



AUSTRIAN
SOCIETY FOR
GEOMECHANICS



ÖSTERREICHISCHE
GESELLSCHAFT FÜR
GEOMECHANIK

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten Zyklischer und Kontinuierlicher Vortrieb

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

2023



Richtlinie

Geotechnische Planung von Untertagebauten Zyklischer und Kontinuierlicher Vortrieb

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

LEITUNG

(in alphabetischer Reihenfolge)

Bach Dietmar	IGT Geotechnik und Tunnelbau ZT GmbH
Moritz Adolf Bernd	ÖBB-Infrastruktur AG

MITGLIEDER DES ARBEITSKREISES

(in alphabetischer Reihenfolge)

Bach Dietmar	IGT Geotechnik und Tunnelbau ZT GmbH
Fasching Florian	3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH
Flora Matthias	Universität Innsbruck
Holzer Wolfgang	Risk Consult GmbH
John Max	Zivilingenieur für Bauwesen
Meier Alexander	Amberg Engineering AG
Moritz Adolf Bernd	ÖBB-Infrastruktur AG
Pilgerstorfer Thomas	Geoconsult ZT GmbH
Pointner Peter	Geoconsult ZT GmbH
Poisel Alexander	IGT Geotechnik und Tunnelbau ZT GmbH
Radoncic Nedim	Amberg Engineering AG
Schiesser Karl	PORR Bau GmbH
Sempelmann Franz	ASFINAG BMG
Steiger Rupert	Tiroler Wasserkraft AG
Steindorfer Albert	3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH
Vanek Robert	3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH
Wäger Robert	STRABAG SE
Wagner Oliver Kai	ÖBB-Infrastruktur AG

BEIRAT

(in alphabetischer Reihenfolge)

Barwart Christian	IGT Geotechnik und Tunnelbau ZT GmbH
Bitschnau Markus	Jäger Bau GmbH
Bonapace Paul	Tiroler Wasserkraft AG
Fromm Andreas	ASFINAG Bau Management GmbH
Grossauer Karl	iC consulenten ZT GesmbH
Heissenberger Roman	ÖBB-Infrastruktur AG
Jedlitschka Gernot	Geoconsult ZT GmbH
Leitner Wolfgang	PORR Bau GmbH
Schubert Wulf	Technische Universität Graz
Wageneder Johannes	Geoconsult ZT GmbH.
Wagner Hanns	ÖBB-Infrastruktur AG

REVIEW

Diese Richtlinie wurde zum Zwecke des Reviews allen Mitgliedern der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik zur Verfügung gestellt. Sämtliche Rückmeldungen wurden bearbeitet und die Ergebnisse den Reviewern zur Verfügung gestellt.

© ÖGG, Salzburg, 26. September 2023

INHALTSVERZEICHNIS

1. Vorwort	1
2. Zielsetzung	3
3. Begriffe	5
4. Abkürzungen	12
5. Phase 1 - Planung	13
5.1. Grundsätzlicher Ablauf	13
5.2. Bestimmung der Gebirgsarten	17
5.3. Bestimmung des Gebirgs- und Ortsbrustverhaltens	20
5.4. Wahl des Tunnelbautechnischen Konzepts	24
5.5. Tragelemente des Hohlraums	24
5.6. Festlegung bautechnischer Maßnahmen und Ermittlung des Systemverhaltens	25
5.7. Prognose- und Planungssicherheit	32
5.8. Einteilung des Vortriebs / Vortriebsklassen	32
5.9. Festlegung der Maßnahmen für den Endzustand	32
5.10. Berichtswesen	33
6. Phase 2-Bauausführung	38
6.1. Grundsätzlicher Ablauf	38
6.2. Tunnelbautechnische Rahmenplanung	40
6.3. Bestimmung der aktuellen Gebirgsart und Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse	43
6.4. Festlegung von bautechnischen Maßnahmen	44
6.5. Überprüfung des beobachteten Systemverhaltens	46
6.6. Fortschreibung der Planung	47
7. Geotechnisches Sicherheitsmanagement	48
7.1. Einleitung	48
7.2. Ziel	48
7.3. Planungsphase	48
7.4. Bauausführungsphase	49
8. Literaturverzeichnis	53
Anhänge	58
Anhang A: ÜBERSICHTSTABELLEN PARAMETER	
Anhang B: BEISPIEL RISIKOANALYSE	
Anhang C: GEOTECHNISCHE DOKUMENTATION BEI TVM VORTRIEBEN mit TBM-DS und TBM-S	

1. VORWORT

Die Österreichische Gesellschaft für Geomechanik hat sich in ihrer Satzung den Erfahrungs- und Gedankenaustausch sowie die Verbesserung auf dem Gebiet der Planung von Bauwerken im Boden und Fels zum Ziel gesetzt.

Als ein Ergebnis dieser Bemühungen wurde 2001 die „Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauwerken mit zyklischem Vortrieb“ in der ersten Version herausgegeben. Anlass für die Herausgabe der Richtlinie war die Überarbeitung der Werkvertragsnorm ÖNORM B 2203-1 „Untertagebauarbeiten – zyklischer Vortrieb“ (2001). In Ergänzung zur zyklischen Richtlinie wurde 2013 die „Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb“ erstellt.

Im Anschluss an die Überarbeitung der 3. Überarbeitung der „Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb“ (2021) wurde entschieden, beide Richtlinien zu vereinen, da ein Großteil der Planungsschritte ident ist. Um dem Charakter einer Werkvertragsnorm zu entsprechen, wird auch in der überarbeiteten ÖNORM B 2203-1 [1] und ÖNORM B 2203-2 [2] auf Belange der Geotechnischen Planung (z.B. Gebirgscharakterisierung) nicht eingegangen, sondern auf die hier vorliegende Richtlinie der ÖGG verwiesen.

