöchern	117
6.6 Laden	134
6.7 Verdämmen	138
6.8 Zündung	139
6.9 Lüften	140
6.10 Schutterung	141
6.11 Felsreinigung und Nachprofilieren	153
6.12 Provisorische Ausbruchsicherung im SPV	154
6.13 Ermittlung der Zykluszeiten im Sprengvortrieb	155

<b>7. Maschinenunterstützter Vortrieb</b>	<b>158</b>
7.1 Ausbrucharten und Einsatzmöglichkeiten	160
7.2 Baggervortrieb	162
7.3 Rippern	164
7.4 Kaltfräsen	165
7.5 Drill and split	168
7.6 Teilschnittmaschinen (TSM)	169

<b>8. TBM-Vortrieb im Fels</b>	<b>196</b>
8.1 Tunnelbohrmaschinen (TBM)	198
8.2 Historische Entwicklung des maschinellen Vortriebs	199
8.3 Lösen des Gebirges mit Hartgesteins-TBM	201
8.4 Bauarten	213
8.5 Ermittlung des Vortriebsprogramms	225
8.6 Einsatzbereiche	228

<b>9. Schildmaschinen-Vortrieb im Lockergestein</b>	<b>236</b>
9.1 Die Schlüsselfrage Ortbruststabilität	238
9.2 Schildmaschinen-Grundtypen	240
9.3 Kombination verschiedener Schildmaschinentypen (Multimode-Maschinen)	252
9.4 Einsatzbereiche	260

<b>10. Ausbruchsicherung</b>	<b>272</b>
10.1 Baugrundbedingte Gefährdungsbilder	274
10.2 Anker	278
10.3 Stahleinbau	286
10.4 Vorauseilende horizontale Ausbruchsicherungen	292
10.5 Spritzbeton	295
10.6 Ausbruchsicherung mit Tübbing	312

Sponsoren	328
Schlusswort	330
Literaturverzeichnis	332

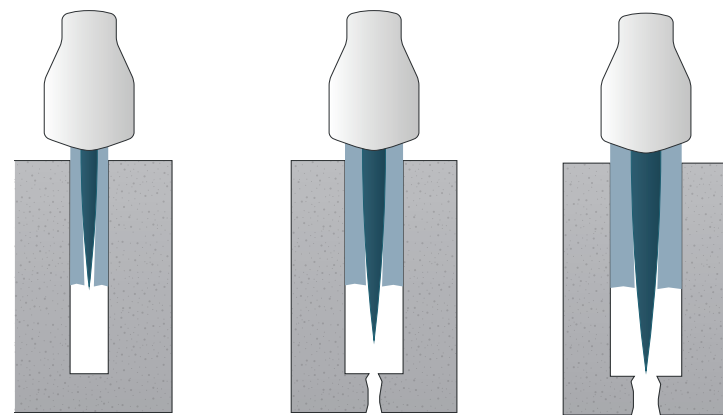
## 7.5 Drill and split

In hartem Gestein kann es vorkommen, dass zum Schutz der Umgebung vor Erschütterungen nicht gesprengt werden darf und der Einsatz von Abbauhämmern und Schrämköpfen wegen der Gesteineigenschaften ausgeschlossen ist. Für solche speziellen Fälle wurde in den letzten Jahren die Methode Drill and split entwickelt.

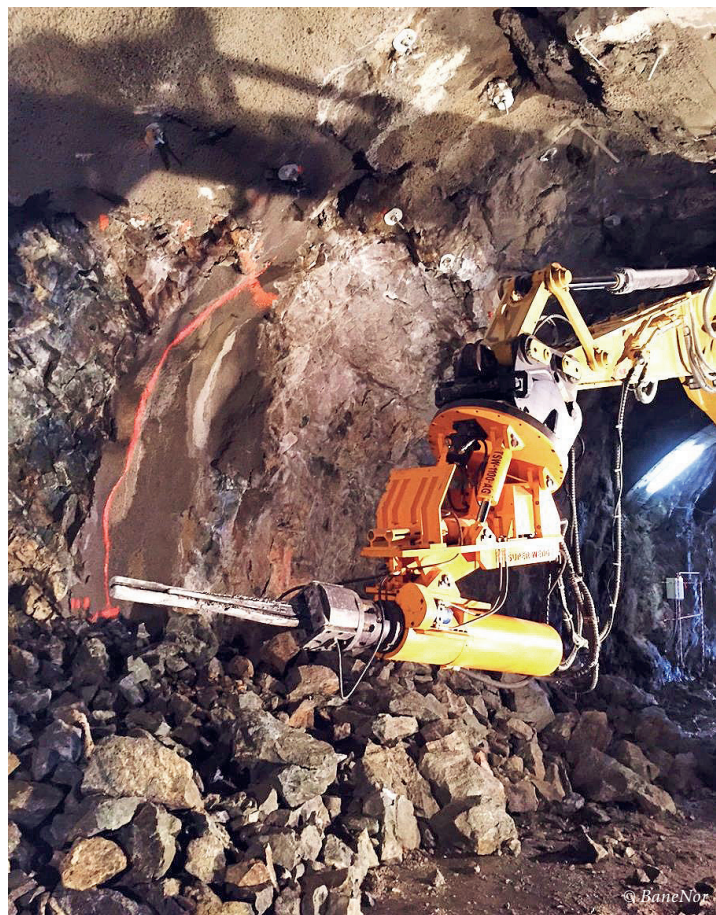
Bei dieser Methode werden in engem Abstand eine grosse Anzahl Bohrlöcher nach strengem geometrischem Muster in den Felsen getrieben. Analog den Einbruchlöchern beim Sprengvortrieb mit Sprengstoffen werden in die Ortbrust mehrere Grossbohrlöcher gebohrt, die den Einbruch des zu lösenden Materials ermöglichen.

