



AUSTRIAN
SOCIETY FOR
GEOMECHANICS



ÖSTERREICHISCHE
GESELLSCHAFT FÜR
GEOMECHANIK

Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb

**Gebirgscharakterisierung und Vorgangsweise zur
nachvollziehbaren Festlegung von bautechnischen
Maßnahmen während der Planung und Bauausführung**

2014

Herausgeber: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik
A-5020 Salzburg, Innsbrucker Bundesstraße 67
Tel.: +43 (0)662 875519, Fax: +43 (0)662 886748
E-Mail: salzburg@oegg.at
<http://www.oegg.at>

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.

© ÖGG Salzburg 2013

Arbeitskreis

(alphabetisch)

Atzl Georg (Koordinator)	iC-Consulents ZT GmbH
Bach Dietmar	IGT-Geotechnik und Tunnelbau ZT GmbH
Bilak Andreas	ZT Büro Dipl.- Ing. Andreas Bilak
Gollegger Johannes	Amberg Engineering AG
Hechenblaickner Kurt	STRABAG AG, vormals ÖBB Infrastruktur AG
Holzer Robert	Geoconsult Wien ZT GmbH
John Max	John Tunnel Consult ZT GmbH
Lauffer Harald	vormals Porr Tunnelbau GmbH
Lemmerer Johann	ÖBB Infrastruktur AG
Tentschert Ewald	TU-Wien – Institut für Geotechnik, Ingenieurgeologie
Vigl Alois	Viglconsult ZT

Korrespondierende Mitglieder

(alphabetisch)

Benedikt Johannes	ILF ZT GmbH
Bonapace Paul	TIWAG, vorm. ILF ZT GmbH
Diewald Martin	Porr Bau GmbH
Drucker Petra	Ste.p ZT GmbH
Göbl Arthur	Porr Bau GmbH
Handke Dieter	IMM Maidl & Maidl Beratende Ing. GmbH & Co. KG
Herdina Johann	TIWAG, vorm. BEG
Matt Robert	ÖBB-Infrastruktur AG
Moritz Bernd	ÖBB-Infrastruktur AG
Radoncic Nedim	Geoconsult ZT GmbH
Schneider Eckart	SSP BauConsult GmbH
Schubert Wulf	TU Graz, Institut für Felsmechanik und Tunnelbau
Semprich Stephan	TU Graz, Institut für Bodenmechanik und Grundbau
Steiner Michael	ASFINAG Bau Management GmbH
Vavrovsky Georg-Michael	ÖBB-Infrastruktur AG
Wagner Oliver	ÖBB-Infrastruktur AG

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	6
2	Zielsetzung	8
3	Definitionen.....	9
4	Phase 1 – Planung.....	12
4.1	Grundsätzlicher Ablauf.....	12
4.2	Geotechnisch relevante Parameter.....	16
4.3	Bestimmung der Gebirgsarten	16
4.3.1	Definition der Gebirgsarten im Detail.....	16
4.3.2	Methodik	16
4.3.3	Angaben	17
4.4	Bestimmung des Gebirgsverhaltens.....	17
4.4.1	Allgemeines	17
4.4.2	Methodik	18
4.4.3	Zuordnung zu Gebirgsverhaltenstyp	20
4.4.4	Mindestangaben	20
4.5	Evaluierung der Vortriebsarten.....	20
4.6	Bestimmung des Ortsbrustverhaltens	21
4.7	Wahl des tunnelbautechnischen Konzeptes (TVM-Typ)	21
4.7.1	Wahl des TVM-Typs und Wahl des Ausbaukonzeptes	21
4.7.2	Anforderungen an die TVM	21
4.8	Ermittlung des Systemverhaltens.....	22
4.8.1	Vorgangsweise.....	22
4.8.2	Allgemeine Einflussfaktoren	23
4.8.3	Zusätzliche Einflussfaktoren.....	23
4.8.3.1	Bereich-I – Bohrkopfbereich / Schneidradbereich.....	23
4.8.3.2	Bereich-II - Schildbereich	23
4.8.3.3	Bereich-III - Einbaubereich	24
4.8.3.4	Bereich-IV - Bereich fertiger Ausbau bis Endzustand	24
4.8.3.5	Bereich-V - Sonderbereiche	24
4.8.4	Methodik, Untersuchungen und Nachweise.....	24
4.8.4.1	Bereiche I und II	25
4.8.4.2	Bereiche III und IV	25
4.8.5	Angaben zum Systemverhalten.....	25
4.9	Dokumentation der Geotechnischen Planung	26

4.9.1	Allgemeines	26
4.9.2	Inhalt des Geotechnischen Berichtes einschließlich Tunnelbautechnischer Rahmenplan.....	26
4.9.3	Geotechnische Risikoanalyse	27
4.9.4	Geotechnischer Sicherheitsmanagementplan	28
4.9.5	Störfallanalyse und Maßnahmen.....	28
4.9.6	Maschinentechnische Anforderungen	28
4.9.7	Anforderungen an den Ausbau	29
4.10	Vortriebsklassen (Ausschreibung)	29
5	Phase 2 – Planung TVM für die Bauausführung	30
6	Phase 3 – Bauausführung	31
6.1	Allgemeines.....	31
6.2	Beobachtung und Datenerhebung	33
6.2.1	Allgemeines	33
6.2.2	TBM-O (TBM-A).....	33
6.2.3	TBM-S, TBM-DS mit Tübbingausbau.....	33
6.2.4	SM (geschlossene Lockergesteins-Schildmaschine).....	33
6.3	Umsetzung und Ablauf	34
6.3.1	Schritte 1 bis 5	34
7	Literaturverzeichnis	37
8	Anhang A: Übersichtstabellen Kennwerte.....	42
8.1	Übersichtstabelle Kennwerte Festgestein	42
8.2	Übersichtstabelle Kennwerte Lockergestein	43
8.3	Übersichtstabelle Kennwerte Gebirge	44
9	Anhang B: Darstellungen der Bereiche für das Systemverhalten.....	45
9.1	Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten TBM-O.....	45
9.2	Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten TBM-S	46
9.3	Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten TBM-DS	47
9.4	Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten TBM-SM mit Flüssigkeitsstützung	48
9.5	Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten TBM-SM mit Erddruckstützung	49

1 VORWORT

Bei der geotechnischen Planung von kontinuierlichen Vortrieben mit Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) treten gegenüber dem zyklischen Vortrieb [1] andere bzw. zusätzliche verfahrensspezifische Aspekte in den Vordergrund. Dies hat die Österreichische Gesellschaft für Geomechanik veranlasst, neben der Richtlinie für den zyklischen Vortrieb eine eigene Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb zu erarbeiten.

Da die erforderlichen geotechnischen Parameter nur mit begrenzter Genauigkeit im Voraus bestimmbar sind und eine Anpassung des Vortriebskonzeptes und des Ausbaues nur in geringem Umfang möglich ist, muss in der Planung von Vortrieben mittels TVM eine entsprechende Vorsorge für das Vortriebs- und Ausbausystem unter Berücksichtigung von Zusatz- und Sondermaßnahmen getroffen werden. Als eine der Vorsorgen ist eine geotechnische Risikoanalyse zu erstellen, welche mögliche Gefährdungen identifiziert und untersucht.

Folgende Punkte sind bei einem kontinuierlichen Vortrieb besonders zu beachten:

- Das tunnelbautechnische Konzept ist während der Bauausführung nur im geringen Maße anpassbar.
- Der Ausbau erfolgt je nach TVM-Typ in einem räumlichen und zeitlichen Abstand zum Ausbruch.
- Der Vortrieb kann je nach TVM-Typ auch in einem Grenzbereich der Hohlraumstabilität weitergeführt werden, da die TVM mit Schild eine sofort wirksame Sicherung gegen nachbrechendes Gebirge und einen Schutz aller Arbeitsbereiche bietet.
- Voraussicherungen sind mit hohem Aufwand verbunden.
- Bei den geschlossenen Maschinen kann das Gebirge durch ein Stützmedium aktiv gestützt werden.
- Ermittlung des Systemverhaltens als Folge des Ausbruches unter Berücksichtigung der Einwirkungen der TVM.
- Verschiebungsmessungen sind je nach TVM-Typ nur eingeschränkt möglich, zusätzlich stehen jedoch maschinentechnische Messdaten zur Verfügung.
- Es sind Sondersituationen wie das Begehen der Abbaukammer, Ausbläser, Hindernisbeseitigung, instabile Ortsbrust, Verkleben etc. zu erfassen.

Im Rahmen des geotechnischen Sicherheitsmanagements sind in Anlehnung an Eurocode 7 [2], [3] sinngemäß folgende Inhalte abzudecken:

- TVM-Konzept einschließlich Ausbau.
- Vorgangsweise zur Verifizierung der Annahmen, zur Beurteilung und Sicherstellung der Systemsicherheit, zur Einhaltung von zulässigen Auswirkungen auf die Umwelt, sowie zur Steuerung und Festlegung der erforderlichen bau- und maschinentechnischen Maßnahmen.
- Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.
- Erstellung von Kriterien für die Bestimmung der Stabilität, basierend auf dem Kenntnisstand der Gebirgsverhältnisse während der Planung und unter Berücksichtigung der Beeinflussung durch den Einsatz der TVM.

- Erstellung eines Überwachungskonzeptes mit allen technischen und organisatorischen Voraussetzungen, welches einen laufenden Vergleich zwischen erwarteten und angetroffenen Verhältnissen erlaubt.
- Erstellung eines Managementplanes für Fälle, in welchen die angetroffenen Verhältnisse von den erwarteten abweichen, wobei sowohl Abweichungen zum Positiven wie Negativen erfasst werden müssen.

Die Planung umfasst alle Phasen, beginnend mit der Machbarkeitsstudie, über den Vorentwurf, die Einreich- und Ausschreibungsplanung bis zur Ausführungsplanung. Die Planung wird mit zunehmendem Informationsstand laufend fortgeschrieben und präzisiert.

Es sind Fachleute aus den Gebieten der Ingenieurgeologie, Hydrogeologie, Geotechnik, Bau- und Maschinentechnik einzubeziehen.

Hinsichtlich der statisch-konstruktiven Planung wird auf die RVS 09.01.42 [4] und bezüglich des Tübbingausbaus auf die ÖVBB Richtlinie „Tübbingsysteme aus Beton“ [5] verwiesen.

Um trotz aller Unsicherheiten der Kenntnis des Baugrundes eine nachvollziehbare ingenieurmäßige Planung und Herstellung von untertägigen Hohlräumen sicherzustellen, ist eine Dimensionierungsstrategie vom Planungsbeginn bis zum Bauausführungsende erforderlich. Diese soll ein klares geotechnisches Dimensionierungskonzept mit einer bestmöglichen Anpassung der Baumaßnahmen an die jeweiligen Verhältnisse beinhalten.

2 ZIELSETZUNG

Ziel dieser Richtlinie ist ein Leitfaden für die geotechnische Planung mit einer nachvollziehbaren Darlegung der Vorgangsweise. Im Rahmen der geotechnischen Planung steht die wirtschaftliche und gesamtheitliche Optimierung der bau- und maschinentechnischen Maßnahmen unter Beachtung der prognostizierten Gebirgsverhältnisse bei Gewährleistung der jeweiligen Sicherheitserfordernisse, der Langzeitstabilität und der Umwelterfordernisse im Vordergrund.

Die vorliegende Richtlinie hat den Charakter einer Aufgabenbeschreibung, welche sich an die an der Projektrealisierung Beteiligten, wie Auftraggeber, Planer, Gutachter und ausführende Firmen richtet. Sie soll dazu beitragen, rechtzeitig die organisatorischen und fachlichen Voraussetzungen für eine effiziente geotechnische Planung in all ihren Phasen sicherzustellen. Sie enthält eine generelle Verfahrensanleitung, welche die wesentlichen Teilaufgaben strukturiert sowie zeitlich und inhaltlich einander zuordnet.

Als technische Richtlinie vermeidet sie bewusst, auf Fragen der Risiko- und Verantwortungsaufteilung sowie der sich daraus ergebenden Kompetenz- und Aufgabenzuordnung einzugehen.

Die Richtlinie beinhaltet keine detaillierten Arbeitsanleitungen für Ingenieurleistungen und keine Vorgaben zur Auswahl des Maschinentyps (siehe dazu beispielsweise [6], [7], [8], [9]). Die geotechnische Planung erstreckt sich über folgende drei Phasen:

Phase 1: Planung

Diese Phase beinhaltet die Ermittlung der erwarteten Gebirgseigenschaften, die Einteilung in Gebirgsarten sowie die Ermittlung des erwarteten Gebirgsverhaltens, welches in Kategorien eingeteilt werden soll (Gebirgsverhaltenstypen), die Wahl der TVM, die Festlegung der bau- und maschinentechnischen Maßnahmen unter Berücksichtigung der Randbedingungen, die Prognose des Systemverhaltens und die Ermittlung der Vortriebsklassen gemäß ÖNORM B2203-2 [10].

Die Annahmen, Rahmenbedingungen, Abschätzungen, Ermittlungen und Resultate der geotechnischen Planung sind nachvollziehbar zu dokumentieren.

Phase 2: Planung TVM für die Bauausführung

Im Rahmen der Angebotsbearbeitung ist seitens des Bieters ein maschinentechnisches Konzept der vorgesehenen TVM auszuarbeiten.

Für die Bauausführung erfolgt die maschinentechnische Detailplanung der TVM durch den Auftragnehmer unter Berücksichtigung der Anforderungen des Bauvertrages und der geotechnischen Planung.

Phase 3: Bauausführung

Während der Bauausführung werden soweit möglich die geotechnisch relevanten Gebirgsparameter, allgemeine Beobachtungen, bau- und maschinentechnische Maßnahmen und TVM-betriebstechnische Daten erfasst, ausgewertet und dokumentiert. Auf Basis der ermittelten Gebirgsart wird unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren das aktuelle Systemverhalten in den Bereichen I bis V gemäß Tabelle 1 nach den Vorgaben der Planung abgeschätzt bzw. ermittelt und die geotechnische Planung fortgeschrieben.