Die wesentlichsten Änderungen und Ergänzungen sind nachfolgend angeführt:

- Zusammenführung der beiden Richtlinien für zyklischen und kontinuierlichen Vortrieb
- Ergänzung von Begriffen
- Überarbeitung Kapitel Gebirgsarten
- Detaillierung Berichtswesen
- Einführung Ortsbrustverhalten
- Einführung Systemverhaltenstyp
- Festlegung der Maßnahmen für den Endzustand
- Einführung Kapitel Prognose- und Planungssicherheit
- Unterscheidung Tunnelbautechnische Prognose und Tunnelbautechnische Rahmenplanung
- Überarbeitung Geotechnisches Sicherheitsmanagement
- Einführung von Parametertabellen zur Beschreibung des Baugrunds

Die Stabilität eines untertägigen Hohlraumes ist eine der primären Fragestellungen bei der Planung und im Bau. Je nach geotechnischen Verhältnissen und Einflussfaktoren ergeben sich unterschiedliche Versagensmechanismen. In Abhängigkeit von diesen sowie von projektspezifischen Anforderungen und Randbedingungen sind bautechnische Maßnahmen erforderlich, welche die Stabilität des Hohlraumes sicherstellen. Auf Grund der Variabilität der geotechnischen Verhältnisse unterscheidet sich die Planung von untertägigen Bauwerken wesentlich von jener anderer Ingenieurbauwerke, bei welchen das statische System, die Belastungen und die Charakteristika der verwendeten Materialien vergleichsweise gut definiert

werden können.

Auf Grund der inhärenten Unsicherheiten im Baugrundmodell können die mit dem Bau verbundenen Risiken nur abgeschätzt werden. Dieser Umstand bedingt eine laufende Anpassung der bautechnischen und maschinentechnischen Maßnahmen an das angetroffene Gebirge (Beobachtungsmethode [3]) und erfordert ein Sicherheitsmanagementsystem [46] [47].

Im Zuge aller Phasen der Planung eines Untertagebauwerkes sind zwei Aspekte bedeutsam. Der Erste ist die Erstellung eines möglichst realistischen Baugrundmodells und die Ermittlung des potenziellen Verhaltens des Gebirges als Folge des Ausbruches. Der zweite Aspekt umfasst den Entwurf von Methoden des Ausbruches und der Stützung zur Erzielung eines akzeptablen Systemverhaltens.

Die Planung wird mit zunehmendem Informationsstand laufend fortgeschrieben und präzisiert. Zur Verfeinerung des Baugrundmodells ist die Einbindung von einschlägigen Fachleuten aus dem Gebiet der Geologie und Geotechnik in allen Phasen eines Projektes erforderlich.

Naturgemäß steht das den Hohlraum umgebende Gebirge mit den Wechselbeziehungen zwischen dessen Eigenschaften und den bautechnischen Eingriffen im Zentrum der Betrachtungen. Räumliches Zusammenwirken spielt dabei ebenso eine Rolle wie zeitabhängige und beanspruchungsabhängige Vorgänge.

Auf Grund der Komplexität der Zusammenhänge und der Problematik der Prognose entsprechender Gebirgseigenschaften zielt die Geotechnische Planung vorrangig auf eine stetige Verfeinerung der Prognosen und Entscheidungsgrundlagen ab. Ihre tragende Säule ist neben dem fachlichen Qualitätsanspruch die Systematik der Vorgehensweise sowie die Nachvollziehbarkeit von Schlussfolgerungen und Entscheidungen. Die Unsicherheiten im Baugrundmodell sollen in der Planung berücksichtigt werden.

Das Zusammenspiel zwischen der geotechnischen und statisch-konstruktiven Planung wird ebenso wie deren Bedeutung und Rolle für die Standsicherheit des Bauwerkes sehr unterschiedlich sein und maßgebend von den Randbedingungen des Projektes, den Eigenschaften des Gebirges und der Wahl der Vortriebsmethode beeinflusst. Hinsichtlich der statisch-konstruktiven Planung wird auf die RVS 09.01.42 verwiesen [4].

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 enthält eine Verfahrensanleitung, welche die wesentlichen Aufgaben strukturiert sowie zeitlich und inhaltlich einander zuordnet. Als technische Richtlinie vermeidet sie bewusst, auf die Risiko- und Verantwortungsteilung sowie der sich daraus ergebenden Kompetenz- und Aufgabenzuordnung einzugehen. Die Richtlinie beinhaltet keine detaillierten Aufgabenbeschreibungen für Ingenieurleistungen.

2. ZIELSETZUNG

Ziel der Geotechnischen Planung ist die wirtschaftliche Optimierung der bautechnischen Maßnahmen unter Nutzung der vor Ort anstehenden Gebirgsverhältnisse bei Gewährleistung der jeweiligen Sicherheits- und Umwelterfordernisse, der Langzeitstabilität und Nutzungsdauer.

Dieser Anspruch ist von vielen Unsicherheiten bezüglich Gebirgsbeschaffenheit, Materialverhalten, Spannungssituation und Bergwasserverhältnissen geprägt. Im Vordergrund der Betrachtung stehen daher stets die Gebirgseigenschaften sowie das damit in Zusammenhang stehende Gebirgsverhalten.

Existierende, schematisierte Bewertungsverfahren für das Gebirgsverhalten und die davon abgeleiteten bautechnischen Maßnahmen wurden jeweils für spezielle Gebirgsverhältnisse entwickelt, weshalb die Anwendung solcher Bewertungsverfahren mangels Nachvollziehbarkeit und allgemeiner Gültigkeit häufig für die Bestimmung von bautechnischen Maßnahmen nicht zielführend ist [5]. Eine aus technischer, wie wirtschaftlicher Sicht zielführende Planung und Bauausführung kann daher letztlich nur durch eine gebirgs- und projektspezifische Vorgangsweise sichergestellt werden.