Die Bohrlöcher werden durch eine systematisch eingetriebene Keilkonstruktion hydraulisch gespreizt. Diese Spreizung bewirkt eine Rissbildung im Gebirge, die zu Abschalungen und Blockbildung führt. Ein grosser Vorteil dieser Methode ist das Fehlen von grösseren Erschütterungen, doch das dadurch entstehende Haufwerk ist sehr blockig und scharfkantig, was einen erhöhten Aufwand beim Schüttern verursacht.

Die Methode eignet sich für kurze Tunnelabschnitte mit null Toleranz gegenüber Sprengerschütterung. Vor wenigen Jahren wurde am Follo-Line-Tunnel in Norwegen im Bereich der Zufahrt zum Bahnhof Oslo ein solcher Vortrieb ausgeführt.



Grundprinzip der Drill-and-split-Methode



Drill and Split



BaueNor

## 7.6 Teilschnittmaschinen (TSM)



© Marti Gruppe

Bohrkopf einer Teilschnittmaschine, Schlossberg Thun

Das Kapitel 7.6 basiert mehrheitlich auf Texten aus Girmscheid, G.: *Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus*, Wilhelm Ernst & Sohn, 2013 [24] und Thuro, K.: *Geologisch-felsmechanische Grundlagen der Gebirgslösung im Tunnelbau*, Habilitationsschrift, München 2002 [29].

In den 1950er-Jahren wurden die ersten Teilschnittmaschinen für den Steinkohlebergbau in Russland entwickelt. Die ersten selbst fahrenden Teilschnittmaschinen wurden Anfang der 1960er-Jahre in Deutschland im Steinkohlebergbau verwendet und später auch im Tunnelbau eingesetzt [41].

Der Ausbruch des Gebirges in mehreren Arbeitsschritten, bei dem ein schwenkbar montierter rotierender Schneidkopf eingesetzt wird, ist typisch für dieses Verfahren. Selbstfahrende Vortriebsgeräte, bei denen der Gebirgslösungs- und der Schutterprozess in einem einzigen Schritt ausgeführt werden können, werden als Teilschnittmaschinen bezeichnet. Dennoch wird diese Methode wegen des weiterhin zyklisch verlaufenden Vortriebsprozesses nicht den maschinellen, sondern den konventionellen Vortriebsverfahren zugerechnet [41].

### Aufbau

Hauptbestandteil einer Teilschnittmaschine ist der Grundrahmen (Maschinenchassis), in dem sich die Hydraulikaggregate befinden. Teilschnittmaschinen lösen weichen bis mittelharten Fels oder Lockergestein mit rotierenden Schrämköpfen (Schneiden) kontinuierlich in einzelnen Etappen (Teile des Querschnitts). Mit Teilschnittmaschinen können beliebige Querschnittsformen gefräst werden.

Teilschnittmaschinen sind so konstruiert, dass sie sowohl den Baugrund lösen als auch das Ausbruchmaterial direkt auf Transportgeräte verladen können. Es handelt sich also um multifunktionale Geräte, die von einem einzigen Maschinisten bedient werden können, der wie bei einem Bagger auf der Maschine sitzt. Dank dem Einsatz von Fernsteuerungen kann der Maschinist den Fräsvorgang alternativ auch aus gesicherter Entfernung bei optimaler Sichtposition steuern.

Eine Teilschnittmaschine besteht aus den folgenden Elementen:

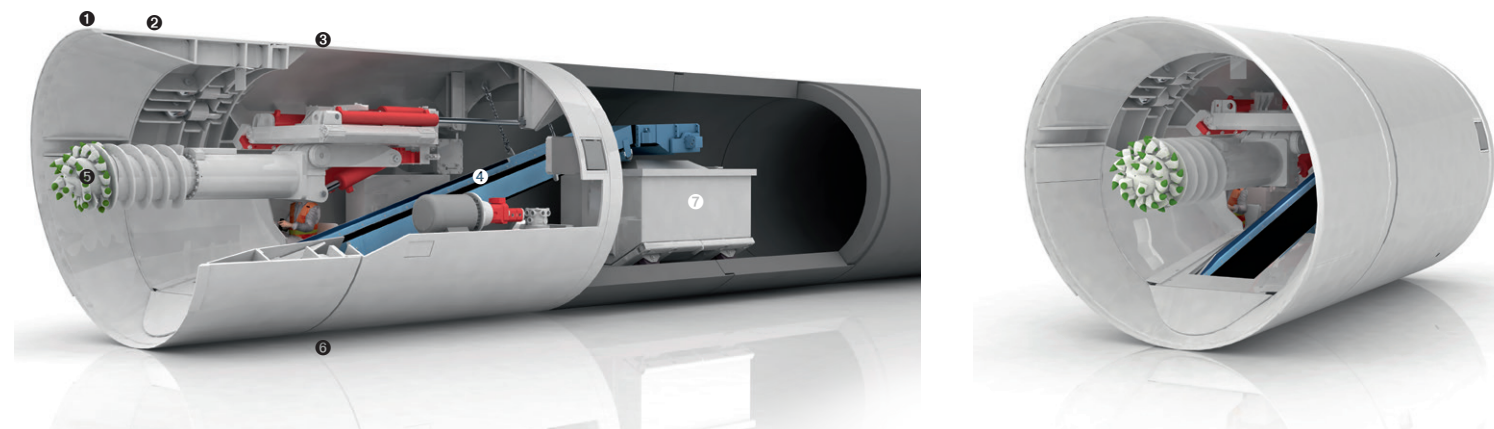
- Grundrahmen mit Maschinenhydraulik und (üblicherweise) Raupenfahrwerk
- Ausleger mit Schneidkopf zum Lösen des Materials an der Ortbrust
- Ladetisch mit Ladeeinrichtung zum Aufnehmen des gelösten Materials
- Kratzkettenförderer zur direkten Beladung des aufgenommenen Materials auf Transportgeräte