3 DEFINITIONEN

BEGRIFF	REF.	DEFINITION
ABRASIVITÄT	ÖNORM B 2203-2	Den Werkzeugverschleiß bestimmende Gesteinseigenschaften (wirkt primär auf die Lösewerkzeuge aber auch auf alle Kontaktflächen der TVM mit dem Gestein)
ANFORDERUNGEN	Rili zykl. [1]	Faktoren, die die Gebrauchstauglichkeit, Sicherheit und umweltrelevante Aspekte bestimmen.
BETRIEBSWEISE	ÖNORM B 2203-2	Art der Ortsbruststützung, mit der die Schildmaschine gefahren werden kann. Es wird zwischen offener Betriebsweise (ohne Ortsbruststützung) und geschlossener Betriebsweise (mit Ortsbruststützung) unterschieden. Für den Wechsel der Betriebsweise sind keine Umbaumaßnahmen erforderlich.
BOHRBARKEIT	ÖNORM B 2203-2	Von den Gesteinseigenschaften abhängige Möglichkeit, Gestein im Vollschnitt mit einer Tunnelvortriebsmaschine (TVM) zu lösen.
BLOCKIGKEIT	ÖNORM B 2203-2	Erscheinung beim Vortrieb im Festgestein, bei der es an der Ortsbrust oder innerhalb des Bohrkopfbereiches zum Ablösen von größeren Gesteinsbrocken aus dem Gesteinsverband kommt.
FESTGESTEIN, FELS	ÖNORM B 2203-2	Mineralgemenge, dessen Eigenschaften hauptsächlich durch seine physikalisch/chemische Bindung bestimmt sind.
GEBIRGE	Rili zykl. [1]	Teil der Erdkruste, zusammengesetzt aus Festgestein (Fels) und/oder Lockergestein (Boden), oft mit anisotropen Eigenschaften, einschließlich Trennflächen und Hohlräume mit Füllungen aus flüssigen oder gasförmigen Bestandteilen.
GEBIRGSART (GA)	Rili zykl. [1]	Gebirge mit gleichartigen Eigenschaften.
GEBIRGSBEREICH		Ein Tunnelabschnitt, welcher geologisch und hydrogeologisch ähnlich aufgebaut ist und in der Regel mehrere Gebirgsarten enthält.
GEBIRGSVERHALTEN (GV)	Rili zykl. [1]	Reaktion des Gebirges auf den Ausbruch ohne Berücksichtigung von Stützung oder Querschnittunterteilung.
GEOTECHNISCHER SICHERHEITSMANAGEMENTPLAN (GSMP)		Zusammenfassende Darstellung der Baustellenorganisation, der Zuständigkeiten, der Verantwortlichkeiten, des Informationsflusses und des Berichtswesens. Vorgaben betreffend des Beobachtungs- und Messprogramms, der Sollwerte, der Warn- und Alarmwerte sowie der Interventionsmethoden.

GEBIRGSVERHALTENSTYP (GVT)	Rili zykl. [1]	Übergeordnete Kategorien von ähnlichem Gebirgsverhalten in Bezug auf Verformungscharakteristika und Versagensmechanismen.
GESTEIN	Rili zykl. [1]	Durch natürliche Vorgänge entstandene Vereinigung aus mineralischen Bestandteilen, gekennzeichnet durch die Art und Menge der auftretenden Minerale und durch das Korngefüge.
GESTEINSART	ÖNORM B 2203-2	Locker- und Festgestein mit gleichartigen Eigenschaften.
KLEBRIGKEIT (Verklebungspotential)	ÖNORM B 2203-2	Starke Adhäsion von Ausbruchsmaterial an Maschinenteilen oder Klumpenbildung
LOCKERGESTEIN	ÖNORM B 2203-2	Anhäufung von anorganischen und verschiedenenkörnigen Feststoffen, fallweise auch mit organischen Beimengungen, deren Eigenschaften vorwiegend durch die Kornzusammensetzung, die Lagerungsdichte und den Wassergehalt bestimmt sind.
ORTSBRUSTVERHALTEN (OBV)		Verhalten der ungestützten Ortsbrust ohne Beeinflussung durch die TVM in Bezug auf Verformungscharakteristika und Versagensmechanismen.
QUELLFÄHIGKEIT		Reversible volumsvergrößernde Eigenschaften von Gesteinen durch Wasseraufnahme durch physikalische Vorgänge (z.B. quellfähige Tone)
RANDBEDINGUNGEN	Rili zykl. [1]	Bedingungen, welche die Bauabwicklung und die Bautechnik beeinflussen, jedoch nicht geotechnisch begründet sind.
RINGSPALT	ÖNORM B 2203-2	Raum zwischen umgebendem Gebirge und Außenfläche der Tübbingelemente
SCHILDSPALT (Steuerspalt)		Raum zwischen umgebendem Gebirge und Außenfläche des Schildes.
SCHWELLFÄHIGKEIT		Irreversible volumsvergrößernde Eigenschaften von Gesteinen durch Wasseraufnahme durch chemisch-kristallographische Vorgänge (z.B. Anhydrit → Gips).
SYSTEMSICHERHEIT		Maß für die Aufrechterhaltung der Funktion des Vortriebssystems ohne Gefährdung von Mensch, Maschine und Ausbau bei einem Teilversagen des Gebirges.

SYSTEMVERHALTEN		Das Verhalten des Systems aus Gebirge und gewählten bau- und maschinentechnischen Maßnahmen (siehe Anhang B).
TRENNFLÄCHEN	Rili zykl. [1]	Zweidimensional ausgedehnte i.a. vollständige Unterbrechungen des mechanischen Zusammenhanges im Festgestein, hervorgerufen im Zuge der Entstehung und/oder tektonischer, bruchhafter Überbeanspruchung des Materials. Integrale (potenzielle) Trennflächen bewirken Modifikationen des Zusammenhaltes (z. B. Schichtung, Schieferung, Klüftung) und mechanische Anisotropien.
TUNNELBAUTECHNISCHER RAHMENPLAN		Zusammenfassende Darstellung der maßgebenden Parameter und Ergebnisse der geotechnischen Planung, sowie die Zuordnung der bau- und maschinentechnischen Maßnahmen und Darlegung der Mindestanforderungen an Ausbruch und Stützung sowie des Messprogramms.
VERÄNDERLICHKEIT DES GESTEINS		Tendenz zur Änderung der Festigkeitseigenschaften eines Gesteins infolge atmosphärischer (Trocknung, Wassereinwirkung), mechanischer und dynamischer Einwirkung (Be- oder Entlastungsvorgänge).
VORTRIEBSABSCHNITT	ÖNORM B 2203-2	Unterteilung eines Tunnels in zusammenhängende Abschnitte, für welche die Gebirgseigenschaften hinsichtlich Bohrgeschwindigkeit, Verschleiß u.a. in einer repräsentativen Verteilung angegeben werden können und die daher eine ähnliche Kostenstruktur aufweisen. Vortriebsabschnitte können auch durch andere Randbedingungen (z.B. baubetriebliche oder deutlich unterschiedliches Systemverhalten) bestimmt werden.
VORTRIEBSARTEN	ÖNORM B 2203-2	Es wird zwischen zyklischem (konventionellen) und kontinuierlichem (maschinellen) Vortrieb unterschieden.
ZERLEGUNGSGRAD	ÖNORM B 4400-2	Eigenschaft, die sich aus Trennflächenabstand, Kluftbeschaffenheit, Auflockerungsgrad und Verwitterung zusammensetzt und von der Gesteinsart abhängig ist

4 PHASE 1 – PLANUNG

4.1 Grundsätzlicher Ablauf

Im Zuge der Tunnel-Gesamtplanung sind vorgängig die Projektbedingungen, die Trasse sowie die Randbedingungen (z.B. Überbauung, Grundwasserbeeinflussung) und die Definition der Anforderungen (z.B. zulässige Setzungen, Lebensdauer, etc.) festzulegen.

Das Projektgebiet ist detailliert geologisch und hydrogeologisch zu kartieren. Auf dieser Basis ist in der Folge das Untersuchungsprogramm festzulegen und durchzuführen.

Das Flussdiagramm (Abbildung 2) zeigt den schematischen Ablauf der geotechnischen Planung, Phase 1, von der Bestimmung der Gebirgsart bis hin zur Ermittlung von Vortriebsklassen. Nach Möglichkeit sollen statistische und/oder probabilistische Methoden verwendet werden, um der Variabilität und den Unsicherheiten in Bezug auf Kennwerte, Einflussfaktoren und deren Verteilung entlang der Trasse Rechnung zu tragen. Diese dienen als Basis für geotechnische Risikoanalysen. Der Ablauf gliedert sich in folgende Schritte (der Schritt 7 ist nur in der Ausschreibungsphase erforderlich):

1. Schritt – Bestimmung der Gebirgsarten

Basierend auf dem geologischen Modell werden im ersten Schritt die geotechnisch relevanten Eigenschaften jeder Gebirgsart bestimmt. Die Parameter und deren Streubreite basieren auf den jeweils vorhandenen Erkundungsergebnissen und/oder auf ingenieurmäßig fundierten Annahmen. Gebirge mit relevanten gleichartigen Eigenschaften wird in Gebirgsarten eingeteilt.

2. Schritt – Bestimmung des Gebirgsverhaltens, Zuordnung zu Gebirgsverhaltenstypen

Im zweiten Schritt werden den Gebirgsarten die örtlichen Einflussfaktoren, wie Bergwasserverhältnisse, die räumliche Orientierung der Trennflächen sowie der örtliche Spannungszustand und eventuelle zusätzliche Faktoren zugeordnet, welche das Gebirgsverhalten maßgebend beeinflussen. Für jeden Bereich, welcher in Bezug auf Gebirgsart und Einflussfaktoren gleichartig ist, wird das Gebirgsverhalten analysiert. Wichtig ist bei diesem Schritt, jenes Gebirgsverhalten zu erfassen und zu beschreiben, welches sich ohne Einfluss von Baumaßnahmen wie z.B. TVM-Typ, Vortriebsrichtung, Ausbau, Ortsbruststützung, Bauhilfs- und Voraussicherungsmaßnahmen im Gesamtquerschnitt ergeben würde. Das jeweils ermittelte projektspezifische Gebirgsverhalten soll den übergeordneten Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen (Tabelle 2) zugeordnet werden. Bei Bedarf sollen die Gebirgsverhaltenstypen projektspezifisch näher definiert und/oder unterteilt werden.

3. Schritt – Evaluierung / Wahl der Vortriebsart

Nach der Bestimmung der Gebirgsarten und des Gebirgsverhaltens ist eine Untersuchung über die Machbarkeit eines kontinuierlichen Vortriebes durchzuführen.

In diesem Schritt sind alle die Vortriebsart bestimmenden Faktoren zu berücksichtigen wie beispielsweise Tunnellänge, Ausbruchquerschnitt, geografische/topografische Lage, Erschütterungen, Querschnittsänderungen, Kosten¹, u.a.m. Es sind die Randbedingungen wie z.B. Verwertbarkeit, Deponierbarkeit, Karst, hohe/tiefe Temperaturen, Gas, Chemismus, etc. zu berücksichtigen. Weiters sind die spezifischen Anforderungen an das Vortriebssystem zu definieren.

Auf Basis der Untersuchung wird entschieden, welche Vortriebsarten einer weiteren geotechnischen Bearbeitung unterzogen werden.

Im Falle der Entscheidung für einen kontinuierlichen Vortrieb wird für jeden Bereich, welcher in Bezug auf Gebirgsart und Einflussfaktoren gleichartig ist, das Ortsbrustverhalten analysiert und werden Ortsbrustverhaltenstypen (analog zu Tabelle 2) zugeordnet.

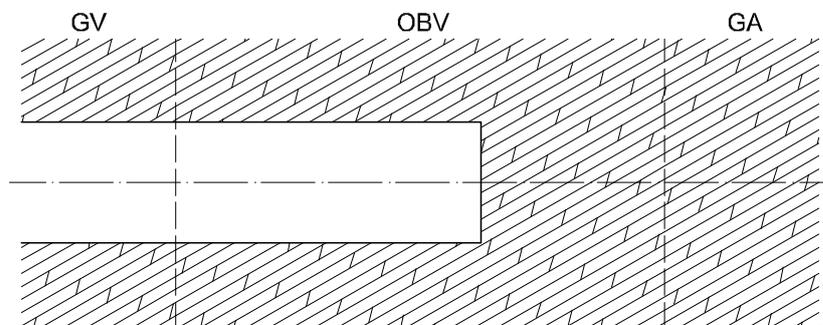


Abbildung 1: Bestimmungsbereiche für das Gebirgs- und Ortsbrustverhalten

GA	Bereich-Gebirgsarten – unverritztes Gebirge auf Tunnelniveau
OBV	Bereich-Ortsbrustverhalten – Gebirge innerhalb des Einflussbereiches der Ortsbrust
GV	Bereich-Gebirgsverhalten – aufgefahrenes Gebirge außerhalb des Einflussbereiches der Ortsbrust

4. Schritt – Wahl eines tunnelbautechnischen Konzeptes

Auf Basis des Schrittes 3 wird das tunnelbautechnische Konzept erarbeitet. Dieses beinhaltet die Auswahl und Beschreibung des Maschinentyps (siehe dazu beispielsweise [6], [7], [8], [9]), des Vortriebsverfahrens und des Ausbaus einschließlich der Regel-, Zusatz- und Sondermaßnahmen.

¹ Die Ermittlung der Kosten ist nicht Teil der geotechnischen Planung.

5. Schritt - Festlegung der bau- und maschinentechnischen Maßnahmen und Abschätzung bzw. Ermittlung des Systemverhaltens

Die bautechnischen und maschinentechnischen Maßnahmen werden im Detail festgelegt. Es sind die bereits im Schritt 4 abgeschätzten Regel-, Zusatz- und Sondermaßnahmen sowie maßgebende Maschinenparameter zu detaillieren.

Basierend auf dem tunnelbautechnischen Konzept wird das Systemverhalten in den Bereichen entsprechend Tabelle 1 abgeschätzt bzw. ermittelt:

Kurzbezeichnung	TVM-Bereich
I	Bohrkopfbereich / Schneidradbereich
II	Schildbereich / Bohrkopfträger & Firstschild
III	Einbaubereich
IV	Bereich fertiger Ausbau bis Endzustand
V	Sonderbereiche (Anfahren, Ausfahren, Öffnung für Querschläge, Querschnittsaufweitungen, etc.)

Tabelle 1: TVM-Bereiche

Schritt 4 und 5 werden solange variiert bis das Systemverhalten den Anforderungen entspricht.

6. Schritt – Dokumentation der Geotechnischen Planung

Auf Basis der Schritte eins bis fünf der geotechnischen Planung ist eine Einteilung in Vortriebsabschnitte vorzunehmen und gem. Pkt. 4.9 zu dokumentieren.

7. Schritt – Ermittlung der Vortriebsklassen und Erstellung der Ausschreibungsunterlagen

Dieser Planungsschritt beinhaltet die Ermittlung der Vortriebsklassen (gemäß ÖNORM B2203-2), welche sich aus der Bewertung der Baumaßnahmen in den Vortriebsabschnitten ergeben und der Erstellung der Vergütungsregelungen in den Ausschreibungsunterlagen dienen.