Um trotz aller Unsicherheiten eine nachvollziehbare ingenieurmäßige Planung zur Herstellung von untertägigen Hohlräumen sicherzustellen, ist in mehreren Schritten vorzugehen. Dabei sind Vorkehrungen für eine bestmögliche Anpassung der Baumaßnahmen an die jeweiligen Verhältnisse vor Ort zu treffen.

Damit erstreckt sich die Geotechnische Planung über die folgenden zwei Phasen:

PHASE 1: PLANUNG

Diese Phase beinhaltet die

- Ermittlung der erwarteten Gebirgseigenschaften
- Einteilung in Gebirgsarten
- Ermittlung des erwarteten Gebirgs- und Ortsbrustverhaltens, welches in übergeordnete Kategorien eingeteilt werden soll (Verhaltenstypen)
- Wahl des Tunnelbautechnischen Konzepts
- Festlegung der bautechnischen Maßnahmen unter Berücksichtigung der aktuellen Randbedingungen
- Ermittlung und Prognose des Systemverhaltens
- Einteilung des Vortriebs / Vortriebsklassen
- Erstellung des Geotechnischen Sicherheitsmanagementplans (Soll-Verhalten, Warn- und Alarmkriterien)

Die Resultate der Planung sind in einem Geotechnischen Bericht inklusive Tunnelbautechnischem Prognoselängenschnitt zusammenzufassen. Im Geotechnischen Bericht ist nachvollziehbar darzustellen, welche Gebirgsverhältnisse sowie sonstige Annahmen und Rahmenbedingungen der Planung zu Grunde gelegt wurden.

PHASE 2: BAUAUSFÜHRUNG

In der Bauausführung werden die geotechnisch relevanten Gebirgseigenschaften erfasst und anhand der Identifikationsparameter die aktuelle Gebirgsart bestimmt. Auf Basis der ermittelten Gebirgsart wird unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren das aktuelle Systemverhalten im Ausbruchbereich und im gesicherten Bereich beobachtet und evaluiert. Die bautechnischen Maßnahmen werden unter Beachtung der Vorgaben des Tunnelbautechnischen Rahmenplans und des Geotechnischen Sicherheitsmanagementplans festgelegt.

Eine laufende Fortschreibung der Geotechnischen Planung, insbesondere des Tunnelbautechnischen Rahmenplanes für die noch nicht aufgefahrenen Bereiche des Hohlraumbauwerkes, ist auf Basis der zunehmenden Erkenntnisse über den Baugrund und das beobachtete Systemverhalten erforderlichenfalls durchzuführen, um die Standsicherheit zu gewährleisten und eine wirtschaftliche Optimierung zu erlauben.

In beiden 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 Informationen, welche über die Gebirgseigenschaften sowie das Gebirgs- und Systemverhalten während der Herstellung der Untertagebauten Auskunft geben können, zu dokumentieren, aufzubereiten und zu analysieren.

3. BEGRIFFE

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die Begriffe nach ÖNORM B 2203-1 [1] und ÖNORM B 2203-2 [2] und die nachfolgenden Begriffe:

AUSBRUCHBEREICH

Bereich des ausgeführten Abschlags eines Voll- oder Teilquerschnittes von der Ortsbrust bis zum Beginn des gesicherten Bereichs.

Der Ausbruchbereich ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

BAUTECHNISCHE MASSNAHMEN

Alle Maßnahmen, welche beim Auffahren eines untertägigen Hohlraums zum Einsatz gelangen.

Darunter fallen:

- Ausbruch mit/ohne Querschnittunterteilung, Ausbruch in Teilflächen, Festlegungen zur Längsentwicklung für den zyklischen Vortrieb
- Maschinentechnische Anlagen für den kontinuierlichen Vortrieb
- Stützmaßnahmen [gem. Definition ÖNORM B 2203-1 und ÖNORM B 2203-2]
- Zusatzmaßnahmen [gem. Definition ÖNORM B 2203-1 und ÖNORM B 2203-2]
- Sondermaßnahmen [gem. Definition ÖNORM B 2203-1 und ÖNORM B 2203-2]
- Bauhilfsmaßnahmen, wie z.B. Maßnahmen zur Grund-/ Bergwasserhaltung

ENDZUSTAND PRIMÄRE STÜTZUNG

Jener Bereich, in dem alle primären Stützmittel im Gesamtquerschnitt eingebaut sind und die projektspezifischen Kriterien für den Einbau eines Innenausbaus gegeben sind.

Der Bereich „Endzustand Primäre Stützung“ ist in Abbildung 1 bzw. Abbildung 2 schematisch dargestellt.

ENDZUSTAND SEKUNDÄRE STÜTZUNG

Jener Bereich, in dem auch die Innenschale eingebaut ist. Bei einschaliger Bauweise entfällt dieser Zustand.

Der Bereich „Endzustand Sekundäre Stützung“ ist in Abbildung 1 bzw. Abbildung 2 schematisch dargestellt.

FESTGESTEIN

Gestein aus i.d.R. mineralischen Bestandteilen, die eine chemisch- mineralische Bindung aufweisen. Seine Eigenschaften werden durch die Beschaffenheit der Minerale bzw. Bestandteile (Art, Größe, Menge, Ausbildung, Anordnung) sowie durch die Eigenschaften der Bindung bestimmt.

GEBIRGE

Teil der Erdkruste, aufgebaut aus Gestein(en), einschließlich Trennflächen und Hohlräumen mit Füllungen aus flüssigen oder gasförmigen Bestandteilen; oft mit anisotropen Eigenschaften.

GEBIRGSART

Gebirgsvolumen, das in seinen maßgebenden, das geotechnische Verhalten beeinflussenden Eigenschaften innerhalb einer festzulegenden Bandbreite gleichartig ist.