Auszug: *Baupraxis Der Untertagebau (Band 1) - Kapitel 7*

Im Lockergestein kommen Maschinen zum Einsatz, die in einen Schild eingebaut sind. Der Abbau des anstehenden Lockergestein kann entweder über einen eingebauten Bagger mit Schaufel, Abbauhammer oder Reisszahn erfolgen oder aber über einen Auslegerarm mit Schrämkopf.

Der Wechsel der verschlissenen Felsabbau-Werkzeuge ist bei beiden Verfahren rasch und einfach möglich. Über Förder- oder Kratzbänder wird der anfallende Abraum zu den nachlaufenden Fördereinrichtungen trans-

portiert. Der Maschinenfahrer sieht von seinem Arbeitsplatz aus direkt auf die offene Ortbrust, sodass er den Abraum exakt kontrollieren kann. Fast alle Teilschnitt-Schildmaschinen sind als Haubenschild konzipiert. Die Schildschneide ist beim Haubenschild im Firstbereich in Vortriebsrichtung verlängert. Dadurch wird das Nachbrechen von Lockergestein von oben verhindert, und Setzungen werden vermieden. Durch die Anpassung der Schildform an den Schüttwinkel kann der Abtransport des Abraums besser kontrolliert werden [37].



- 1 Haubenschild
- 2 Schildmantel
- 3 Antrieb
- 4 Förderband
- 5 Abbauwerkzeug
- 6 Steuergelenk
- 7 Förderkübel

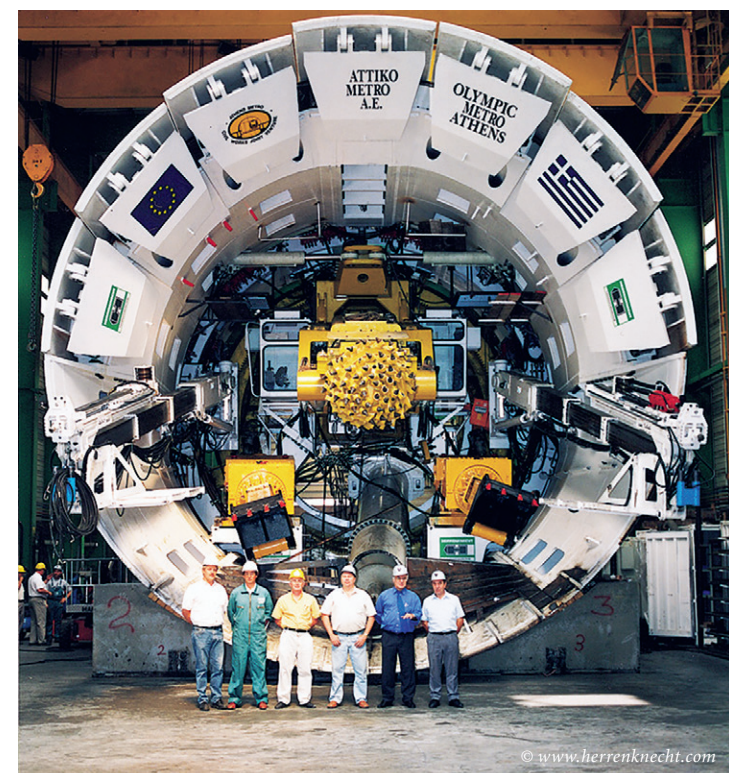
Bauelemente einer Teilschnittmaschine mit Schild © www.herrenknecht.com [37]

Bei einem sogenannten Polingplattensystem ist der Schild in mehrere Platten unterteilt, die einzeln nach vorn ausgefahren werden können. Dadurch kann auch in wechselnden Baugründen eine permanente Anpassung an den Schüttwinkel gewährleistet werden.

Bei Maschinen mit grösserem Durchmesser werden im Schild eine oder mehrere horizontale Quer Bühnen eingebaut, sogenannte Bühnenschilde. Sie ermöglichen eine Beschleunigung des Abbauprozesses, indem auf verschiedenen Ebenen mehrere Werkzeuge fest integriert werden können. Oft werden zusätzlich auch hydraulisch ausklappbare oder ausfahrbare Brustplatten im Firstbereich installiert. Ihre Aufgabe ist es, die Ortbrust mechanisch zu stützen. Zum Abbau werden sie partiell zurückgezogen.

Der Arbeitsplatz des Maschinenfahrers ist bei Teilschnittmaschinen mit Schild nur wenige Meter von der offenen Ortbrust entfernt. Dies ist insofern ein grosser Vorteil, als dieser den Abbau sehr genau kontrollieren kann und in der Lage ist, auf Änderungen im Baugrund sofort mit den entsprechenden Massnahmen zu reagieren. Bei der Freilegung und Entfernung von grossen Findlingen und Hindernissen ist es deshalb nicht nötig, aufwendige Schächte zu erstellen.