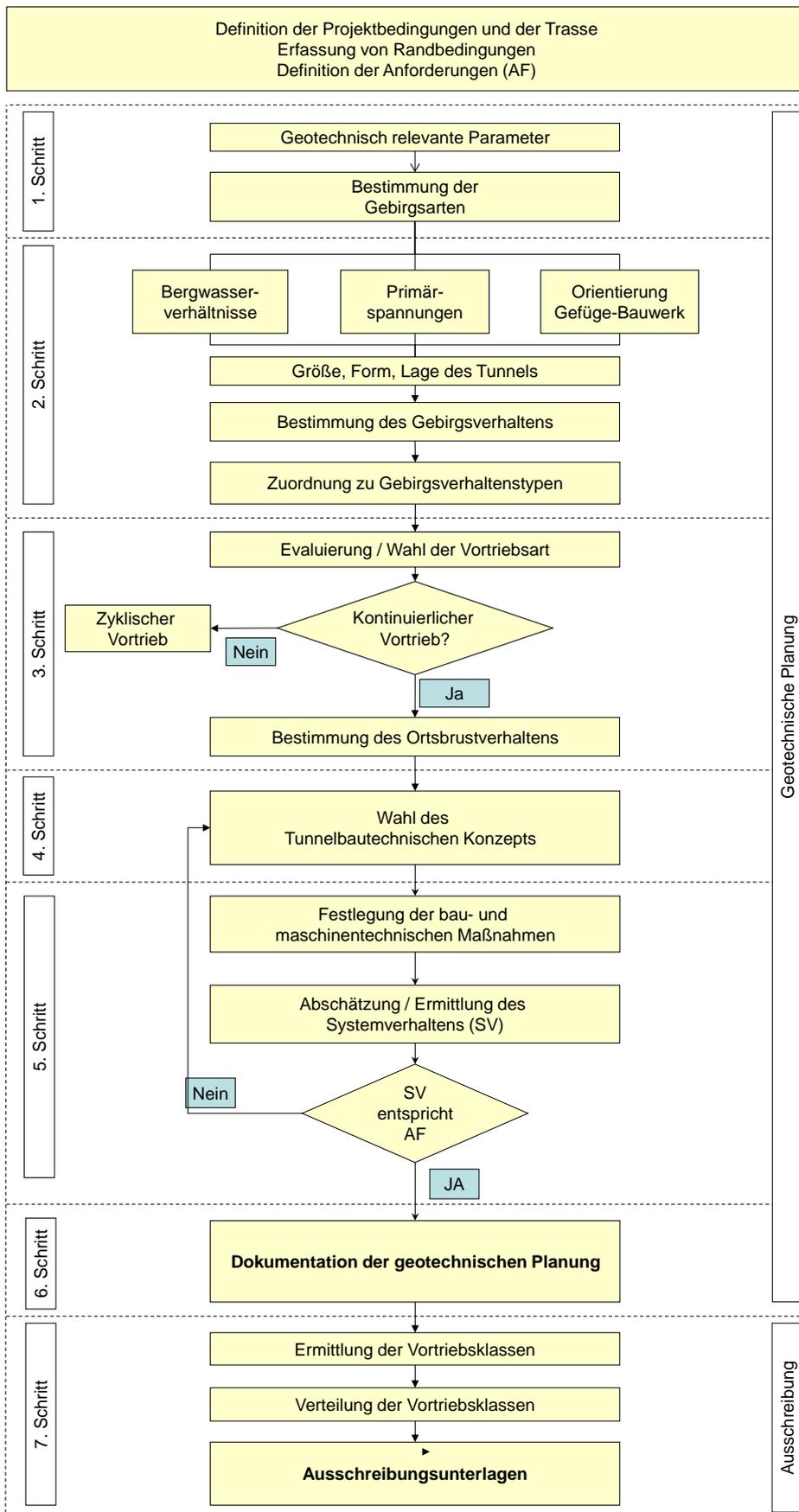


Abbildung 2: Schematischer Ablauf der geotechnischen Planung, Phase 1

4.2 Geotechnisch relevante Parameter

Die im Anhang A angeführten Parameter (Übersichtstabelle Kennwerte) geben einen beispielhaften Überblick über die möglichen Kennwerte. Die für das jeweilige Vorhaben maßgebenden Parameter sind projektspezifisch auszuwählen und erforderlichenfalls zu ergänzen.

Die Untersuchungen sind auf die in Frage kommenden Typen der TVM abzustimmen. Die wesentlichen Parameter und deren Bedeutung für den Maschineneinsatz sind getrennt für Locker- und Festgestein anzugeben.

4.3 Bestimmung der Gebirgsarten

4.3.1 Definition der Gebirgsarten im Detail

Unter Gebirgsart (GA) versteht man ein geotechnisch relevantes Gebirgsvolumen mit Abmessungen, die sich am Ausbruchsquerschnitt orientieren, welches gleichartig ist in Bezug auf Eigenschaften, die wie folgt untergliedert werden:

- **Festgestein:** mechanische Eigenschaften (Gestein – Gebirge), Trennflächencharakteristika und -eigenschaften, Gesteinsarten, Gesteins- und Gebirgszustand, hydraulische Eigenschaften, Hohlräume im Gebirge, Abrasivität, Verklebungspotential, Schwell- und Quellfähigkeit, Veränderlichkeit
- **Lockergestein:** mechanische Eigenschaften, Parameter des Korngemisches, Parameter der Bodenkomponenten, Parameter der Matrix, Lagerungsdichte, Konsistenz, Grundwasser, hydraulische Eigenschaften, Verklebungspotential, Abrasivität, Quellfähigkeit, Veränderlichkeit, Steine und Blöcke, Verhärtungen

Verschiedene Gebirgsarten weisen unterschiedliche Charakteristika auf, welche sich auf deren Verhalten auswirken. Daher müssen zur Beschreibung verschiedener Gebirgsarten die jeweils zutreffenden Schlüsselparameter projektspezifisch definiert und bestimmt werden. Gesteinsverbände mit ähnlichen Kombinationen in Art und Größe der maßgebenden Parameter werden jeweils zu einer Gebirgsart zusammengefasst.

Die Bestimmung der Gebirgsarten hat auf Basis des jeweiligen Erkundungsstandes unter Bedachtnahme auf deren Bedeutung für die Errichtung des Bauwerkes zu erfolgen. Die Anzahl der zu bestimmenden Gebirgsarten ist daher sowohl projektspezifisch als auch planungsphasenabhängig und ergibt sich aus der Komplexität der geologischen Verhältnisse. In der Regel wird in frühen Projektphasen eine grobe Unterteilung ausreichend sein. Mit zunehmender Kenntnis und Planungstiefe kann eine weitere Unterteilung zweckdienlich sein.

Abschließend werden die erwarteten Gebirgsarten den einzelnen Bereichen des Hohlraumbauwerkes zugeordnet.

4.3.2 Methodik

Die geotechnisch relevanten Eigenschaften des Gebirges werden durch die in 4.3.1 ausgewählte Parameter beschrieben. Es ist auf jeden Fall zu überprüfen, ob die gewählten Parameter ausreichend sind, um die Eigenschaften des Gebirges im Hinblick auf einen TVM-Vortrieb zutreffend beschreiben zu können.

Für die Bestimmung der einzelnen Parameter sollen grundsätzlich die in national gebräuchlichen Normen oder Standards angegebenen Methoden verwendet werden. Die Verwendung anderer Methoden ist zu begründen.

In allen Bearbeitungsphasen sind für die Parameter, neben der Angabe der verwendeten und ausgewerteten Daten, die statistischen Auswertungen anzugeben.

Je nach zu errichtendem Bauwerk und Gebirge können unterschiedliche Parameter maßgebend sein. Auch in den einzelnen Projektphasen werden die Anzahl der zur Definition von Gebirgsarten verwendeten Parameter und die Gebirgsartenunterteilung unterschiedlich sein. Für die Bestimmung und Abgrenzung von Gebirgsarten sind jedenfalls die mechanischen und die hydraulischen Eigenschaften des Gebirges zu ermitteln.

Die geotechnischen Parameter und Einflussfaktoren aber auch die Charakterisierung des Ausbruchmaterials in Hinblick auf Deponierung und Verwertbarkeit werden zweckmäßigerweise in den frühen Projektphasen erhoben. Erkundungen während der Ausschreibungsplanung sollen primär der Reduktion von Unsicherheiten und des Risikos in geotechnisch kritischen Bereichen dienen.

In frühen Projektphasen (z. B. Machbarkeitsstudie, Vorstudie) können einfache Bewertungsverfahren [12], [13] verwendet werden, wobei bei den Gesteins- und Gebirgskennwerten häufig auf Literatur- und Erfahrungswerte zurückgegriffen werden muss. Die Quelle der verwendeten Kennwerte ist anzugeben.

In späteren Projektphasen (z. B. Einreichprojekt, Ausschreibungsprojekt) können empirische Verfahren [14], [15], [16], [17] oder numerische Methoden [18], [19] zur Ermittlung der Eigenschaften eines repräsentativen Gebirgsvolumens herangezogen werden.

Neben der Gebirgsfestigkeit und den Verformungseigenschaften sind erforderlichenfalls auch spezielle Charakteristika darzustellen (z. B. ausgeprägte Anisotropie [20], geringe Reibung an Trennflächen, Einschaltungen von anderen Gesteinsarten, geringe Restscherfestigkeit, etc.).

4.3.3 Angaben

Die der Bestimmung der Gebirgsarten zugrunde gelegten Parameter, sowie die daraus abgeleiteten Gebirgsparameter sind in einer Tabelle zusammenzufassen.

- Angabe der repräsentativen Gesteins- und Gebirgskennwerte
- Maßstäbliche Darstellung der Gebirgsart im Querschnitt und Längsschnitt mit geplantem Hohlraum

Diese Tabelle sollte für jeden Parameter statistische Kenngrößen (z. B. Mittelwert, Standardabweichung, etc.) und Bandbreiten aufweisen. Diese Tabelle hat Vorrang gegenüber einzelnen Ergebnissen von z.B. Laborprüfberichten.

4.4 Bestimmung des Gebirgsverhaltens

4.4.1 Allgemeines

Das Gebirgsverhalten (GV) beschreibt die Reaktion des Gebirges auf den Ausbruch des Gesamtquerschnittes unter Berücksichtigung der anstehenden Gebirgsart und der Einflussfaktoren, aber ohne Berücksichtigung von bau- und maschinentechni-

schen Maßnahmen, Ausbruchmethode, Ausbau, Bauhilfs- und Voraussicherungsmaßnahmen.

Zunächst werden in den einzelnen Bereichen des Hohlraumbauwerkes die Orientierung der maßgeblichen Strukturen relativ zum Hohlraum und die Berg- und Grundwasserverhältnisse erfasst, sowie die Spannungsverhältnisse für jeden Abschnitt ermittelt.

Nach Zuordnung aller relevanten Parameter und Einflussfaktoren zu allen Abschnitten wird in den Gebirgsbereichen das Gebirgsverhalten ermittelt.

Das jeweils ermittelte Gebirgsverhalten soll den übergeordneten Kategorien der Gebirgsverhaltenstypen (Tabelle 2) zugeordnet, und deren Verteilung entlang des Bauwerkes ermittelt werden. Die Gebirgsverhaltenstypen sollen hinsichtlich ihrer wahrscheinlichen Deformations- und Versagensmechanismen graphisch dargestellt werden.

4.4.2 Methodik

Für das Gebirgsverhalten ist von einem ungestützten Hohlraum und ohne stützende Wirkung der Ortsbrust auszugehen.

Folgende Parameter bestimmen das Gebirgsverhalten:

- Gebirgsart
- Primärspannungszustand
- Durchmesser des kreisrunden Hohlraumes
- Lage des Hohlraumes z.B. zur Oberfläche, Hanglage, zu bestehenden Bauwerken
- Orientierung des Bauwerkes zum Trennflächengefüge
- Grenzen zwischen unterschiedlichen Gebirgsarten
- Berg- bzw. Grundwasser, Strömungsdruck, hydrostatischer Druck

Zur Bestimmung des Gebirgsverhaltens werden u.a. folgende Untersuchungen empfohlen:

- Kinematik: Kinematische Untersuchungen zur Erfassung von gefügebedingten Nachbrüchen, bzw. Ausgleiten von Kluftkörpern. Methoden: z. B. Key Block Theory [21], Lagenkugelanalyse [22], [23]
- Beanspruchung: Ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen dem im Einflussbereich des Tunnels vorherrschenden räumlichen Spannungszustand und den Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Gebirges. Methoden: analytische Verfahren [24], [25], [26], [27] bzw. numerische Methoden
- Ermittlung der Bruch- und Versagensmechanismen zumindest qualitativ wie z. B. Spröbruch mit geringer Tiefe, Entspannungsgleiten an Trennflächen, Scherbruch, etc.. Methoden: Modellversuche, analytische Methoden, numerische Methoden, welche die Ausbildung von diskreten Brüchen modellieren
- Auswertung von Erfahrungen bei vergleichbaren Gebirgsverhältnissen und Bauwerken, Vergleich mit Fallbeispielen

Sofern einzelne Einflussfaktoren nicht mit entsprechender Sicherheit bestimmt werden können, sollen Untersuchungen mit dem erwarteten Schwankungsbereich der Parameter vorgenommen werden.

Zur Modellbildung sind grundsätzlich alle analytischen und numerischen Methoden geeignet, welche die Charakteristika der jeweiligen Gebirgsart unter den gegebenen Randbedingungen realitätsnah abbilden können.

Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen		Beschreibung des Gebirgsverhaltens (ohne bautechnische Maßnahmen)
1	Standfestes Gebirge	Standfestes Gebirge mit dem Potenzial zum schwerkraftbedingten Herausfallen oder Herausgleiten von kleinvolumigen Klufftkörpern
2	Gefügebedingte Ausbrüche	Großvolumige gefüge- und schwerkraftbedingte Ausbrüche, vereinzelt lokales Überschreiten der Scherfestigkeit an Trennflächen
3	Hohlraumnahe Überbeanspruchung	Spannungsbedingte Entfestigung bzw. Plastifizierung des Gebirges in Hohlraumnähe, ev. in Kombination mit gefügebedingten Ausbrüchen
4	Tiefreichende Überbeanspruchung	Spannungsbedingte tiefreichende Entfestigung bzw. Plastifizierung im Gebirge mit großen Deformationen
5	Bergschlag	Schlagartige Ablösungen von Gesteinsplatten verursacht durch Sprödbruch
6	Schichtknicken	Knicken von schlanken Schichtpaketen, häufig in Kombination mit Scherversagen
7	Firstniederbruch durch Scherversagen	Großvolumige Ausbrüche überwiegend im Firstbereich mit progressivem Scherversagen
8	Rolliges Gebirge	Ausrieseln von kohäsionsarmem, gering verzahntem, trockenem bis feuchtem Gebirge
9	Fließendes Gebirge	Ausfließen von kohäsionsarmem, gering verzahntem Gebirge mit hohem Wassergehalt oder Wasserzufluss
10	Quellendes Gebirge bzw. Schwellendes Gebirge	Zeitabhängige Volumszunahme des Gebirges vorwiegend im Sohlbereich durch physikalisch-chemische Reaktion von Gebirge und Wasser in Kombination mit Entspannung bzw. durch chemisch-kristallographische Vorgänge
11	Gebirge mit kleinräumig wechselnden Verformungseigenschaften	Kombination mehrerer GVT bei kleinräumiger, starker Änderung von Spannungen und Deformationen über längere Strecken, bedingt durch heterogenen Gebirgsbau (z. B. Block-Matrix Struktur, heterogene Störungszonen, tektonische Melange)

Tabelle 2: Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen

4.4.3 Zuordnung zu Gebirgsverhaltenstyp

Die ermittelten Gebirgsverhalten sind den in Tabelle 2 dargestellten 11 Kategorien zuzuordnen. Wird innerhalb eines GVT's eine große Bandbreite festgestellt, so sind Untergruppen einzuführen z. B. GVT 2/1, GVT 2/2, etc. bei gefügebedingten Ausbrüchen mit unterschiedlichen Trennflächenkombinationen oder Ausmaß oder unterschiedlicher Tiefenwirkung der Überbeanspruchung GVT 4/1, 4/2. In einem Querschnitt können auch mehrere Gebirgsverhaltenstypen festgestellt werden. In diesen Fällen sind alle im Querschnitt in Frage kommenden Kategorien zu benennen, wobei das maßgebende Gebirgsverhalten als erstes anzugeben ist, z.B. gefügebedingte Ausbrüche im Firstbereich mit Quell- oder Schwellerscheinungen in der Sohle: GVT 2 + GVT 10.