Anmerkung: Der Größenmaßstab der räumlichen Erstreckung einer Gebirgsart ist im Rahmen der Planung zu definieren und hat den Größenbezug zum geplanten Bauwerk zu berücksichtigen.

GEBIRGSBEREICH

Gebirgsabschnitt entlang des Tunnels, der ähnlichen geologischen Aufbau und ähnliche hydrogeologische Verhältnisse aufweist. Er wird durch zumindest eine, in der Regel jedoch durch mehrere Gebirgsarten aufgebaut.

GEBIRGSVERHALTEN

Reaktion des Gebirges auf die hergestellte Hohlräumlaibung des Gesamtquerschnittes ohne Berücksichtigung von bautechnischen Maßnahmen.

GEBIRGSVERHALTENSTYPEN

Übergeordnete Kategorien von vergleichbarem Gebirgsverhalten in Bezug auf Verformungscharakteristika und Versagensmechanismen.

GEOTECHNISCHER SICHERHEITSMANAGEMENTPLAN

Projektspezifisches Dokument zur Steuerung und Kontrolle der geotechnischen Restrisiken.

GESICHERTER BEREICH

Abschnitte mit eingebauter primärer Stützung bis zum „Endzustand primäre Stützung“. Diese umfassen sowohl den Bereich, in dem nur ein Teil der Stützmittel eingebaut ist, als auch den Bereich mit vollständig eingebauten Stützmitteln.

Der gesicherte Bereich für den zyklischen Vortrieb und für den kontinuierlichen Vortrieb ist in Abbildung 1 bzw. Abbildung 2 schematisch dargestellt.

GESTEIN

Durch natürliche Vorgänge entstandene Vereinigung aus meist anorganischen/mineralischen und ggf. amorphen oder organischen Bestandteilen. Diese ist gekennzeichnet durch die Art, Menge, Ausbildung und räumliche Anordnung der auftretenden Bestandteile sowie eine eventuelle chemische Bindung und/oder physikalische Bindungskräfte zwischen den Bestandteilen.

GESTEINSART

Locker- und Festgestein mit gleichartigen Eigenschaften.

IDENTIFIKATIONSPARAMETER

Parameter, die in der Ausschreibungsphase festzulegen sind, um in der Ausführungsphase vor Ort eine Identifizierung und Abgrenzung der Gebirgsarten zu ermöglichen.

Anmerkung: Die „Identifikationsparameter“ zielen auf eine rasche und objektive Identifizierung der Gebirgsarten im Zuge der baugelogeischen Dokumentation ab. Allfällige weitere ausführungrelevante baugelogeische Charakteristika werden als „ergänzende Parameter“ den Gebirgsarten zugewiesen.

KURZZEITPROGNOSE

Prognose der Gebirgsverhältnisse und des Systemverhaltens für das vor der Ortsbrust anstehende Gebirge.

LOCKERGESTEIN

Gestein aus anorganischen/mineralischen und gegebenenfalls organischen Bestandteilen ohne maßgebliche chemisch-mineralische Bindung. Seine Eigenschaften werden vorwiegend durch die Beschaffenheit der Bestandteile (Art, Menge, Größe, Form), die Lagerungsdichte und den Wassergehalt bestimmt.

NEUBRUCH

Flächige, i.a. vollständige Unterbrechung des mechanischen Zusammenhanges im Gestein, entstanden infolge der Vortriebstätigkeiten.

ORTSBRUSTVERHALTEN

Verhalten der Ortsbrust bezogen auf den Gesamtquerschnitt ohne Berücksichtigung von bautechnischen Maßnahmen.

QUELLFÄHIGKEIT

Volumsvergrößernde Eigenschaften von Gesteinen bei Wasseraufnahme durch physikalische Vorgänge (z.B. quellfähige Tone)

SCHILDSPALT

Raum zwischen dem Ausbruchsrund und der Außenfläche des Schildes.

SCHWELLFÄHIGKEIT

Volumsvergrößernde Eigenschaften von Gesteinen bei Wasseraufnahme durch chemisch-kristallographische Vorgänge (z.B. Anhydrit → Gips).

SYSTEMSICHERHEIT

Aufrechterhaltung der Funktion des Vortriebssystems ohne Gefährdung von Mensch, Maschine und Ausbau bei lokalem Versagen des Gebirges.

SYSTEMVERHALTEN

Verhalten des Systems aus Gebirge und gewählten bautechnischen Maßnahmen.

Die Unterteilungen in den folgenden Abbildungen beziehen sich auf geotechnisch relevante Aspekte. Diese stellen Ergänzungen zu [1] und [2] dar.

Unterteilt für den zyklischen Vortrieb in (Abbildung 1):

- Systemverhalten im Ausbruchbereich
- Systemverhalten im gesicherten Bereich
- Systemverhalten im Bereich Endzustand primäre Stützung
- Systemverhalten im Bereich Endzustand sekundäre Stützung