Teilschnittmaschinen mit Schild werden aufgrund der erforderlichen Begehrbarkeit von Tunnelbauwerken für Ausbruchbreiten zwischen rund 2 und 12 Metern eingesetzt. Bei grösseren Durchmessern werden oft Injektionen zur Baugrundverbesserung oder zusätzliche Stützmassnahmen benötigt.



Teilschnittmaschine bei der Abnahme im Werk © www.herrenknecht.com

**Einsatzgrenzen**

Teilschnittmaschinen eignen sich in Lockergestein und in Fels mit mittleren Gesteinsfestigkeiten von 50 bis 80 N/mm<sup>2</sup> vor allem dann speziell gut, wenn das Gestein durch Klüfte und Schichtfugen entsprechend zerlegt ist. Um wirtschaftlich abbauen zu können, müssen die Antriebsleistung des Schneidkopfs und das Maschinengewicht umso grösser sein, je höher die Gebirgsfestigkeit ist [24].

Die schwersten Teilschnittmaschinen haben ein Gewicht von über 130 Tonnen und können Fels mit einer einaxialen Druckfestigkeit bis 120 MPa abbauen. Dieser Wert stellt aktuell die technische und wirtschaftliche Einsatzgrenze (Werkzeugverschleiss) dar. Solch schwere TSM können aufgrund ihrer Grösse nur in Spezialfällen eingesetzt werden (z.B. Grosstunnel- oder Kavernenbau), da sich bei kleiner werdenden Querschnitten die Montage für die erforderlichen hohen Antriebsleistungen nicht mehr ausführen lässt.



Arbeitsplatz des Maschinenfahrers mit direkter Sicht zur offenen Ortbrust

Gewichtsklasse	Gewichtsbereich [t]	Schrämkopfleistung [kW]	normaler Fräsbereich		erweiterter Fräsbereich	
			Querschnitt [m <sup>2</sup> ]	max. σ [MPa]	Querschnitt [m <sup>2</sup> ]	max. σ [MPa]
Leicht	8–40	50–170	≈ 25	60–80	≈ 40	20–40
Mittel	40–70	160–230	≈ 30	80–100	≈ 60	40–60
Schwer	70–110	250–300	≈ 40	100–120	≈ 70	50–70
Überschwer	> 100	350–400	≈ 45	120–140	≈ 80	80–110

Grössenklassen von Teilschnittmaschinen [29]

Mittels TSM lassen sich Querschnitte von 10 bis 70 m<sup>2</sup> mit einer Breite bis zu 11 m und Höhen von 8 m aus dem Stand bearbeiten.

Wegen ihrer guten Anpassungsfähigkeit werden die Teilschnittmaschinen bei kürzeren Tunnellängen, bei veränderlichen Querschnitten sowie bei wechselnden Baugrundverhältnissen den Vollschnittmaschinen vorgezogen [24].

Teilschnittmaschinen ermöglichen ein Arbeiten mit kontinuierlichem Wechsel zwischen Lösen, Schüttern, Sichern und Fördern. Dies im Gegensatz zum Sprengvortrieb, der einen diskontinuierlichen Arbeitszyklus aufweist. Da der Vortrieb mit TSM weitgehend erschütterungsfrei ist, wird er in bebauten Gebieten eingesetzt, wo ein Sprengvortrieb wegen Umweltauflagen nicht infrage kommt. Auch wenn keine Gebäude zu Schaden kommen, werden Erschütterungen durch Sprengung von Menschen deutlich wahrgenommen. Wirtschaftlich ideale Einsatzgebiete für TSM sind [24]:

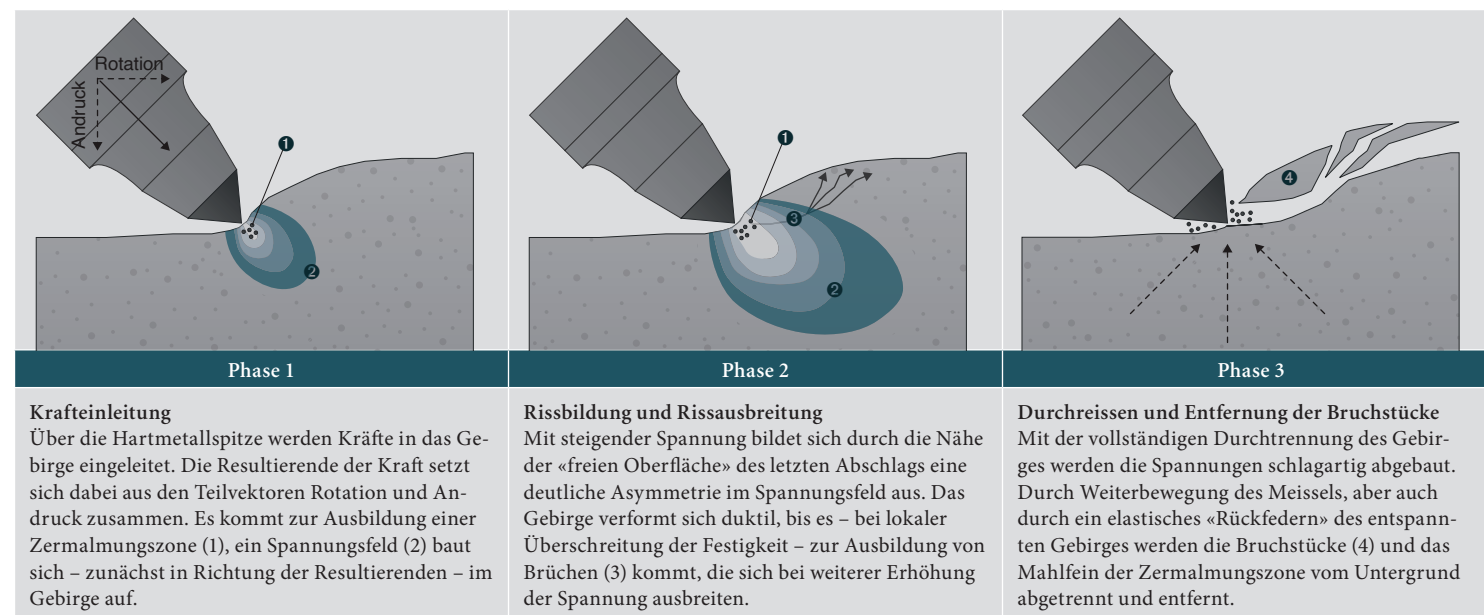
- kurze bis mittellange Tunnel (bis ca. 3 km) im Weichgestein
- Tunnel mit variablen Querschnitten
- Projekte mit schnellem Starttermin wegen der relativ kurzen Mobilisierungszeit
- Projekte, in denen Sprengvortrieb – bedingt durch die Erschütterungen – nicht erlaubt ist und die Tunnellänge für TBM-Systeme noch zu kurz ist