Gebirge mit kleinräumig wechselnden Verformungs- und/oder Festigkeitseigenschaften - wie es z.B. bei Störungszonen zutreffen kann - sind der Kategorie GVT 11 zuzuordnen. Die Charakteristika sind projektspezifisch zu beschreiben.

4.4.4 Mindestangaben

Folgende Mindestangaben sind für jeden GVT erforderlich:

- Gebirgsart(en)
- Primäre Spannungsverhältnisse
- Orientierung der maßgeblichen Trennflächen relativ zum Hohlraum
- Beanspruchung des Hohlraumrandes und des hohlraumnahen Bereiches
- Bergwasserverhältnisse: Kluft- und Porenwasser-Verhältnisse; Abgrenzung von Mengen/Drücken, unter welchen der GVT gültig ist; Einfluss des Bergwassers auf die Gebirgseigenschaften
- Beschreibung des Gebirgsverhaltens (Versagens- und Bruchmechanismen, Langzeitverhalten)
- Größenordnung der Verschiebung des ungestützten Hohlraumrandes und Angabe der dominanten Verschiebungsrichtungen. Unterscheidung, ob Verschiebungen rasch abklingen, oder lange andauern können.
- Skizze der erwarteten Gebirgsstruktur einschließlich Versagensmechanismus und Verschiebungstendenzen

Ist die Vortriebsrichtung zum Zeitpunkt der Bestimmung nicht eindeutig festgelegt, so ist das Gebirgsverhalten und Ortsbrustverhalten (siehe Pkt. 4.6) für beide Richtungen zu bestimmen.

4.5 Evaluierung der Vortriebsarten

Auf Basis der definierten Gebirgsarten und Gebirgsverhaltenstypen werden die technische, wirtschaftliche und umweltverträgliche Machbarkeit möglicher Vortriebsarten evaluiert und die jeweiligen Risiken ermittelt.

Ziel dieses Schrittes ist nicht die Bestimmung eines möglichen TVM-Typs, sondern die Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen für die Wahl eines zyklischen und/oder kontinuierlichen Vortriebes.

Auf Basis der Evaluierung wird entschieden, welche Vortriebsart der weiteren Planung zugrunde gelegt werden.

Es kann sinnvoll sein, mit der Planung beider Vortriebsarten fortzufahren.

4.6 Bestimmung des Ortsbrustverhaltens

Die das Gebirgsverhalten bestimmenden Parameter bestimmen auch das Ortsbrustverhalten (OBV). Für die Bestimmung des Ortsbrustverhaltens ist besonders der dreidimensionale Spannungszustand zu berücksichtigen.

Für die Bestimmung des Ortsbrustverhaltens sind keine Stützung und Vorausmaßnahmen zu berücksichtigen.

Die Einteilung in Ortsbrustverhaltenstypen (OVT) soll sich an jenen der Tabelle 2 orientieren. Das Ortsbrustverhalten kann sich vom Gebirgsverhalten unterscheiden, da es von der Orientierung der Trennflächen beeinflusst wird und ein räumlicher Spannungszustand mit ebener Ortsbrust vorherrscht.

Die Ortsbrustverhaltenstypen sollen hinsichtlich ihrer wahrscheinlichen Deformations- und Versagensmechanismen graphisch dargestellt werden.

4.7 Wahl des tunnelbautechnischen Konzeptes (TVM-Typ)

4.7.1 Wahl des TVM-Typs und Wahl des Ausbaukonzeptes

Für die Wahl der möglichen TVM-Typen, Vortriebsverfahren, Betriebsweisen und des Ausbaukonzeptes gibt es allgemein gehaltene Empfehlungen z.B. von DAUB [7]. Darauf aufbauend ist unter Einbeziehung der Gegebenheiten des Projekts ein TVM-Typ und ein Ausbausystem zu wählen. Neben den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen – charakterisiert durch die Bestimmung der GAs, GVTs und der OVTs - sind dabei vor allem folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Baugrundeigenschaften und Bodenkennwerte, die das Löseverhalten, die Bohrbarkeit und den Verschleiß bestimmen
- Veränderungspotential des Gesteins in Abhängigkeit von Löse- und Transportprozessen
- Randbedingungen wie Überlagerungshöhe, Bebauung etc.
- Verwendungszweck des Tunnels bzw. Stollens
- Montage- und Anfahrtsituation
- Materialbewirtschaftung und Deponierbarkeit des ausgebrochenen Materials
- Transport des ausgebrochenen Materials

4.7.2 Anforderungen an die TVM

Bei der Spezifikation der TVM-Anforderungen sind insbesondere folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Geometrische Daten z.B. nominaler Bohrdurchmesser, Überbohrmaß
- Bohrkopf- / Schneidradgestaltung
- Technische Daten z.B. Vorschubkraft, Drehmoment etc.
- Zusatzausrüstungen z.B. Schildschmierung, Schaumanlage etc.
- Tragvermögen Schild
- Konizität bzw. Abstufung des Schildes
- Ringspaltverfüllung

Ergänzend sind nach Erfordernis folgende Anforderungen zu berücksichtigen:

- Umbaumöglichkeiten TVM
- Erkundungskonzept während des Vortriebes
- Vorseilende Maßnahmen
- Baugrundverbessernde Maßnahmen
- Grundwasserabsenkung, Drainagemaßnahmen und/oder Maßnahmen zur Druckwasserhaltung
- Anforderungen aus Sonderbereichen

4.8 Ermittlung des Systemverhaltens

Die Systemsicherheit in allen Bauzuständen wird in den einzelnen Bereichen (I, II, III, IV) durch das Zusammenwirken der Regelmaßnahmen mit den Zusatz- und Sondermaßnahmen erreicht. Die Regelmaßnahmen kommen systematisch zum Einsatz, die Zusatz- und Sondermaßnahmen bei entsprechender Indikation, je nach prognostiziertem Gebirgsverhalten oder angetroffenem Verhalten des Gebirges im Zusammenwirken mit den Regelmaßnahmen [30].

4.8.1 Vorgangsweise

Basierend auf einem gewählten tunnelbautechnischen Konzept wird das Systemverhalten für folgende Bereiche I bis V abgeschätzt bzw. ermittelt (siehe auch Abbildungen Punkt 9, Anhang B):

- I - Bohrkopfbereich / Schneidradbereich
- II - Schildbereich / Bohrkopfträger & Firstschild
- III - Einbaubereich
- IV - Bereich fertiger Ausbau bis Endzustand
- V - Sonderbereiche

Auf Basis des ermittelten Systemverhaltens werden anschließend die bau- und maschinentechnischen Maßnahmen für alle Bereiche im Detail festgelegt. Dabei sind die Stabilität der Ortsbrust und der Laibung, der räumliche und zeitliche Spannungszustand, Auflockerungen im Gebirge, nachfolgende Bauphasen (z.B. Ringspaltverpressung, Innenschale) sowie Randbedingungen zu berücksichtigen.

Nach Festlegung aller bau- und maschinentechnischen Maßnahmen wird das Systemverhalten im Einzelnen nachgewiesen.

Die bau- und maschinentechnischen Maßnahmen sind so lange zu variieren und das jeweilige Systemverhalten zu ermitteln, bis eine sichere und wirtschaftliche Vorgangsweise gefunden ist – siehe Flussdiagramm (Abbildung 1).

Die möglichen Wechselwirkungen zwischen Verfahrens- und Maschinenteknik sowie Ausbruchsmaterial (Drehmoment, Verschleiß, Verbreitung, Klebrigkeit, Verwertbarkeit, etc.) sind in der Planung zu berücksichtigen. Dabei soll, ausgehend von der geotechnischen Beschreibung des Baugrundes, auch eine realitätsnahe Beschreibung der Materialeigenschaften im Abbauprozess und auf dem Förderweg ausgearbeitet werden. Die Eigenschaften des ausgebrochenen Materials sind wenn möglich versuchs-technisch zu ermitteln.

Das jeweils ermittelte Systemverhalten kann projektspezifischen Systemverhaltenstypen zugeordnet werden.

4.8.2 Allgemeine Einflussfaktoren

Allgemeine Einflussfaktoren für das Systemverhalten sind:

- Das Gebirgsverhalten
 - Der räumliche Spannungszustand
 - Das Berg- und Grundwasser
 - Zeitabhängige Eigenschaften des Gebirges unter Berücksichtigung von Berg-/Grundwasser
- Maximale ungestützte Länge des Hohlraumes und die freie Standzeit des Gebirges
- Die bau- und maschinentechnischen Maßnahmen einschließlich möglicher Beeinflussung und Veränderung des Baugrundes durch die Herstellung des Hohlraums mittels TVM
- Zeitpunkt, Einbauort und zeitabhängige Wirkung der bautechnischen Maßnahmen
- Stillstände für Wartung, Bandverlängerung, Ertüchtigungen, Umbau, etc.
- Hindernisse
- Nachfolgende Bauphasen z.B. zweite Röhre, Querschlag- / Stollenherstellung

4.8.3 Zusätzliche Einflussfaktoren

4.8.3.1 Bereich-I – Bohrkopfbereich / Schneidradbereich

- Ortsbrustverhalten
- Art der Ortsbruststützung
- Stützmittel, soweit diese das Verhalten im Bohrkopfbereich beeinflussen z.B. Rohrschirm, Spieße, GFK-Anker
- Schicht-, Grund- bzw. Bergwasser, welche Zusatzmaßnahmen wie z.B. Grundwasserabsenkung erfordern
- Maßnahmen zur Baugrundverbesserung z.B. Injektionen Unter- oder Obertage, Düsenstrahlverfahren
- Veränderung des Gebirges durch die Ortsbruststützung (Suspension, Erdbrei)

4.8.3.2 Bereich-II - Schildbereich

- Schildlänge
- Schildspalt / Steuerspalt, Schild-Stabilisatoren
- Auflockerungen und Nachbrüche (Absetzen des Gebirges auf den Schild)
- Gebirgsverformungen (Schließung des Schildspaltes)
- Stützung der Laibung (Stützmedium)
- Abstand Ortsbrust bis zum wirksamen Ausbau (die räumliche und zeitliche Entwicklung des Bauablaufes)
- Stützmittel, soweit diese das Verhalten im Schildbereich beeinflussen (z.B. Rohrschirm, Injektionsbohrschirm, Spieße, GFK-Anker)

- Gripperverspannung bei TBM-DS

4.8.3.3 Bereich-III - Einbaubereich

- Stützmittel oder Tübbingausbau
- Schließung des Ringspaltes durch das Gebirge
- Auflockerungen und Nachbrüche
- Ringspalt und Ringspaltverfüllung (Verfüllmaterial, zeitlicher Ablauf), Ringspaltverkläuserung
- Abstand Ortsbrust bis zum wirksamen Ausbau: räumliche und zeitliche Entwicklung des Bauablaufes
- Gripperverspannung bei TBM-O

4.8.3.4 Bereich-IV - Bereich fertiger Ausbau bis Endzustand

- Langzeitliche Gebirgslasten z.B. Umlagerungsprozesse, Konsolidierung, Schwellen, Quellen, Lösungserscheinungen, Verwitterung, Veränderung der geomechanischen Eigenschaften, Einfluss dynamischer Belastungen aus dem Betrieb, etc.
- Nachverpressung, Abdichtungs- und Vorspanninjektionen
- Eigenschaften des Ausbaus und ggf. Innenschale
- Nachträglich aufgefahrte Nachbarröhre
- Langfristige Änderungen des Schicht-, Grund- bzw. Bergwassers und dessen Druckniveaus

4.8.3.5 Bereich-V - Sonderbereiche

- Wechselwirkung auf den bereits vorhandenen Ausbau unter besonderer Berücksichtigung des räumlichen Spannungszustandes
- Baubetriebliche Randbedingungen: Erstinbetriebnahme TVM
- Spezialmaßnahmen wie z.B. Dichtblock, Anfahrbrille, Vereisung
- Anschlag Querschläge, Anschlag Verzweigungen, Herstellen von Abstellnischen in Straßentunneln

4.8.4 Methodik, Untersuchungen und Nachweise

Die Methodik der Untersuchungen richtet sich nach den jeweiligen Randbedingungen des Bauwerkes. Folgende Methoden können angewendet werden:

- empirische Methode - vergleichende Untersuchungen auf Grund von Erfahrung an ähnlichen Bauwerken und ähnlichen Tunnelvortriebsmaschinen unter vergleichbaren Bedingungen
- analytische Methoden
- numerische Methoden

Alle Untersuchungen und Nachweise sind in einer nachvollziehbaren Form zu dokumentieren.

Die Streuung der Eingangsparameter, sowie der Einfluss der TVM auf das Umfeld sind zu berücksichtigen. In der Regel sind die Einflussfaktoren keine deterministischen Größen, sondern liegen in einer Bandbreite vor.

Die Auswirkungen der Variation von kritischen Einflussfaktoren auf das Systemverhalten sollen in einer Parameterstudie untersucht werden.

Für die Ermittlung des Systemverhaltens sind folgende Angaben, Nachweise bzw. Hinweise abhängig von der TVM-Type erforderlich:

4.8.4.1 Bereiche I und II

- Die Systemsicherheit in allen Bauzuständen
- Grenz- und Störfälle
- Ortsbruststabilität (Stützdruckberechnung, Analyse der Blockigkeit, Hohlbrust, etc.)
- Hohlraumstabilität
- Sicherheit gegen Aufbruch und Ausbläser bei Druckluft
- Maßnahmen gegen Verrollen
- Kapazität der mechanischen Stützungen, Stützplatten, etc.
- Verspannbarkeit der Gripper
- Lasten für Schild- und Schildschwanzbelastung
- Verformungsverhalten des Gebirges bezüglich Auswirkung auf die TVM - Konizität, Absetzen des Gebirges auf den Schild, Einklemmen des Schildes, Überschnitt, etc.
- Erfordernis von Zusatz- und Sondermaßnahmen (Voraussicherungen, Injektionen, Schaum, Schildschmierung, Überschnitt, etc.)
- Abrasivität
- Verklebungspotential
- Methoden zur Beseitigung von Hindernissen
- Abweichungspotential bei der TVM-Fahrt

4.8.4.2 Bereiche III und IV

- Systemsicherheit in allen Bauzuständen sowie die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit im Endzustand
- Einhalten der zulässigen Auswirkungen auf die Umwelt (Setzungen, Erschütterungen, Eingriffe in die Natur und den Bergwasserhaushalt, etc.)
- Verschiebungen des Ausbaus innerhalb festgelegter Toleranzen (Zulässigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Systemverträglichkeit, Ovalisierung, Aufschwimmen, etc.)
- Auswirkung des Gebirgsabsetzens auf den Tübbing (Verschluss von Verblasöffnungen, Bettungsschatten)
- Auswirkung von veränderlich festem Gebirge für die Maßnahmen zur Nachverpressung
- Verhalten der Stützmittel oder des Tübbingausbaus, Innenschale

4.8.5 Angaben zum Systemverhalten

Entlang des gesamten Hohlraumbauwerkes einschließlich der Sonderbereiche sind Angaben über das erwartete Systemverhalten zu machen, welche durch die Beobachtungen und Messungen während der Bauausführung verifiziert werden können.