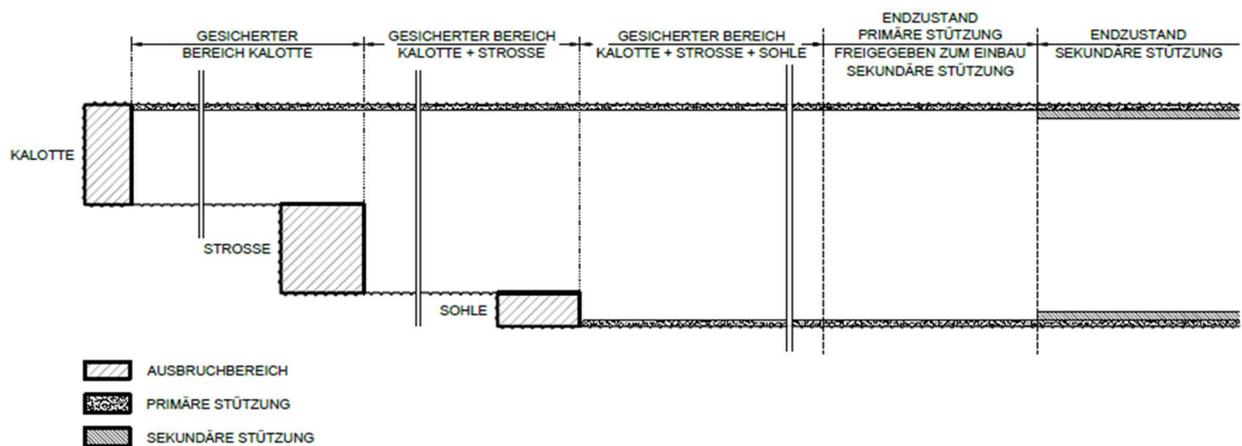


Abbildung 1: Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten für zyklischen Vortrieb (gilt sinngemäß für andere Wahl der Teilquerschnitte)

Für den kontinuierlichen Vortrieb in Abhängigkeit des TVM-Typs Unterteilung in (Abbildung 2):

- Systemverhalten im Bohrkopf-/ Schneidradbereich
- Systemverhalten im Schildbereich
- Systemverhalten im Einbaubereich
- Systemverhalten im Bereich Endzustand primäre Stützung
- Systemverhalten im Bereich Endzustand sekundäre Stützung

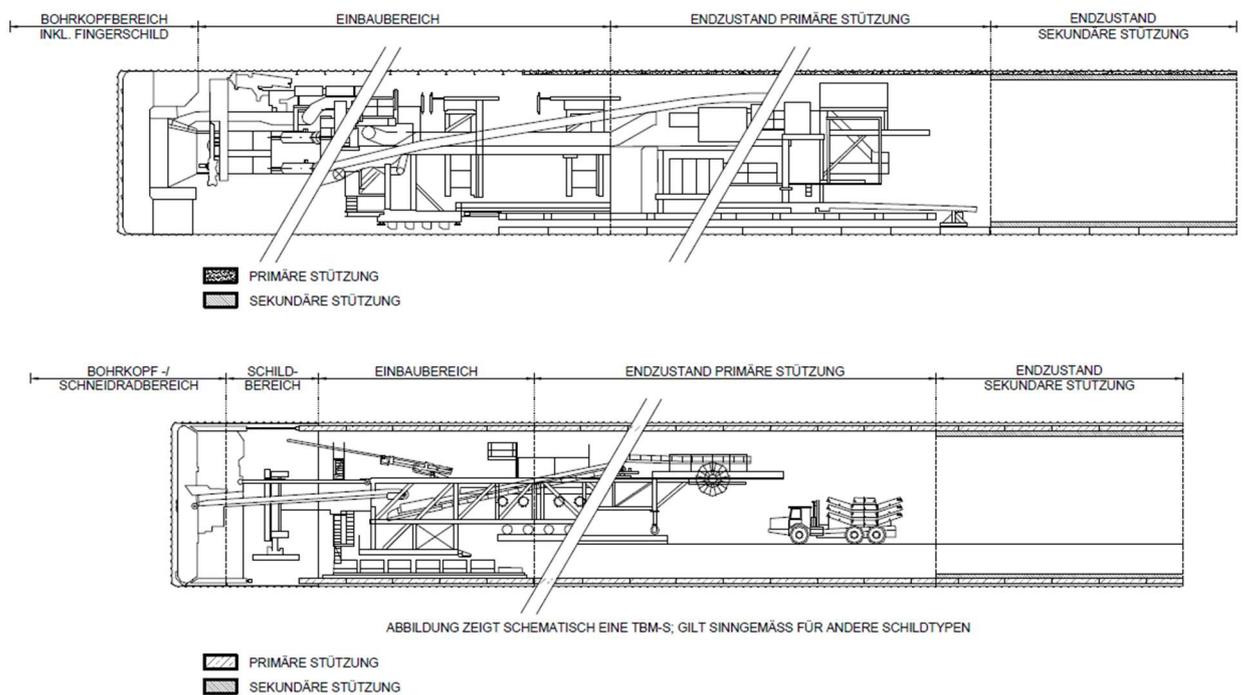


Abbildung 2: Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten für kontinuierlichen Vortrieb mittels TBM-O und für TVM-Vortriebe mit Tübbingausbau

SYSTEMVERHALTENSTYP

Kategorie von vergleichbarem Systemverhalten in Bezug auf Charakteristiken des beobachtbaren Systemverhaltens.

TRENNFLÄCHEN

Flächig ausgedehnte i.a. vollständige Unterbrechung des mechanischen Zusammenhanges im Gestein, entstanden im Zuge der Genese des Gesteins und/oder durch tektonische, bruchhafte Überbeanspruchung des Materials.

TUNNELBAUTECHNISCHER PROGNOSELÄNGENSCHNITT

Zusammenfassende Darstellung der maßgebenden Parameter der Geotechnischen Planung und der bautechnischen Maßnahmen für die Phase 1 – Planung.

Anmerkung: Dieser Plan ist Teil der Ausschreibungsunterlagen.

TUNNELBAUTECHNISCHER RAHMENPLAN

Zusammenfassende Darstellung der maßgebenden Parameter der Geotechnischen Planung und Zuordnung der erforderlichen bautechnischen Maßnahmen entlang des Hohlraums für die Phase 2 – Bauausführung.

Anmerkung: Dieser Plan enthält die planerischen Vorgaben für die Bauausführung.

TUNNELBAUTECHNISCHES KONZEPT

Umfasst die grundsätzliche Konzeption für das Auffahren eines untertägigen Hohlraums.