**Das Abbauwerkzeug (Rundschaftmeissel) [29]**

Die Schrämköpfe sind im Tunnelbau ausnahmslos mit Rundschaftmeisseln (Point attack picks) bestückt, wobei die Meisselspitze aus Wolfram-Karbid besteht. Die einzelnen Rundschaftmeissel sind im jeweiligen Meisselhalter um die Längsachse drehbar weitgehend torsionsfrei gelagert, was zu einer höheren Nutzungszeit und Dauerhaftigkeit der Werkzeuge und zu einer geringeren Beanspruchung des Meisselhalters führt. Die Meissel werden nicht radial eingebaut, sondern gegenüber der theoretischen Schnittrichtung etwas geneigt, damit der Meissel möglichst durch Normalkräfte und weniger auf Biegung beansprucht wird. Solange die Rotationsfähigkeit der Rundschaftmeissel gewährleistet ist, wird die einseitige Abnutzung der Meisselspitze weitgehend verhindert, und die konische Spitze des Meissels bleibt erhalten.



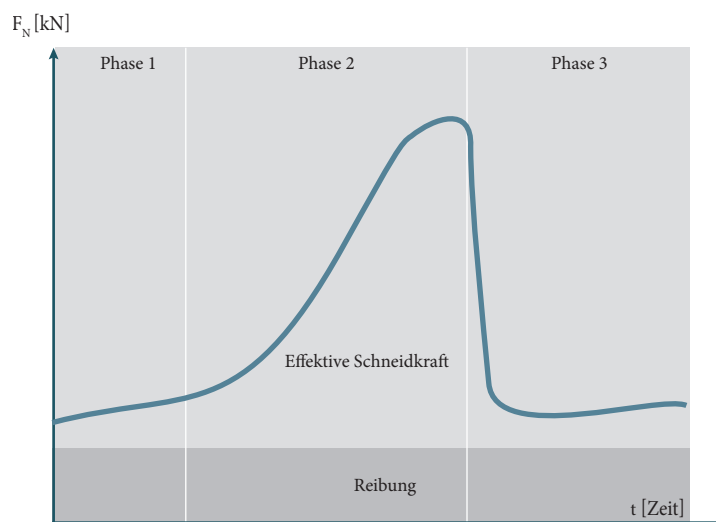
Teilschnittmaschine im Einsatz, Gubristunnel © Marti Gruppe



Schematische Zeichnungen zum Ablauf des Zerspannungsvorgangs unter einem Rundschaftmeissel beim eigentlichen Schneiden (Fräsen) am Kopf einer Teilschnittmaschine [29]

Das Lösen verrichtet primär der Hartmetallstift, der sich durch die Eigenrotation des Kegelmeissels in seiner Fassung kontinuierlich selbst anschärft. Der Gesteinslöseprozess mit Rundschaftmeisseln kann in die oben dargestellten Phasen unterteilt werden.

Aus dem Schneidkraftdiagramm eines Rundschaftmeissels ist ersichtlich, dass ein Teil der Kraft zur Überwindung der Reibung zwischen Rundschaftmeisselspitze und Felsoberfläche verloren geht. Der grösste Kraft- bzw. Energieaufwand ist in der zweiten Phase «Rissbildung und Rissausbreitung» notwendig. Für das anschliessende Losbrechen der einzelnen Bruchstücke sind schliesslich nur 10 bis 15 % der Energie notwendig. Auch das Mahlfein der Zermalmungszone wird freigesetzt – es entsteht eine hohe Staubbelastung.