Diese Angaben können sein:

- Maschinenparameter wie Drehmoment, Vorschubkraft, Penetration, Umdrehungsgeschwindigkeit, Schildreibung
- Ausbruchmassenbilanz
- Erwarteter Stützdruck
- Ausmaß, Richtung und zeitlicher Verlauf der Verschiebungen des Tübbingausbaus (Ovalisierung, Sehnenverlängerung) bzw. Hohlraumrandes
- Setzung der Geländeoberfläche oder eventuell vorhandener Objekte insbesondere bei seicht liegenden Hohlräumen
- Beanspruchung des Ausbaus (z.B. Auslastungsgrad Tübbing bzw. Spritzbeton, Verhalten allfälliger Ankerung und Stauelemente)
- Beobachtbares Verhalten des Gebirges beim Vortrieb in Abhängigkeit der Regel-, Zusatz- und Sondermaßnahmen

Diese Angaben bilden die Grundlage für den Geotechnischen Sicherheitsmanagementplan in der Bauausführung.

4.9 Dokumentation der Geotechnischen Planung

4.9.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Geotechnischen Planung sind in einer Dokumentation zusammenzufassen, in welcher die einzelnen, in dieser Richtlinie dargestellten Planungsschritte übersichtlich und nachvollziehbar zu beschreiben sind.

Die Dokumentation der Geotechnischen Planung beinhaltet folgende Elemente:

- Geotechnischer Bericht einschließlich Tunnelbautechnischem Rahmenplan
- Geotechnische Risikoanalysen
- Geotechnischer Sicherheitsmanagementplan
- Störfallanalyse und Maßnahmen
- Maschinentechnische Anforderungen

4.9.2 Inhalt des Geotechnischen Berichtes einschließlich Tunnelbautechnischer Rahmenplan

Der Geotechnische Bericht soll vom Tunnelplaner in enger Abstimmung mit Geologen, Hydrogeologen und Geotechnikern erstellt werden.

- Kurzdarstellung der geologischen und hydrogeologischen Ergebnisse der Baugrunderkundung sowie deren Interpretation
- Beschreibung der Gebirgsarten mit den maßgebenden Parametern
- Beschreibung der prognostizierten Gebirgs- und Ortsbrustverhaltenstypen sowie die Darlegung der hierfür maßgebenden Einflussfaktoren, der durchgeführten Untersuchungen und zu Grunde gelegten geotechnischen Modellvorstellungen und Rechenkennwerte
- Beschreibung und skizzenhafte Darstellung des Systemverhaltens in den TVM-Bereichen gemäß Tabelle 1

- Einfluss von Besonderheiten wie Konkretionen, Blöcken, Scherkörpern auf das Systemverhalten
- Erläuterung zur Wahl des tunnelbautechnischen Konzeptes, einschließlich Bericht über die Festlegung von Regel-, Zusatz- und Sondermaßnahmen für alle TVM-Bereiche I bis V (siehe Tabelle 1), die Darlegung der hierfür maßgebenden Kriterien, der angewandten Berechnungsmethoden, sowie der durchgeführten Nachweise
- Abgrenzung von bau- und maschinentechnisch gleichartigen Gebirgsbereichen
- Beschreibung der Art und des Umfangs der Vorauserkundungen
- Zusätzlich zur geotechnischen Beschreibung des Baugrundes in-situ, Darstellung der Ermittlung der Materialeigenschaften im Abbauprozess und auf dem Förderweg (verfahrens- und maschinentechnische Charakterisierung des Baugrundes, z.B. [28])
- Definition der Kriterien zur Zuordnung der Baumaßnahmen zum Systemverhalten- In allen TVM-Bereichen I bis V (siehe Tabelle 1)
- Hinweise zu Toleranzen und Vorhaltemaße (TVM-Fahrt, Ovalisierung, etc.)
- Tunnelbautechnischer Rahmenplan
- Verteilung der Vortriebsklassen über die Länge des aufzufahrenden Hohlraumes (Ausschreibungsphase)

Der Tunnelbautechnische Rahmenplan soll in Form eines Längenschnittes folgende Angaben enthalten:

- Gebirgscharakteristik einschließlich Gesteinsart, Baugrundmodell
- Geometrische Daten wie Überlagerung, Geländehöhe, Kilometrierung, Vortriebsrichtung
- Gebirgsbereiche
- Grund- und Bergwasserprognose (Bau- und Betriebsphase) einschließlich Gebirgsdurchlässigkeiten, Druckhöhen, Angaben zur Druckentspannung und Abklingen der Bergwasserzutritte im Ortsbrustbereich
- Verteilung der prognostizierten Gebirgsarten und deren Wechselhaftigkeit
- Verteilung des prognostizierten Systemverhaltens in den Bereichen I bis V
- Geotechnische und bautechnische Besonderheiten
- Angaben für den Einsatz von Regel-, Zusatz- und Sondermaßnahmen
- Geplante Betriebsweise
- Mindest- und Maximalvorgaben für Stützdruck
- Vorauserkundung
- Vorauserwässerung
- Geotechnische Messungen (Typen und Verteilung der Messquerschnitte, Messstübbinge)

4.9.3 Geotechnische Risikoanalyse

Die geotechnische Risikoanalyse soll insbesondere folgende Punkte behandeln:

- Qualitative und/oder quantitative Geotechnische Risikoanalysen einschließlich risikominimierender Maßnahmen

- Darstellung des aus dem geotechnischem Planungsprozess verbleibenden Restrisikos (Unsicherheit der Prognosen und die daraus resultierenden Auswirkungen)

4.9.4 Geotechnischer Sicherheitsmanagementplan

Der Geotechnische Sicherheitsmanagementplan [29] soll folgende Angaben zu enthalten:

- Organisation der Baustelle mit Zuständigkeiten, Verantwortungen, Informationsfluss und Berichtswesen
- Beschreibung des erwarteten Systemverhaltens
- Technische Voraussetzung für die effiziente Beobachtung und Messprogramm zur Verifizierung bzw. Ermittlung des Systemverhaltens
- Entscheidungsmatrix mit Sollwerten, Warn- und Alarmkriterien (Grenzwerte, Tendenzen), sowie Interventionsmethoden im Falle von Abweichungen von den prognostizierten Verhältnissen
- Regelungen für den Krisenfall

4.9.5 Störfallanalyse und Maßnahmen

Vom Planer sind geotechnisch relevante Störfallszenarien festzulegen und die dafür erforderlichen Maßnahmen zu beschreiben.

4.9.6 Maschinentechnische Anforderungen

Folgende maschinentechnische Anforderungen sind zu definieren:

- Zulässige Maschinentypen
- Maximale Schildlänge
- Lastangaben für Schild
- Angaben zum Stützmitteleinbau für TBM-O
- Nominaler Bohrdurchmesser
- Betriebsweise
- Bohrkopf- bzw. Schneidradgestaltung
- Schildspalt (Überschnitt, Konizität, etc.)
- Maximales Überbohrmaß gemäß ÖNORM B 2203-2 (Überbohrereinrichtung, Shiften)
- Minimales Bohrkopfdrehmoment
- Minimales Losbrechmoment
- Minimale Bohrkopfvorschubkraft
- Minimale Gesamtvorschubkraft TVM
- Maximal zulässiger Verspanndruck unter Gripperplatten
- Stützdrücke (einschließlich Drucklufteinrichtung)
- Angaben für Vorauserkundungen
- Angaben für Zusatz- und Sondermaßnahmen
- Steinbrecher und Hindernisbeseitigung

- Ringspaltverfüllung
- Massen- (Volumen-) Bilanzkontrolle

4.9.7 Anforderungen an den Ausbau

Folgende statisch konstruktiven Anforderungen an den Ausbau und an die Bettung sind aus geotechnischer Sicht zu formulieren:

- Maßgebliche Lastfälle und Lastfallkombinationen unter Berücksichtigung der zugelassenen Gebirgsdeformationen
- Erforderliche Sicherheiten für Einwirkung und Widerstand bezogen auf die jeweiligen Lastfälle und Lastfallkombinationen
- Materialanforderungen für alle am Lastabtrag beteiligten Komponenten des Ausbaus
- Wirkungsweise und Bemessungsverfahren für Zusatz- und Sondermaßnahmen

4.10 Vortriebsklassen (Ausschreibung)

Für die Ausschreibung erfolgt die Ermittlung der Vortriebsklassen einschließlich Regel-, Zusatz-, Sondermaßnahmen gemäß ÖNORM B 2203-2.

Zur Mengenermittlung ist eine Prognose der Verteilung der Vortriebsklassen erforderlich. In dieser Prognose sind sowohl das wahrscheinlichste Szenario als auch die sich aus der Streuung der Eingangsparameter ergebende Bandbreite an Vortriebsklassen zu berücksichtigen.

Hierbei ist auch die Heterogenität und Wechselhaftigkeit des Gebirges entlang der Trasse zu berücksichtigen. Ein häufiger Wechsel der Vortriebsklasse in stark heterogenem Gebirge wird in vielen Fällen baupraktisch, ökonomisch und technisch unzweckmäßig sein. „Homogenisierungen“ in der Vortriebsklassenverteilung sind zu erläutern.

5 PHASE 2 – PLANUNG TVM FÜR DIE BAUAUSFÜHRUNG

Im Zuge der Bauausführung ist eine maschinentechnische Planung durchzuführen. Ein erster Schritt erfolgt bereits während der Angebotserstellung.

Aufbauend auf den Ergebnissen der geotechnischen Planung und den Spezifikationen der Ausschreibung sind die maschinentechnischen Maßnahmen in der Angebotsphase im Konzept (Schritt 1) und in der Bauausführungsphase (nach Erteilung des Bauauftrages) im Detail festzulegen (Schritt 2).

Der erforderliche Zeitbedarf für Phase 2 – Schritt 2 ist bei der Baeterminplanung zu berücksichtigen.

1. Schritt – Konzeptplanung TVM für die Angebotserstellung

Auf Basis der Ausschreibung und der maschinentechnischen Anforderungen erstellt der Bieter ein bau- und maschinentechnisches Konzept.

2. Schritt – Detailplanung TVM für die Bauausführung

Die maschinentechnische Detailplanung der TVM durch den AN erfolgt auf Basis der geotechnischen Planung des AG (Baugrundmodell). Die Detailplanung der tatsächlich zum Einsatz kommenden TVM ist das Ergebnis eines Optimierungsprozesses der maschinentechnischen Möglichkeiten und der Wirtschaftlichkeit unter Einhaltung der geotechnischen Anforderungen der Ausschreibung. Dieser Optimierungsprozess ist mit dem AG abzustimmen.

Die Entscheidungsmatrix gemäß dem geotechnischen Sicherheitsmanagementplan wird vor Vortriebsbeginn unter Berücksichtigung der tatsächlich zum Einsatz kommenden TVM überprüft und ggf. adaptiert. Diese Matrix enthält die der Planung zugrundeliegenden Parameter mit den SOLL – Werten:

- Detaillierte Festlegung der maßgebenden Maschinenparameter und Betriebsweisen vor Vortriebsbeginn
- Detaillierte Festlegung für den Einsatz von Zusatz- und Sondermaßnahmen und der Kriterien für die Betriebsweisen

Der geotechnische Sicherheitsmanagementplan, der Tunnelbautechnische Rahmenplan und die Störfallanalyse sind im Zuge der Abstimmung zwischen AG und AN zu überprüfen und auf Basis der zunehmenden Erkenntnisse während des Baus ggf. fortzuschreiben.

Die durchgeführten geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Erkundungen und Untersuchungen werden evaluiert und gegebenenfalls ergänzt.

6 PHASE 3 – BAUAUSFÜHRUNG

6.1 Allgemeines

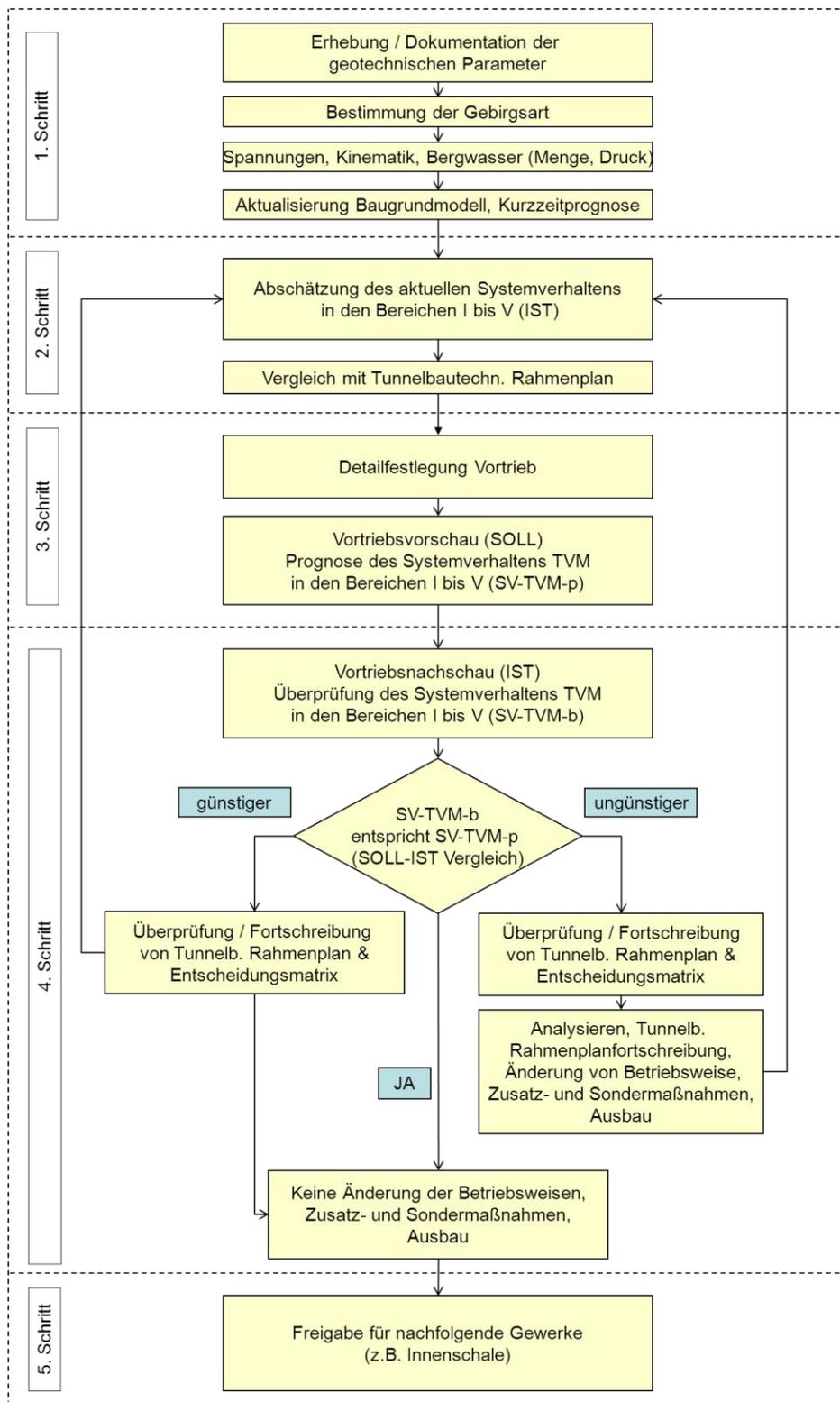
Da die Gebirgsverhältnisse vor Baubeginn meist nicht vollständig bekannt sind, ist in der Regel eine Fortschreibung und Verfeinerung des geotechnischen Modells sowie eine Anpassung der bau- und maschinentechnischen Maßnahmen (z.B. Werkzeugbestückung, Betriebsweise, Zusatz- und Sondermaßnahmen, Ausbau) an die tatsächlich angetroffenen Gebirgsverhältnisse während des Baues erforderlich. Je nach Baugrundverhältnissen können Vorauserkundungen die Verfeinerung des geotechnischen Modells unterstützen.