VERÄNDERLICHKEIT DES GESTEINS

Änderung der Festigkeitseigenschaften eines Gesteins infolge atmosphärischer (Trocknung, Wassereinwirkung), mechanischer und dynamischer Einwirkung (Be- oder Entlastungsvorgänge).

4. ABKÜRZUNGEN

Bezeichnung	Abkürzung
GEBIRGSART	GA
GEBIRGSBEREICH	GB
GEBIRGSVERHALTEN	GV
GEBIRGSVERHALTENSTYP	GVT
GEOTECHNISCHER SICHERHEITSMANAGEMENTPLAN	GTSMP
ORTSBRUSTVERHALTEN	OV
ORTSBRUSTVERHALTENSTYP	OVT
SYSTEMVERHALTEN	SV
BEOBACHTETES SYSTEMVERHALTEN	SV _b
PROGNOSTIZIERTES SYSTEMVERHALTEN	SV _p
SYSTEMVERHALTENSTYP	SVT
OFFENE TUNNELBOHRMASCHINE	TBM-O
TUNNELBOHRMASCHINE MIT EINFACHSCHILD	TBM-S
TUNNELBOHRMASCHINE MIT DOPPELSCHILD	TBM-DS
TUNNELBAUTECHNISCHER PROGNOSELÄNGENSCHNITT	PLS
TUNNELBAUTECHNISCHER RAHMENPLAN	RPL
TUNNELVORTRIEBSMASCHINE	TVM

5. PHASE 1 - PLANUNG

5.1. Grundsätzlicher Ablauf

Das Flussdiagramm (Abbildung 3) zeigt den grundsätzlichen Ablauf der Geotechnischen Planung von der „Bestimmung der Gebirgsart“ bis hin zur Erstellung des Geotechnischen Berichts. Statistische und/oder probabilistische Methoden sollen verwendet werden, um der Variabilität und den Unsicherheiten in Bezug auf Kennwerte und Einflussfaktoren Rechnung zu tragen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen dienen als Basis für Risikoanalysen.

Der Ablauf gliedert sich in folgende Schritte:

1. Schritt – Bestimmung der Gebirgsarten

Basierend auf der geologisch-geotechnischen Erkundung und dem daraus resultierenden geologischen Modell werden für Gebirgsvolumina, die in Bezug auf ihre Eigenschaften gleichartig sind, Gebirgsarten definiert. Die geotechnisch relevanten Eigenschaften jeder Gebirgsart sind zu bestimmen und anzugeben. Die Parameter und deren Streubreite basieren auf den jeweils vorhandenen Erkundungsergebnissen und/oder auf geotechnisch fundierten Annahmen. Die Anzahl der zu bestimmenden Gebirgsarten ist projektspezifisch und ergibt sich aus den im Projektgebiet vorliegenden geologischen Verhältnissen.

2. Schritt - Ermittlung der Einflussfaktoren für das Gebirgs- und Ortsbrustverhalten

Es werden örtliche Einflussfaktoren ermittelt, welche das Gebirgs- und Ortsbrustverhalten maßgebend beeinflussen.

Diese umfassen:

- Bergwasserverhältnisse
- räumliche Orientierung der maßgebenden geologischen Strukturen in Bezug auf das Bauwerk
- Primärspannungszustand
- Abmessungen, Form und Lage der Bauwerke/Bauteile

3. Schritt - Bestimmung des Gebirgs- und Ortsbrustverhaltens und Zuordnung zu Verhaltenstypen

Für Bereiche, welche in Bezug auf Gebirgsart und Einflussfaktoren gleichartig sind, wird das Gebirgs- und Ortsbrustverhalten analysiert. Auf Basis der ermittelten Gebirgskennwerte und der oben angeführten Einflussfaktoren werden, abgestimmt auf die Analysemethode, die Rechenwerte bestimmt. Die Ableitung der Rechenwerte ist projektspezifisch festzulegen und zu dokumentieren.

Es wird jenes Verhalten des Gesamtquerschnitts beschrieben, welches sich ohne Berücksichtigung von bautechnischen Maßnahmen für einen Vollausbuch hinsichtlich Standfestigkeit und potenziellen Versagensmechanismen einstellen würde.

Das jeweils ermittelte projektspezifische Gebirgsverhalten soll den übergeordneten Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen (Tabelle 1) zugeordnet werden. Bei Bedarf sollen die Gebirgsverhaltenstypen projektspezifisch detaillierter definiert und/oder unterteilt werden. Das Ortsbrustverhalten wird analog dem Gebirgsverhalten als Ortsbrustverhaltenstyp typisiert.

Die Gebirgs- und Ortsbrustverhaltenstypen sind einander zuzuordnen.

4. Schritt – Wahl eines Tunnelbautechnischen Konzeptes

Die Anforderungen an das Projekt sind festzulegen. Das Tunnelbautechnische Konzept muss diese berücksichtigen und umfasst u. a. Festlegungen zu:

- Wahl der Vortriebsart (zyklisch / kontinuierlich)
- Angriffspunkte
- Anzahl der Vortriebe
- zeitliche Abfolge der Vortriebe
- Vortriebsrichtung

5. Schritt - Festlegung der bautechnischen Maßnahmen und Ermittlung des Systemverhaltens

Die bautechnischen Maßnahmen werden in Art und Menge festgelegt und auf dieser Grundlage das Systemverhalten/Soll-Verhalten ermittelt. Bei der Charakterisierung des Systemverhaltens sind ggf. Lasten z.B. aus dem Gebirge, die erst zu einem Zeitpunkt nach Einbau der Innenschale auftreten, zu berücksichtigen (siehe 8. Schritt).