Normalkraftentwicklung beim Gesteinslöseprozess [24]

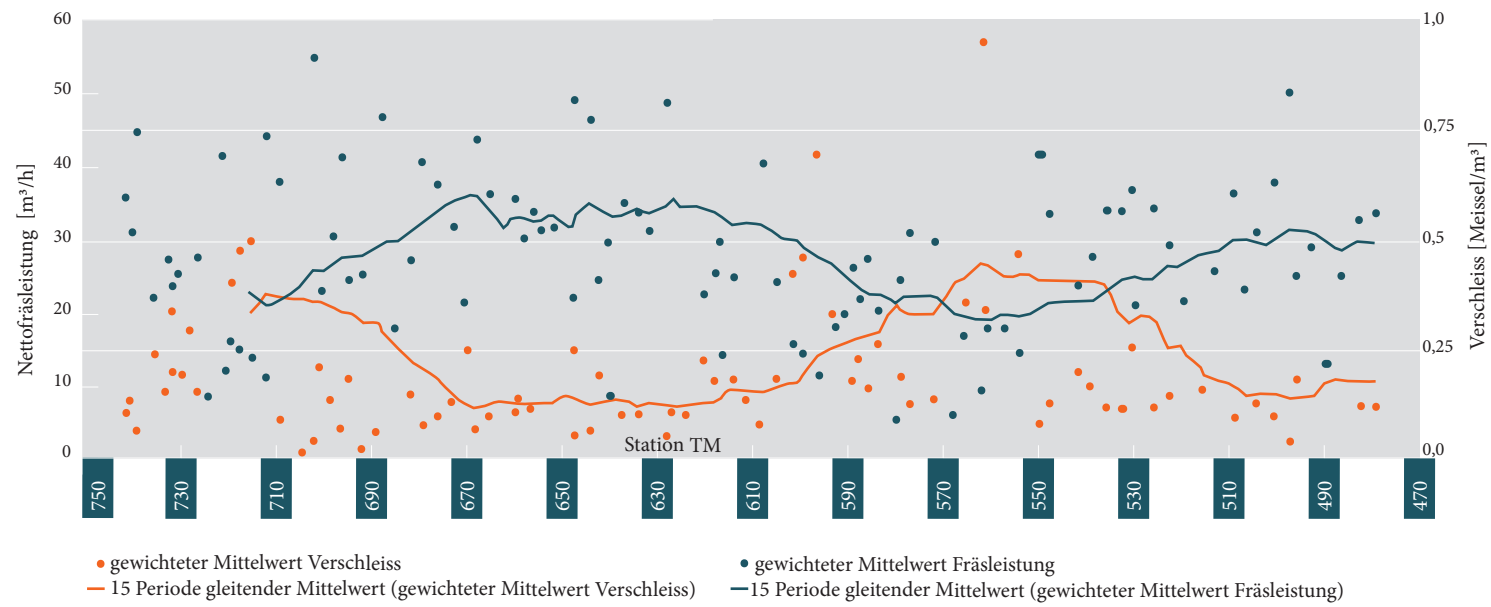
Auslegung und Aussehen der Rundschaftmeissel werden von den Herstellern aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung in einer breiten Vielfalt variiert. Die Aufstellung auf der folgenden Seite gibt einen Überblick über die möglichen Formen von gebräuchlichen Rundschaftmeisseln.

Eine entscheidende Rolle bei der Auswahl des Meisseltyps spielen die Form und die Abmessungen des Trägermaterials und des Hartmetalleinsatzes, die Schnitthöhe des Rundschaftmeissels ab Meisselhalter

sowie der Schaftdurchmesser des Rundschaftmeissels. Der optimale Rundschaftmeissel wird auf Basis der prognostizierten und später angetroffenen Baugrundeigenschaften gewählt. Die ausschlaggebenden Faktoren sind die Gesteinsfestigkeit und -zähigkeit sowie der Gehalt an abrasiven Mineralien im Gestein. Während des Vortriebs reagiert der Unternehmer oder Lieferant mit unterschiedlichen Rundschaftmeissel-Typen auf das Verschleissbild (vgl. folgende Tabelle), um so die Standzeit der Rundschaftmeissel zu optimieren.

Verschleissart	Verschleissbild-Schema	Kürzel	Beschreibung
Neues Werkzeug		M-0	Fabrikneuer, unbenutzter Rundschaftmeissel.
Abrasiveverschleiss		M-A1	Normaler Verschleiss: Gleichmässiger Abtrag von Hartmetall und Werkzeugträgermaterial. Werkzeugwechsel nach Abnutzung bis auf sinnvolles Niveau.
		M-A2	Trägerverschleiss: Bevorzugter Abtrag des Werkzeugträgers. Bei ungenügender Werkstoffverbindung an der Basis des Hartmetallstifts besteht Gefahr eines M-A3 (Ausbruch des Stiftes).
		M-A3	Totalausbruch: Ausbruch des Hartmetallstiftes aufgrund fehlender seitlicher Bettung und ungenügender Werkstoffverbindung an der Basis des Hartmetallstifts.
Verschleiss durch Sprödbbruch		M-S1	Sprödbbruch: Sprödbüche innerhalb des Hartmetallstifts, die zur teilweisen oder vollständigen Zerstörung führen.
		M-S2	Totalausbruch: Vollständiger Ausbruch des Hartmetallstiftes durch Versagen der Verbindung zwischen Werkzeugträger und Hartmetall.
		M-S3	Meisselschaftbruch: Bruch des Meisselschafts unterhalb des Trägerkegels (oberhalb des Meisselhalters).
Thermischer Verschleiss		M-T	Thermischer Verschleiss: Verschleissbild entspricht dem der Kategorien A und S, eventuell sind charakteristische Anlaufarben im Werkzeugträger erkennbar.
Sonder- und Mischformen		M-So1	Totalverschleiss: Zuordnung zu Verschleissklassen nicht oder nur bedingt möglich.
		M-So2	Stiftverschleiss: Ausgeprägte Verflachung des Hartmetallstifts.
		M-So3	Asymmetrischer Verschleiss: Ausgeprägt einseitige Abnutzung des Rundschaftmeissels.