Die vor Ort erstellten geotechnischen Detailanalysen des Systemverhaltens dienen unter anderem der Verfeinerung des Prognosemodells. Daraus abgeleitete Erkenntnisse sollen in die Festlegung der bau- und maschinentechnischen Maßnahmen entsprechend Eingang finden. Bei geotechnisch anspruchsvollen Hohlraumbauwerken oder Bauwerken mit einer Gefährdung von Dritten muss hierfür jedenfalls ein geotechnisch erfahrener Tunnelbauingenieur eingesetzt werden. Um bei dieser Vorgangsweise die erforderliche Sicherheit gewährleisten zu können, ist ein entsprechendes geotechnisches Sicherheitsmanagement erforderlich.

Eine laufende Fortschreibung der geotechnischen Planung, insbesondere des Tunnelbautechnischen Rahmenplanes für die noch nicht aufgefahrenen Bereiche des Hohlraumbauwerkes wird auf Basis der zunehmenden Erkenntnisse über den anstehenden Baugrund, den Ausbau und deren Interaktion mit der TVM (Systemverhalten) empfohlen, um die erforderliche Sicherheit zu gewährleisten und eine wirtschaftliche Optimierung zu erlauben.

In allen Phasen müssen die Grundlagen und Annahmen für die einzelnen Festlegungen nachvollziehbar begründet und dokumentiert werden. Darüber hinaus sind im Zuge der Planung und Ausführung alle zweckdienlichen Daten und Informationen, welche über die Gebirgseigenschaften sowie das Gebirgs- und Systemverhalten während der Herstellung der Untertagebauten Auskunft geben können, zu dokumentieren, aufzubereiten und zu analysieren.

Abbildung 3 zeigt den schematischen Ablauf der geotechnischen Planung, Phase 3 Bauausführung.



Legende: SV-TVM-p: prognostiziertes Systemverhalten
 SV-TVM-b: beobachtetes Systemverhalten

Abbildung 3: Schematischer Ablauf der geotechnischen Planung, Phase 3 Bauausführung

6.2 Beobachtung und Datenerhebung

6.2.1 Allgemeines

Je nach TVM-Typ und Betriebsweise sind die Erhebung geologisch-geotechnischer Daten, Beobachtungen und Verschiebungsmessungen im Bereich der TVM mehr oder weniger eingeschränkt möglich [30]. Zusätzlich werden Maschinen-Betriebsdaten zur geotechnischen Interpretation herangezogen. Beispielsweise kann die Massenbilanz Hinweise über die Stabilität der Ortsbrust liefern.

6.2.2 TBM-O (TBM-A)

Grundsätzlich entspricht die Vorgangsweise in angepasster Form jener eines zyklischen Vortriebes.

Die Ortsbrust kann bei Stillstand der TVM, die Laibung auch während des Bohrvorganges besichtigt werden. Die Gebirgsart(en) und das Systemverhalten können im Bohrkopf- und Einbaubereich beobachtet werden. Das beobachtete Systemverhalten ist maßgebend für die Wahl der Stützmittel in den Arbeitsbereichen A1 und A2.

Eventuelle Verschiebungsmessungen können u.a. wegen der hohen Vortriebsgeschwindigkeit in der Regel für die unmittelbaren Entscheidungen über den Stützmitteleinbau im Arbeitsbereich A1 zu spät kommen. Jedoch können diese die Entscheidung für den Stützmitteleinbau im Arbeitsbereich A2 beeinflussen und dienen der Kontrolle des fertigen Ausbaus. Bei geringen Vortriebsgeschwindigkeiten können die Verschiebungsmessungen eine Grundlage für die Wahl der Stützmittel im Arbeitsbereich A1 sein.

6.2.3 TBM-S, TBM-DS mit Tübbingausbau

Die Ortsbrust ist bei Stillstand der TVM, die Laibung über Fenster im Schildmantel für die geologische Dokumentation und Bestimmung der Gebirgsart(en) zugänglich. Die Gebirgsart(en) und das Systemverhalten im Bohrkopf- und Schildbereich sind im Regelfall nur bei Stillstand beobachtbar.

Rückschlüsse auf das Systemverhalten in den TVM-Bereichen I bis V (siehe Tabelle 1) sind aus der Massenkontrolle und den Maschinendaten, ggf. auch aus Vorauserkundungen ableitbar.

Die Ergebnisse der Verschiebungsmessung / Sehnenmessung an der Tübbingschale können Hinweise zur Optimierung der Hinterfüllung des Ringspaltes liefern und bei unplanmäßigem Verhalten der Tübbingschale (z.B. Aufschwimmen, Ovalisierung, Rissbildung) nachträgliche Verstärkungsmaßnahmen erforderlich machen.

Bei Verwendung von Perlkies zur Ringspaltverfüllung ist der Verfüllgrad laufend zu beobachten.

6.2.4 SM (geschlossene Lockergesteins-Schildmaschine)

Die Ortsbrust ist nur bei Begehungen der Abbaukammer und nur in Teilbereichen zugänglich und beobachtbar. Informationen über das angetroffene Gebirge (Gebirgsart) sind über die Analyse des gefördertem Ausbruchmaterials und gegebenenfalls durch Interpretation des Bohrgutes oder der Bohrkern von Vorausbohrungen zu erhalten.

Aus den TVM-Vortriebsdaten können Hinweise u. a. auf das Gebirge, auf das Systemverhalten, auf Verklebungserscheinungen und auf Hindernisse abgeleitet werden. Die Steuerung des Stützdruckes und des Verpressdruckes der Ringspaltvermörtelung erfolgt nach Vorgaben von Berechnungen und durch Interpretation der Oberflächensetzungen.

Die Ergebnisse der Verschiebungs - bzw. Sehnennmessung an der Tübbingschale können Hinweise zur Optimierung der Ringspaltverpressung liefern und bei unplanmäßigem Verhalten der Tübbingschale (z.B. Aufschwimmen, Ovalisierung, Rissbildung) Maßnahmen zur Verstärkung des Ausbaus erforderlich machen.

6.3 Umsetzung und Ablauf

6.3.1 Schritte 1 bis 5

1. Schritt – Bestimmung der Gebirgsart und Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse

Zur Bestimmung der anstehenden Gebirgsart wird die baubegleitende geologische Erhebung und Dokumentation entsprechend der TVM-spezifischen Beobachtungsmöglichkeiten auf die Erfassung der der Planung zugrunde gelegten Eigenschaften ausgerichtet. Je nach TVM-Typ sind die Prognosemöglichkeiten unterschiedlich.

Informationen über die Gebirgsart sind soweit möglich aus Aufnahmen der Ortsbrust und der Laibung sowie Analysen des gefördertem Ausbruchmaterials zu gewinnen. Um die Gebirgsart in jenem Gebirgsvolumen zu erfassen, das maßgeblich ist für das Verhalten des Gebirges, ist es erforderlich, nicht nur die Ortsbrust zu dokumentieren, sondern auch die darüber hinausreichenden räumlichen Verhältnisse zu prognostizieren.

Vorausseilende Bohrungen dienen bei Bedarf zur weiteren Informationsbeschaffung. Die Beobachtungen, die Auswertung der Maschinendaten und der geotechnischen Messungen werden benützt, um das Baugrundmodell laufend zu aktualisieren und eine Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse zu erstellen. Zweckmäßigerweise soll die Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse und des Systemverhaltens für einen Bereich von ca. zwei bis drei mittleren Tagesleistungen vor der aktuellen Ortsbrust erstellt werden.

Vorbereitend zum Bau werden in der Planung für die einzelnen erwarteten Gebirgsarten Schlüsselparameter festgelegt. Bei der Festlegung der für die Zuordnung vor Ort verwendeten Parameter ist darauf zu achten, dass diese in Abhängigkeit des Maschinentyps und des Vortriebsverfahrens routinemäßig erhoben werden können (z.B. direkt an der Ortsbrust durch Zugänglichkeit Bohrkopf, indirekt durch Beurteilung des Ausbruchmaterials, etc.). Aus den Maschinendaten (z.B. Anpresskraft, Penetration) können nach entsprechender Kalibrierung zusätzliche Hinweise auf die Gebirgsart gewonnen werden.

Zur Differenzierung der einzelnen Gebirgsarten werden die in der Prognose erhobenen Daten durch vor Ort zu erhebende Parameter ergänzt. Die Einführung von zusätzlichen Parametern ist zu begründen und zwischen den Beteiligten abzustimmen. Wo immer möglich, sollten numerische Werte verwendet werden (z. B. Trennflächenabstand, Klufföffnung, Festigkeit, etc.).

2. Schritt – Abschätzung des aktuellen Systemverhaltens Bereiche I bis V

Auf Basis der festgestellten Gebirgsverhältnisse ist soweit möglich das aktuelle Systemverhalten für die Bereiche I bis IV und ggf. Bereich V zu analysieren und mit den Angaben im Tunnelbautechnischen Rahmenplan zu vergleichen.

Zusätzlich zu den Parametern zur Ermittlung der Gebirgsart(en) sind Einflussfaktoren soweit möglich, wie Maschinendaten sowie Beobachtungen zum Systemverhalten in den Bereichen I bis IV ggf. V, zu erheben und aufzuzeichnen.

3. Schritt – Detailfestlegung Vortrieb und Vortriebsvorschau (SOLL)

Die bau- und maschinentechnischen Maßnahmen wie Betriebsweisen, Regel-, Zusatz- und Sondermaßnahmen sowie der Ausbau werden nach den Kriterien des Tunnelbautechnischen Rahmenplans sowie der Entscheidungsmatrix des Geotechnischen Sicherheitsmanagementplans festgelegt und eine „Vortriebsvorschau“ erstellt. Die „Vortriebsvorschau“ prognostiziert das erwartete Systemverhalten der TVM in den Bereichen I bis IV und ggf. V.

Die Vortriebsvorschau soll mögliche Störfallsituationen in Betracht ziehen.

Laufend werden die Ergebnisse der Beobachtungen, der maschinenbetriebstechnischen Daten und der geotechnischen Messungen sowie der allfälligen Erkundung mit den SOLL-Werten und dem SOLL-Verhalten verglichen.

- Vergleich mit dem Tunnelbautechnischen Rahmenplan

Um die Betriebsweisen, die Regel-, Zusatz- und Sondermaßnahmen sowie den Ausbau endgültig festlegen zu können, ist zunächst festzustellen, ob und inwieweit das tatsächlich anstehende Gebirge mit den in der Planung getroffenen Annahmen hinsichtlich Gebirgsart und Systemverhalten für die aktuellen Bereiche I bis IV gemäß Tunnelbautechnischem Rahmenplan übereinstimmen.

Sollten Abweichungen zum Tunnelbautechnischen Rahmenplan festgestellt werden, ist der Planer zu informieren. Eine Unterschreitung der Mindestvorgaben erfordert eine Zustimmung des Planers. Gegebenenfalls ist eine Fortschreibung des Tunnelbautechnischen Rahmenplanes und der Entscheidungsmatrix durchzuführen.

Zusätzlich örtlich erforderliche Maßnahmen sind auch dann zu setzen, wenn sie im Tunnelbautechnischen Rahmenplan nicht ausdrücklich gefordert sind.

- Entscheidungen vor Ort

Die endgültige Entscheidung der auszuführenden Baumaßnahmen basiert auf der Planung und aller vor Ort gewonnenen Informationen und hat eine sichere und wirtschaftliche Bauausführung zum Ziel. Die Entscheidung muss nachvollziehbar begründet und dokumentiert werden, z.B. durch ein Beiblatt zur Ausbaufestlegung.

- Verfeinerung der Prognose des Systemverhaltens

Der erhöhte Kenntnisstand erlaubt neben der genaueren Bestimmung der Gebirgsverhältnisse eine präzisere Prognose des Systemverhaltens.

4. Schritt – Vortriebsnachschaу (IST) – Überprüfung des Systemverhaltens und Fortschreibung des Tunnelbautechnischen Rahmenplan und der Entscheidungsmatrix

Die „Vortriebsnachschaу“ analysiert den zurückliegenden Abschnitt mit der Konsequenz der Verfeinerung der nächsten „Vortriebsvorschau“. Es erfolgt eine laufende Kontrolle der relevanten Maschinenparameter. Die Ergebnisse der „Vortriebsnachschaу“ dienen der Verfeinerung der maschinentechnischen Einstellparameter, der Betriebsweisen, der Festlegung von Zusatz- und Sondermaßnahmen sowie des Ausbaus.

Die Überprüfung, ob das prognostizierte Systemverhalten den definierten Anforderungen und den Kriterien der Entscheidungsmatrix des geotechnischen Sicherheitsmanagementplanes entspricht, erfolgt durch Beobachtung während und nach dem Vortrieb des betreffenden Abschnittes (visuell und messtechnisch, Interpretation maschinentechnischer Parameter). Falls das Systemverhalten in einem erheblichen Ausmaß von dem Erwarteten abweicht, ist eine Analyse vorzunehmen und es sind gegebenenfalls entsprechende Zusatz- und Sondermaßnahmen zu ergreifen.

Bei Unterschreitung sind die verwendeten Parameter und Annahmen ebenfalls zu überprüfen und bei Bedarf zu modifizieren.

Abweichungen zwischen SOLL- und IST-Verhalten sind zu analysieren, zu dokumentieren und Rückschlüsse für die weitere Vorgangsweise abzuleiten.

Wird ein von der Prognose abweichendes Systemverhalten beobachtet, kann dies auf:

- von der Prognose abweichende Gebirgsverhältnisse
- eine nicht zutreffende Parameterzuordnung
- nicht zutreffende Annahmen der Einflussfaktoren

zurückzuführen sein.

Dementsprechend ist eine Fortschreibung des Tunnelbautechnischen Rahmenplans und der Entscheidungsmatrix erforderlich.

5. Schritt – Freigabe für nachfolgende Gewerke

Nach Überprüfung des Ausbaus auf Übereinstimmung mit den Anforderungen und Festlegung allfälliger Verstärkungs- und Instandsetzungsmaßnahmen erfolgt die Freigabe für nachfolgende Gewerke (wie z.B. Innenschale).

7 Literaturverzeichnis

- [1] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb. 2. Überarbeitete Auflage. 2008
- [2] ÖNORM B 1997-1: EUROCODE 7 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik Teil 1: Allgemeine Regeln. (01.11.2007)
- [3] Vavrovsky, G.M., Schubert, P., Ayaydin, N., (2001). Geotechnisches Sicherheitsmanagement im oberflächennahen Tunnelbau, Felsbau 19, Nr. 5
- [4] RVS 09.01.42 Geschlossene Bauweise im Lockergestein unter Bebauung. 01.04.2013.
- [5] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (2009). Richtlinie Tübbingsysteme aus Beton.
- [6] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (2009). Richtlinie Schildvortrieb.
- [7] DAUB Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (Stand 10/2010). Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen.
- [8] RVS 09.01.31 Merkblatt RVS 9.251: Projektierungsrichtlinie-bautechnische und geotechnische Arbeiten – Kontinuierlicher Vortrieb Strassentunnel. FSV Forsch.Ges. Straße und Verkehr Nov. 2003
- [9] Schneider, E., John, M. (Ed.) Entwurfsrichtlinie für mechanisch vorgetriebene Verkehrstunnel, Teil 2-Eisenbahntunnel. Univ. Innsbruck, 2001
- [10] ÖNORM B 2203-2. Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm. Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb. Österreichisches Normungsinstitut. 2005
- [11] Riedmüller, G., Schubert, W. (2001). Project and Rock Mass Specific Investigation for Tunnels. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 369-376. Rotterdam: Balkema.
- [12] Harer, G., Riedmüller, G. (1999). Assessment of ground conditions for the Koralm tunnel during the early stages of planning. Felsbau 17 (5), 374 – 380
- [13] Goricki, A., Schubert, W., Fuchs, R., Steidl, A. (2001). Geotechnical Assessment of the Route Corridor for the Koralm Base Tunnel. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 77-82. Rotterdam: Balkema
- [14] Hoek, E. (1999). Putting numbers to geology – an engineer's viewpoint. Felsbau 17 (3), 139 – 151
- [15] Marinos, P. Hoek, E. (2000). GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proceedings GeoEng 2000
- [16] Cai, M., Kaiser, P.K., Tasaska, Y., Minami, M. (2007). Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system.

- Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 44, Issue 2, 247-265. Elsevier
- [17] Hoek, E., Diederichs, M.S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 43, 203-215. Elsevier
- [18] Amadei, B., Savage, W. Z. (1993). Effects of Joints on Rock Mass Strength and Deformability. Comprehensive Rock Engineering, Volume 1, 331 – 365. Hsg. Hudson J. A. et al. Pergamon Press, Oxford
- [19] Bashin, R., Høeg, K. (1998). Numerical modelling of block size effects and influence of joint properties in multiply jointed rock. Tunnelling and Underground Space Technology, 13, 181 – 188
- [20] Blümel, M., Brosch, F.-J. , Fasching, A. (1999). Investigations on fabrics and related mechanical properties of a highly anisotropic gneiss. In G. Vouille, P. Berest (eds.), International Congress on Rock Mechanics; Proc. intern. symp., Paris: 1001-1005. Rotterdam: Balkema
- [21] Goodman, R.E., Shi, G.H. (1985). Block theory and its application to rock engineering. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
- [22] John, K.W., Deutsch, R. (1974). Die Anwendung der Lagenkugel in der Geotechnik. Festschrift Leopold Müller-Salzburg, Karlsruhe
- [23] Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F. (1995). Support of underground excavations in hard rock. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield
- [24] Feder, G. (1977). Zum Stabilitätsnachweis für Hohlräume in festem Gebirge bei richtungsbetontem Primärdruck. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 122 (4), 131 -140
- [25] Feder, G. (1978). Versuchsergebnisse und analytische Ansätze zum Scherbruchmechanismus im Bereich tiefliegender Tunnel. Rock Mechanics 6, 71 - 102
- [26] Sulem, J., Panet, M., Guenot, A. (1987). Closure analysis in deep tunnels. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Science (24), 145 -154
- [27] Brown, E.T., Bray, J.W., Ladanyi, B., Hoek, E. (1983). Ground response curves for rock tunnels. J. Geotech. Engrg., ASCE, 109(1), 15-39
- [28] Handke, D.; Matt, R.; Wilfinger, N.: Maschinen- und verfahrenstechnische Charakterisierung des Gebirges unter dem Einfluss des interaktionsverhaltens Maschine – Baugrund. Tunnel 6/2011.
- [29] Moritz, B.; Koinig, J.; Vavrovsky, G.M.; (2011): Geotechnisches Sicherheitsmanagement im Tunnelbau – ein effizienter Weg zur Schadensvermeidung. Geomechanics and Tunnelling, 5 Volume 4 October 2011, Ernst & Sohn.
- [30] Vigl, A. (2012): TBM unter schwierigen Einsatzbedingungen - Planungsgrundsätze und bautechnische Umsetzung. Brenner Congress 2012. Ernst & Sohn.

Weiterführende Literatur (alphabetisch)

- [31] Bruland, A. (2000): Hardrock tunnel boring, Vol. 1 – 10, Doctoral Thesis NTNU Trondheim.
- [32] Cantieni, L.; Anagnostou, G.: The Effect of the Stress Path on Squeezing behaviour in Tunneling. *Rock Mech Rock Eng* (2009) 42:289-318. Springer.
- [33] Gehring, K. (1997): Classification of Drillability, Cuttability, Borability and Abrasivity in Tunneling. *Felsbau*, 15, No. 3.
- [34] Gehring, K.: (1995): Leistungs- und Verschleißprognosen im maschinellen Tunnelbau. *Felsbau*, 13, Nr. 6.
- [35] Gerstner, R.; Tentschert, E.; Vigl, A. (2001): Quantifizierung oder Qualifizierung geologischer Parameter für TBM-Vortriebe. In: *Felsbau*, 19/ 5, S. 107-113.
- [36] Gong, Q.M. Jiao, Y.Y., Zhao, J. (2006): Numerical modelling of the effects of joint spacing on rock fragmentation by TBM cutters.- *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 21, Issue 1, January 2006, pp. 46-55.
- [37] Grossauer, K.: Parameterstudie zur Ermittlung der Auswirkung von Störungszonen auf Spannungen und Verformungen für Tunnelvortriebe mittels FE-Methode. Diplomarbeit am Institut für Felsmechanik und Tunnelbau der TU Graz. 2001.
- [38] Hollmann, F.; Thewes, M. (2011): Bewertung der Neigung zur Ausbildung von Verklebungen und zum Anfall von gelöstem Feinkorn bei Schildvortrieben im Lockergestein. *Proc. 18. DGGT/DGG-Confr. On Engineering Geology* S. 237 – 244. Berlin.
- [39] Keiper, K.; Crapp, R.; Amberg, F.: Bewertung der Interaktion von TBM und Gebirge im Felstunnelbau auf Basis von geomechanischen Berechnungen. *Geomechanics and Tunnelling* 3 (2010), No. 5. Ernst & Sohn Verlag.
- [40] Liu, Q., Brosch, F.-J., Klima, K., Riedmüller, G., Schubert, W. (1999). Application of a Data Base System During Tunnelling. *Felsbau* 17(1): 47-50
- [41] Liu, Q., Riedmüller, G., Klima, K., (2001). Quantification of Parameter Relationship in Tunnelling. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), *EUROCK 2001; Proc. intern. symp.*, Espoo: 357-362. Rotterdam: Balkema
- [42] ÖBV Österreichische Bautechnik Vereinigung – Merkblatt Abrasivitätsbestimmung von grobkörnigem Lockergestein. Ausgabe Juli 2013. (Gründruck)
- [43] Plinninger, R., Käsling, H., Thuro, K., Spaun, G. (2003): Testing conditions and geomechanical properties influencing the CHERCHAR abrasiveness index (CAI) value. *Int. JI. of Rock Mech. And Mining Sciences* 40 (2003), 259-263
- [44] Ramoni, M.; Anagnostou, G.: The Interaction Between Shield, Ground and Tunnel Support in TBM Tunnelling Through Squeezing Ground. *Rock Mech Rock Eng* (2011) 44:37-61. Springer.

- [45] Riedmüller, G., Schubert, W. (1999). Critical comments on quantitative rock mass classifications. *Felsbau* 17(3): 164-167
- [46] Shahriar, K., Sharifzadeh, M., Hamid, J.K. (2008): Geotechnical risk assessment based approach for rock TBM selection in difficult ground conditions
Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 23, Issue 3, May 2008, Pages 318-325
- [47] Sundaram, N.M.; Rafek, A.G. (1998): The influence of rock mass properties in the assessment of TBM performance. Aus: Moore, D; Hungr, O. (Hrsg.): *Proc. 8th IAEG Congress Vancouver (Balkema, Rotterdam) 1998*. S. 3553-3559.
- [48] Tentschert, E., Poisel, R. & Zettler, A (2005): Gefügeeinfluss auf TBM-Vortriebe. *Felsbau* 23 (5) pp. 42-47.
- [49] Thewes, M.: Adhäsion von Tonböden beim Tunnelvortrieb mit Flüssigkeitschilden. *Ber. Bodenmech. u. Grundbau Bergische Univ./GH Wuppertal FB Bau*, Band 21. Dissertation 1999.
- [50] Thuro, K.; Plinninger, R.(2001): Bohren, Sprengen, Fräsen. Können die geologischen Faktoren der Gebirgslösung quantifiziert werden? In: *Felsbau*, 19/5, S. 114-121.
- [51] Türtscher, M.; Schneider, E.: ABROCK – Entwicklung eines neuen Modells zur Prognose von Penetration und Meißelverschleiß für TBM-Vortriebe im Festgestein. *Brenner Congress 2012*. Ernst & Sohn.
- [52] Vavrovsky, G.M., (1987) Entspannung, Belastungsentwicklung und Versagensmechanismen bei Tunnelvortrieben mit geringer Überlagerung, Dissertation Montanuniversität Leoben
- [53] Vigl, A.: Classification strategies in TBM-tunnelling. In: *Felsbau* 19 (2001), No. 4, pp. 49-52.
- [54] Vigl, A.: Zusammenspiel zwischen Geotechnik und Vortriebstechnik. Aus: Poisel, R.; Tentschert, E. (Hrsg.): *Einsatzmöglichkeiten von Tunnelbohrmaschinen im Flysch*. Schwerpunktseminar 12.5.1999 Wien (Eigenv.) 1999. (=Mitt. f. Ingenieurgeologie und Geomechanik) S. 143-149.
- [55] Vigl, A.; Benedikt, J. ; Eder, M. ; Rüegg, Ch. ; Lemmerer, J.: Vergleichende Risikoanalyse für konventionellen Vortrieb und TBM-Vortrieb. In: *Felsbau* 20 (2002), No. 5, pp. 56-64.
- [56] Vigl, A.; Jäger, M.: Double shield TBM and open TBM in squeezing rock – a comparison. Golser, Hinkel & Schubert (Eds.): *Tunnels for people*. World tunnel congress 97, Vienna. Rotterdam: Balkema, 1997.
- [57] Wendl, Katharina (2012): Ingenieurgeologische Vortriebsdokumentation und Auswertung von Hydroschildvortrieben - *Münchener Geowissenschaftliche Abhandlungen Reihe B: Ingenieurgeologie, Hydrogeologie, Geothermie* Band 18.

- [58] Yagiz, S. (2008): Utilizing rock mass properties for predicting TBM performance in hard rock condition.- *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 23, Issue 3, May 2008, pp. 326-339.
- [59] Yamamoto, T.; Shirasagi, S., Yamamoto, S., Mito, Y., Aoki, K. (2003): Evaluation of the geological condition ahead of the tunnel face by geostatistical techniques using TBM driving data.- *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 18, Issues 2-3, April-June 2003, pp. 213-221.

8 Anhang A: Übersichtstabellen Kennwerte

Die nachfolgenden Tabellen geben einen beispielhaften Überblick über mögliche Kennwerte. Die für das jeweilige Vorhaben maßgebenden Parameter sind projektspezifisch auszuwählen und erforderlichenfalls zu ergänzen.

8.1 Übersichtstabelle Kennwerte Festgestein

Eigenschaft	Kennwert	Abk.	Einheit
Festgestein			
Festigkeit	einaxiale Druckfestigkeit	UCS	MPa
	Spaltzugfestigkeit	$\sigma(sz)$	MPa
	Punktlastindex	I_{s50}	MPa
	Elastizitätsmodul / Verformungsmodul	E, V	MPa
	Poissonzahl	ν	
	Zähigkeit		-
	Drillability Index	DRI	-
Dichte	Rohdichte	ρ_R	g/cm ³
	Korndichte	ρ_s	g/cm ³
	Porosität	P	%
Abrasivität	Gesamtmineralogie und äquivalenter Quarzgehalt	Equ	%
	CERCHAR-Index	CAI	-
	Rock Abrasivity Index (LCPC-Test)	RAI	-
	Cutter Life Index	CLI	-
Zustands- und Volumenänderungen	Veränderlichkeit		
	Wasserempfindlichkeit		
	Quellen (Quelldruck / Quellhebungen)	σ / h	MPa/%
	Schwellen (Schwelldruck / Schwellhebungen)	σ / h	MPa/%
Verklebung	Verklebungspotential (ggf. untersucht an einer entsprechend aufbereiteten (veränderten) Probe)		

Tabelle 3: Übersichtstabelle Kennwerte Festgestein

8.2 Übersichtstabelle Kennwerte Lockergestein

Lockergestein			
Kornzusammensetzung	Petrographische Bestandteile		%
Korngrößenverteilung	Korngrößenverteilung (Sieblinie)		%
Korngeometrie	Kornform, Kornrundung		
Konsistenz	Atterberg'sche Zustandsgrenzen	w_s, w_l, w_p	%
	Plastizitätsindex	I_p	-
	Konsistenzzahl	I_c	-
Festigkeit	Scherfestigkeit	τ	kPa
	Effektiver Reibungswinkel	Φ'	°
	Drainierte Kohäsion	c'	kPa
	Undrainierte Kohäsion	c_u	kPa
Verformbarkeit (Zusammen- drückbarkeit)	Elastizitätsmodul (E-Modul), für Be-, Ent- Wiederbelastung	E	MPa
	Querdehnzahl	ν	-
	Schubmodul	G	MPa
	Kompressionsmodul	K	MPa
	Steifemodul	E_s	MPa
	Verformungsmodul	E_v	MPa
	Kompressionsbeiwert	C_c	
Schwellbeiwert	C_s		
Dichte	Trockendichte, Feuchtdichte, Sättigungsdichte	ρ_d, ρ, ρ_{sat}	g/cm ³
	Korndichte	ρ_s	g/cm ³
	Porenanteil, Porenzahl	n, e	%, -
	Lagerungsdichte	D	-
	bezogene Lagerungsdichte	I_D	-
	Wassergehalt	w	%
Abrasivität	Äquivalenter Quarzgehalt	Equ	%
	LCPC-Abrasivitätskoeffizient	LAK	g/t
Verklebung	Verklebungspotential (siehe Konsistenz)		
Volumenänderungen	Quellen (Quelldruck / Quellhebungen)	σ / h	MPa/%
Wasser	Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte	k_f	m/s
Luft	Luftdurchlässigkeitsbeiwert	k_a	m/s

Tabelle 4: Übersichtstabelle Kennwerte Lockergestein

8.3 Übersichtstabelle Kennwerte Gebirge

Gebirge			
Primärspannung	Orientierung Hauptnormalspannung im Raum	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	MPa
Trennflächencharakteristik	Raumstellung in Bezug auf Tunnelachse		°
	Abstände, Zerlegungsgrad	Z	cm
	Besteige		
	Rauigkeit		
	Persistenz		
	Dilatanz		
	Scherfestigkeit	τ	MPa
Gebirgsfestigkeit	Rock Quality Designation	RQD	%
	Geological Strength Index	GSI	-
	Elastizitätsmodul, Verformungsmodul	E, V	MPa
Volumenänderungen	Schwell- / Quellhebung	h	%
	Schwell- / Quelldruck	σ	MPa
Durchlässigkeit	Durchlässigkeitsbeiwert	k_f	m/s
	Menge pro Zeiteinheit		l/s
Wasser	Druck	p	bar
	Niveau		
	Chemismus		-
Gas	Konzentration bezogen auf die untere Explosionsgrenze auf UEG	UEG	%

Tabelle 5: Übersichtstabelle Kennwerte Gebirge

9 Anhang B: Darstellungen der Bereiche für das Systemverhalten

Die schwarz dargestellten Teile (Texte und Zeichnung) der Systemskizzen entsprechen den Darstellungen in der ÖNORM B 2203 - 2. Die Abbildungen durften mit freundlicher Genehmigung des österreichischen Normungsinstitutes für diese Richtlinie verwendet werden.