Verschleissklassen am Beispiel eines Boart-Longyear-Rundschaftmeissels HWF82 [29]



Ganglinien des spezifischen Werkzeugverschleisses (rot) und der Nettoschneidleistung (schwarz) für den Vortrieb des Tunnels Sonnenburg [41]

In den Phylliten lag meist eine intern blättrige bis plattige (mm bis cm) Schieferung vor, die jedoch nur bereichsweise durch die Teilschnittmaschine aktivierbar war. Bei der Dokumentation der Fräsarbeiten konnte beobachtet werden, dass das Gebirge durch die Teilschnittmaschine überwiegend zerspannt werden musste. Es war nur teilweise möglich, nennenswerte Anteile des Gebirges entlang von Trennflächen aus dem Verband zu reissen. Die Leistung der Teilschnittmaschine orientierte sich daher am «Minimum»-Graphen der Fräseleistungskurve (vgl. Grafik oben).

möglich, eine mittlere Vortriebsleistung von ca. 4 m pro Arbeitstag zu erreichen, die besten Wochenleistungen lagen im Bereich von etwa 26 m pro Arbeitswoche.

Auf Basis der erwarteten schwierigen Einsatzbedingungen wurde von der bauausführenden Arbeitsgemeinschaft ein Rundschaftmeissel System Glattschaft 38 mm mit gedrungener Bauform und massivem Hartmetallstift 22 mm eingesetzt, der sich bewährt hat.

Datengrundlage für die Bewertung der Lösbarkeit des Gebirges sind die durch die bauausführende Firma detailliert geführten Schichtberichte sowie regelmäßige Dokumentationen einzelner Fräsabschläge, die durch die Arbeitsgemeinschaft «Baubegleitung» etwa dreimal wöchentlich durchgeführt wurden und welche die sekundengenaue Dokumentation der einzelnen Arbeitsschritte umfasste.

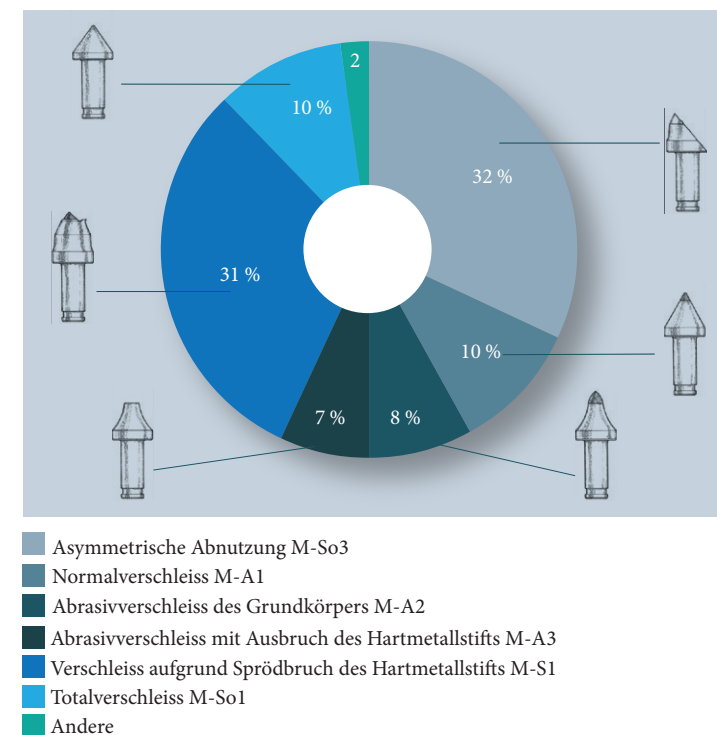
Die Meisselwechsel am Schneidkopf der Teilschnittmaschine wurden durch die bauausführende Firma in den Schichtberichten vermerkt. Insgesamt wurden 3'153 Meissel ausgetauscht, im Mittel etwa 34 Stück pro Schicht. Der mittlere spezifische Meisselverschleiss lag bei 0,28 Meisseln/m³. Dieser Verschleiss ist gemäss Klassifizierung als «sehr hoch» zu bezeichnen. Insbesondere in Bereichen mit hoher Festigkeit und hohem Quarzanteil wurden aber auch «extrem hohe» Verschleissraten von über 1,0 Meissel/m³ erreicht.

Aus den durch den Unternehmer und die Bauleitung sorgfältig ermittelten Daten konnten u.a. Trends zur Leistung und zum Verschleiss abgeleitet werden. So ist in obenstehender Grafik beispielsweise die negative Korrelation von Verschleiss und Leistung deutlich erkennbar, d.h. in festeren Gebirgsbereichen stand den niedrigen Leistungen ein hoher Werkzeugverschleiss gegenüber und umgekehrt.

Die mit den Schichtberichten dokumentierten Bruttofräseleistungen liegen zwischen ca. 5 m³/h und 41 m³/h und betragen im Mittel ca. 19 m³/h. Für die Korrelation mit den Gebirgskennwerten deutlich signifikanter ist jedoch die erreichte Nettofräseleistung, die unter Abzug jeglicher Nebenarbeitszeiten und Leerlaufzeiten ausschliesslich die Arbeitszeit berücksichtigt, während welcher der Fräskopf ins Gebirge eingreift. Hier wurde im Mittel eine Leistung von ca. 28 m³/h (netto) erreicht. Mit diesen Fräseleistungen war es



Teilschnittmaschine, Schlossberg Thun



Tortendiagramm der angetroffenen Werkzeugverschleissformen [41]

Die spezifischen Verschleissformen der Rundschaftmeissel wurden durch die Arbeitsgemeinschaft «Baubegleitung» untersucht. Asymmetrischer Verschleiss (M-So3) und Splitterbrüche des Hartmetallstifts (M-S1) sind mit je rund 30 % Anteil die häufigsten Ursachen für Werkzeugwechsel. Demgegenüber fallen auf Abrasivverschleiss zurückzuführende Verschleissformen (M-A1, M-A2 und M-A3) weniger ins Gewicht (siehe Grafik links). Einige Meissel wiesen zudem eine charakteristische, teilweise blauviolette Verfärbung auf, was auf eine Werkzeugtemperatur von bis zu 300 °C hinweist.