9.1 Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten TBM-O

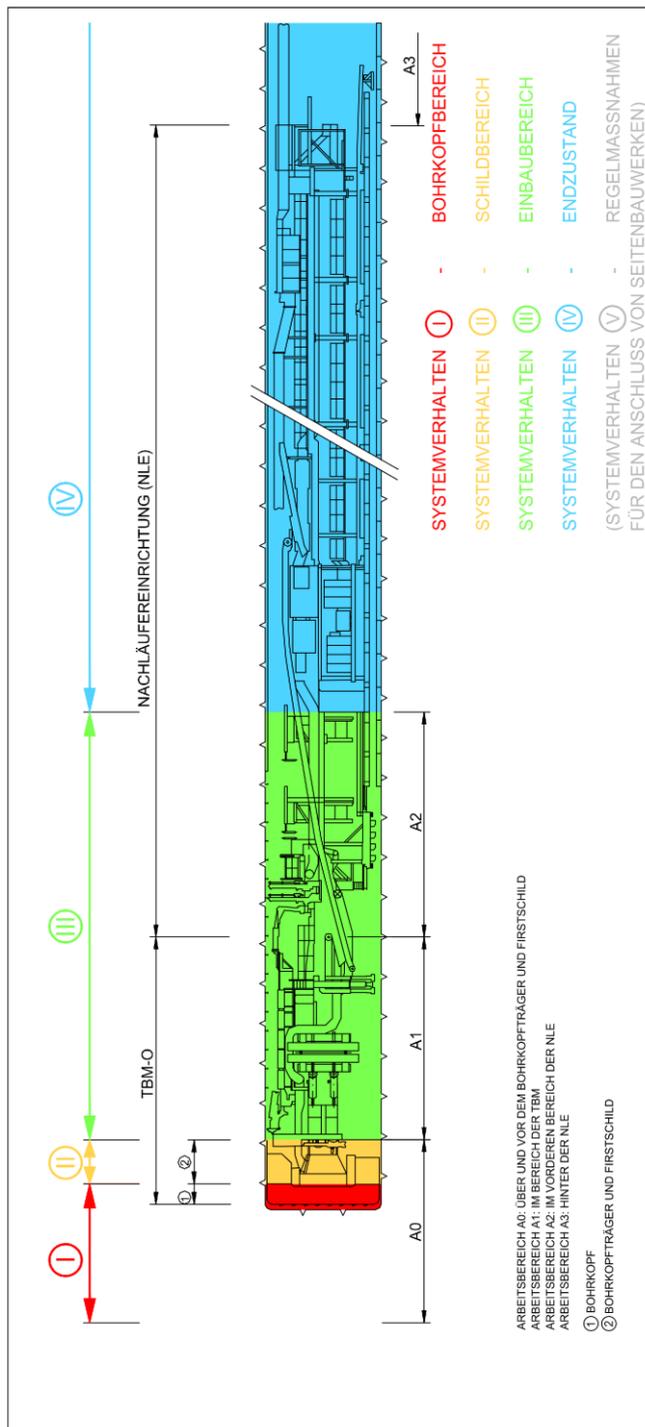


Abbildung 4: Systemskizze TBM-O

9.2 Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten TBM-S



Abbildung 5: Systemskizze TBM-S

9.3 Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten TBM-DS

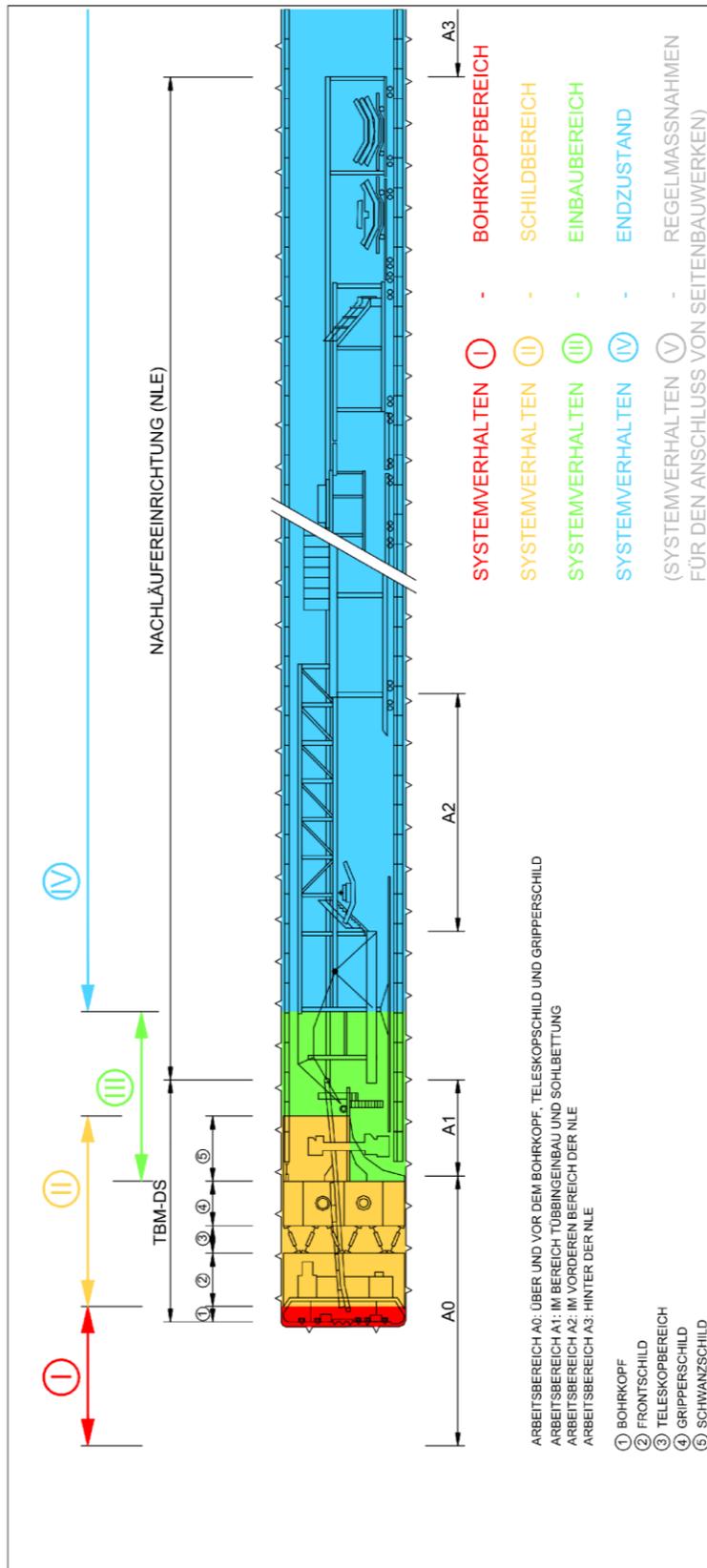


Abbildung 6: Systemskizze TBM-DS

9.4 Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten SM mit Flüssigkeitsstützung

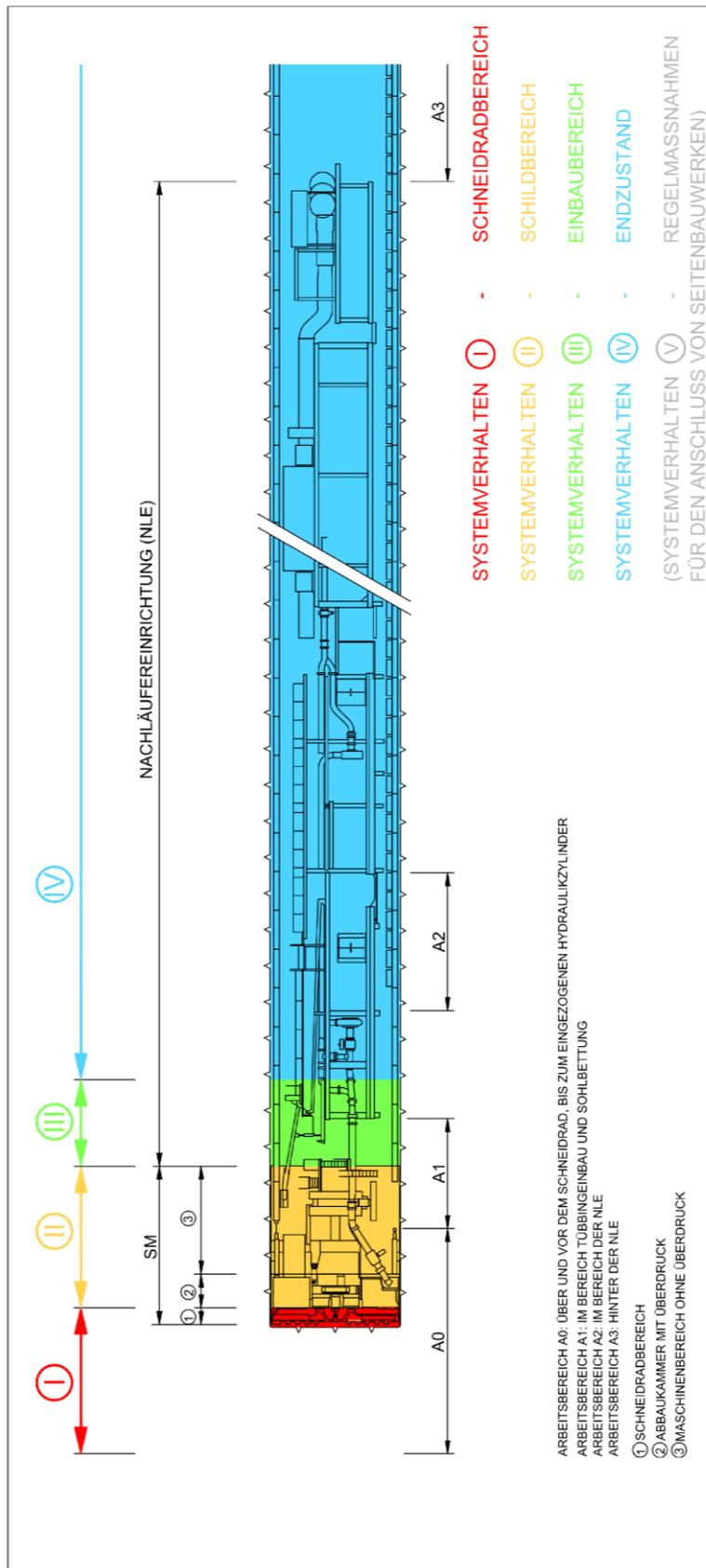


Abbildung 7: Systemskizze SM mit Flüssigkeitsstützung

9.5 Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten SM mit Erddruckstützung

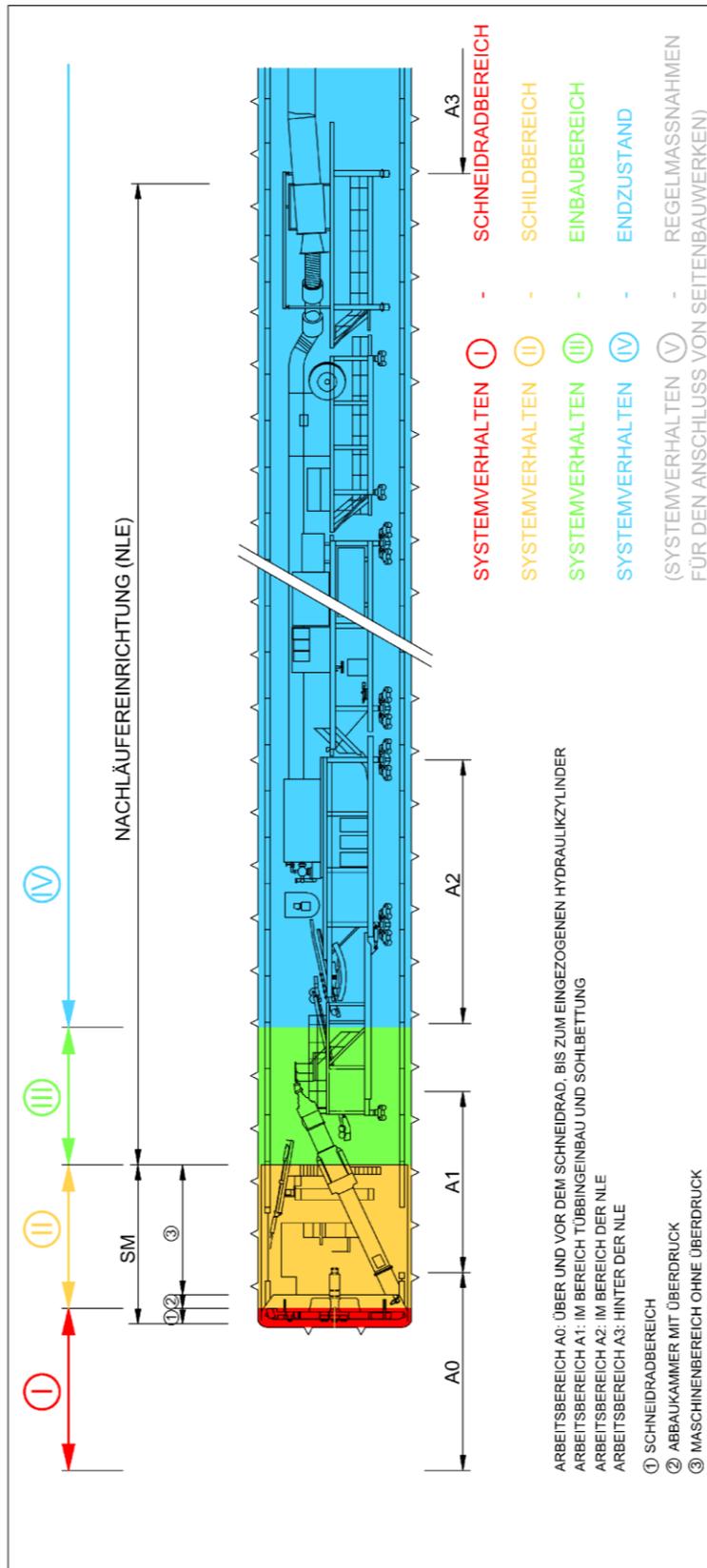


Abbildung 8: Systemskizze SM mit Erddruckstützung

AUSTRIAN
SOCIETY FOR
GEOMECHANICS

ÖSTERREICHISCHE
GESELLSCHAFT FÜR
GEOMECHANIK

Innsbrucker Bundesstraße 67
5020 Salzburg, Austria

Tel.: +43 662 875519
Fax: +43 662 886748
H.: www.OEGG.at
E.: Salzburg@OEGG.at