Die angetroffene Verteilung der Verschleissformen ist unter Berücksichtigung des massiven Meisseltyps als weiterer Hinweis auf die hohe Abrasivität und die hohe Festigkeit des Gebirges zu werten, die zu häufigem Sprödbbruchversagen der Hartmetallstifte und Blockaden führte.

# Mit bestem Dank

Wir möchten uns an dieser Stelle ganz herzlich bei unseren Sponsoren für die grosszügige Unterstützung bedanken. Sie haben uns sowohl in fachlicher als auch in finanzieller Hinsicht bei der Entstehung des Fachbuchs eng begleitet und damit dieses umfangreiche Werk überhaupt erst ermöglicht.

## Platinsponsoren / Unterstützung



### ACO AG

Entwässerungslösungen für die Umweltbedingungen von morgen. ACO ist Ihr Partner für die Verkehrsinfrastruktur. ACO. we care for water

[aco.ch](http://aco.ch)



### Herrenknecht AG

Maschinelle Tunnelvortriebs-technik für alle Geologien und in allen Durchmesser – von 0,10 bis 19 Metern. Jahrhundertbauwerke wie der Gotthard-Basistunnel sind unsere Referenz.

[herrenknecht.com](http://herrenknecht.com)



### Infra Suisse

Infra Suisse ist die nationale Branchenorganisation der Unternehmen, die im Infrastrukturbau tätig sind.

[infra-suisse.ch](http://infra-suisse.ch)



### Marti Technik AG

Fördertechnik, Logistik und Elektrotechnik für Tunnelbau und Industrie

[martitechnik.com](http://martitechnik.com)



### Marti Tunnel AG

Dank der Erfahrung unserer Spezialisten realisieren wir anspruchsvolle Bauvorhaben in der Schweiz und im Ausland sicher und effizient.

[martiag.ch](http://martiag.ch)



### Schweizerischer Baumeisterverband

Der SBV ist die gesamtschweizerische Berufs-, Wirtschafts- und Arbeitgeberorganisation der Unternehmungen des Bauhauptgewerbes.

[baumeister.ch](http://baumeister.ch)



### Sika Schweiz AG

Kompetenz im Tunnelbau – Erfahrung seit über 100 Jahren: Betonherstellung, Spritzbeton, Abdichtung, Betonsanierung, Brandschutz & Beschichtung.

[sika.ch](http://sika.ch)



### Simatec Maschinenbau AG

Stationäre und containermobile Wasser- und Aufbereitungsanlagen

[simatec.org](http://simatec.org)

## Goldensponsoren / Unterstützung



### Avesco AG

Ihr Profi für den Untertagebau Individuelle Lösungen | Kauf, Miete, Service | Bohren, Ankern, Rohrschirm | Sandvik, Cat, Schwing-Stetter

[avesco.ch](http://avesco.ch)



### Basler & Hofmann AG

Wir entwickeln wegweisende Lösungen für unseren intensiv genutzten Raum. Beratend, planend und projektierend.

[baslerhofmann.ch](http://baslerhofmann.ch)



### FGU

Die Fachgruppe für Untertagebau (FGU) vertritt als Verein die Interessen der Mitglieder zur Erstellung, zum Unterhalt und zur Erhaltung von Untertagebauten.

[swisstunnel.ch](http://swisstunnel.ch)



### Implenia Schweiz AG

Als führender Schweizer Bau- und Immobiliendienstleister entwickeln und realisieren wir Lebensräume, Arbeitswelten und Infrastruktur für künftige Generationen.

[implenia.com](http://implenia.com)



### OST Ostschweizer Fachhochschule

Am Campus in Rapperswil wird im Departement Architektur, Bau, Landschaft, Raum gelehrt und geforscht.

[ost.ch](http://ost.ch)



### Renesco AG

Erfahrung, Innovation und Kompetenz. Ihr Partner für Abdichtungs- und Injektionsarbeiten jeglicher Art – in der Schweiz und im Ausland.

[renesco.com](http://renesco.com)



### Rothpletz, Lienhard + Cie AG

Plant, baut und begleitet. Traditionsreiches Familienunternehmen mit Bauunternehmung und Ingenieurbüro unter einem Dach!

[rothpletz.ch](http://rothpletz.ch)

## Silbersponsoren / Unterstützung



### IST InfraStrukturTreff

[ist-ch.ch](http://ist-ch.ch)



### Pini Group SA

[pini.group](http://pini.group)



Schweizerische Vereinigung Beratender Ingenieurunternehmen  
Union Suisse des Sociétés d'Ingenieurs-Consultants  
Unione Svizzera degli Studi Consulenti d'Ingegneria  
Unión svizra dats biras d'ingegneria consultativa  
Swiss Association of Consulting Engineers

### suisse.ing

[suisse-ing.ch](http://suisse-ing.ch)