6. Schritt - Vergleich des Systemverhaltens mit den Anforderungen

Das ermittelte Systemverhalten wird abschließend mit den Anforderungen wie z.B. zulässige Oberflächensetzungen, Begrenzung des Wasserzutrittes, Systemverträglichkeit der Stützmittel verglichen. Wenn die Anforderungen nicht erfüllt sind, sind die Schritte 4 bzw. 5 so lange zu variieren, bis daraus ein akzeptables Systemverhalten resultiert.

7. Schritt – Einteilung des Vortriebs / Vortriebsklassen

In diesem Schritt werden die Bereiche für Vortriebsklassen, Sonder- und Zusatzmaßnahmen, sowie für Vortriebsunterbrechungen (gemäß ÖNORM B 2203-1) oder die Bereiche für Regelvortrieb, für Sondervortriebe und Ereignisbewältigungen (gemäß ÖNORM B 2203-2) ermittelt.

8. Schritt – Festlegung der Maßnahmen für den Endzustand

Primäre und/oder sekundäre Stützung sind auf auftretende Belastungen im Endzustand (z.B. Quellen, langanhaltende Verschiebungszunahmen) zu bemessen.

9. Schritt – Erstellung des Geotechnischen Berichtes

Auf Basis der Schritte eins bis acht der Geotechnischen Planung ist ein Geotechnischer Bericht zu erstellen.

ERSTELLUNG DER AUSSCHREIBUNGSUNTERLAGEN

Für die Ausschreibung wird ein Bericht „Geotechnische Prognose“ erstellt. Dieser enthält eine Zusammenfassung der geologischen, hydrogeologischen Grundlagen und der Geotechnischen Planung mit einer projektspezifischen Festlegung von geotechnischen und tunnelbautechnischen Parametern als Kalkulationsgrundlagen (siehe Anhang A). Ergänzend ist ein Tunnelbautechnischer Prognoselängenschnitt und ein Geotechnischer Sicherheitsmanagementplan zu erstellen.

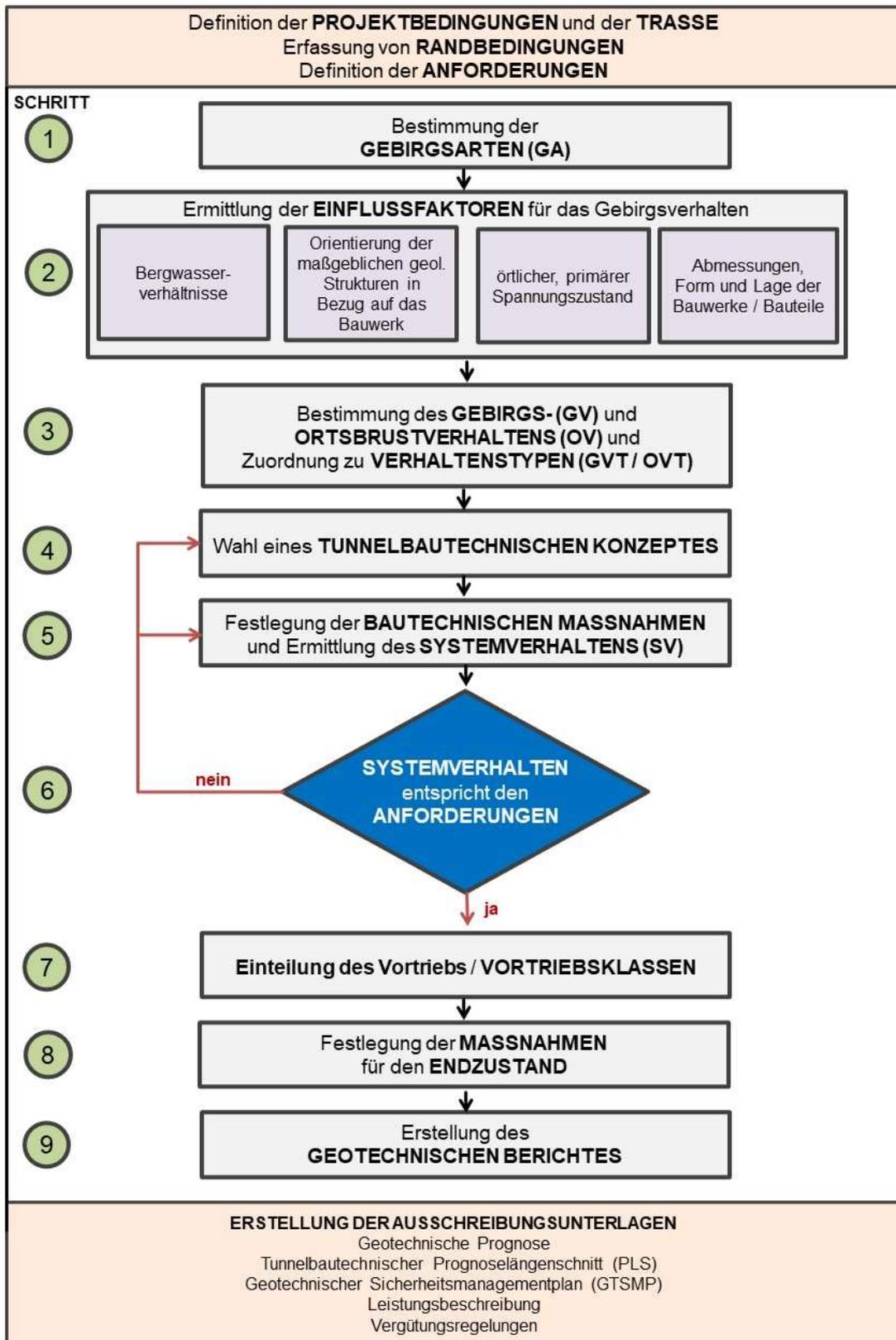


Abbildung 3: Schematischer Ablauf der Geotechnischen Planung, Phase 1

5.2. Bestimmung der Gebirgsarten

5.2.1. Definition und Abgrenzung von Gebirgsarten

Unter Gebirgsart versteht man ein Gebirgsvolumen, welches gleichartig ist in Bezug auf Eigenschaften, wie:

- im Festgestein: Festigkeits- und Verformungseigenschaften (Gestein und Gebirge), Trennflächengefüge und -eigenschaften, Gesteinsart und -zustand, Zustands- und Volumenänderung, hydraulische Eigenschaften
- im Lockergestein: Festigkeits- und Verformungseigenschaften, physikalische Eigenschaften des Korngemisches, Eigenschaften der Komponenten, Eigenschaften der Matrix, Volumenänderung, Wassergehalt, hydraulische Eigenschaften

Verschiedene Gebirgsarten weisen unterschiedliche Charakteristika auf, welche sich auf deren Verhalten auswirken. Daher müssen zur Beschreibung verschiedener Gebirgsarten die jeweils zutreffenden Parameter projektspezifisch definiert 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 und auf das erwartete geotechnische Verhalten 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.

Die Definition der Gebirgsarten hat auch den Größenmaßstab des Gebirgsvolumens festzulegen, ab dem eine Gebirgsart projektspezifisch Gültigkeit hat. Die Festlegung des Größenmaßstabes hat dabei den Größenbezug zum geplanten Bauwerk sowie eine praktikable Handhabung der Gebirgsarten im Zuge des Planungsprozesses zu berücksichtigen. Zu kleinräumig gefasste Gebirgsvolumina sind dabei zu vermeiden. Für räumlich in engem Wechsel auftretende Gebirgseigenschaften ist zu prüfen, ob diese zu einer Gebirgsart zusammengefasst werden können (Beispiele: Wechsellagerung von geringmächtigen Sedimentgesteinslagen oder geklüftetes Gebirge mit regelmäßig auftretenden, geringmächtigen Scherbahnen).

Neben den geotechnischen Aspekten können je nach projektspezifischen Erfordernissen und Möglichkeiten, weitere planerische und ausführungsrelevante Eigenschaften (z.B. Deponierbarkeit, Wiederverwertbarkeit) mit den Gebirgsarten verknüpft werden.

5.2.2. Parameter der Gebirgsarten

Die Gebirgsarten werden durch Parameter beschrieben, die die geotechnisch relevanten Eigenschaften des Gebirges erfassen (siehe Anhang A). Die Parameter sind je nach zu errichtendem Bauwerk und Gebirge projektspezifisch festzulegen. Der Parameterumfang und deren Unterteilung werden den Erfordernissen der einzelnen Projektphasen angepasst und in der Regel mit zunehmender Planungstiefe verfeinert.

Die Parameter beschreiben das Gebirge in seinen Einzelkomponenten - Gestein und Trennflächengefüge - sowie den gesamten Gebirgsverband. Für die Bestimmung der einzelnen

Parameter sollen relevante Normen und Standards gewählt werden. Die Verwendung anderer Verfahren ist zu begründen.

Für jede Gebirgsart sind die Parameter mittels Bandbreiten, statistischen Kenngrößen (z.B. Mittelwert, Standardabweichung, etc.) oder Klassen für nur kategorienhaft beschreibbare Eigenschaften anzugeben.

In frühen Projektphasen (z.B. Machbarkeitsstudie, Vorstudie) oder bei Fehlen von Erkundungs- und Labordaten kann auf Literatur- und Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Die Quelle der verwendeten Werte ist anzugeben.

In späteren Projektphasen (z.B. Einreichprojekt, Ausschreibungsprojekt) stehen für die Charakterisierung der Eigenschaften des Gesteins und des Trennflächengefüges in der Regel Erkundungs- und Labordaten zu Verfügung. Aus diesen sind repräsentative Werte abzuleiten.

Im Ausschreibungsprojekt sind aus den zuvor definierten Parametern „Identifikationsparameter“ auszuwählen, die in der Ausführungsphase eine Identifizierung und Abgrenzung der Gebirgsarten ermöglichen. Diese müssen vor Ort rasch und objektiv dokumentierbar sein (z.B. Gesteinsart, Trennflächenabstände o.ä.). Ausführungsrelevante baugelogische Charakteristika der Gebirgsarten, die nicht unmittelbar vor Ort erhoben werden können oder nicht der Gebirgsarten-Abgrenzung dienen, sind als „ergänzende Parameter“ anzuführen (z.B. Abrasivitätseigenschaften o.ä.). „Identifikations-“ und „ergänzende Parameter“ definieren somit gemeinsam die Eigenschaften einer Gebirgsart in der Ausführungsphase [6].

5.2.3. Gebirgskennwerte

Zur Quantifizierung der Eigenschaften des gesamten Gebirgsverbandes (Gebirgskennwerte) kann zwischen direkten und indirekten Methoden unterschieden werden, welche je nach Projektphase und projektspezifischen Anforderungen (Komplexität des Bauwerks) Anwendung finden.

Zu den direkten Methoden zur Bestimmung der Gebirgskennwerte, unter denen im Wesentlichen in-situ Versuche verstanden werden, zählen unter anderem:

- Scherversuche
- Lastplattenversuche
- Radialpressenversuche
- Bohrlochaufweitungsversuche (z.B. Dilatometerversuche)
- Baugrundsondierungen (Rammsondierungen, Drucksondierungen, Flügelsondierungen, Seitendrucksondierungen, etc.)

Zu den indirekten Methoden zur Bestimmung der Gebirgskennwerte zählen unter anderem:

- Geophysikalische Verfahren (Seismische Methoden, Geoelektrik, Georadar, etc.)
- Rückrechnungen (back analysis):
 - Mittels analytischer oder numerischer Methoden können die Gebirgsparameter auf Basis geotechnischer Messungen und Erkenntnisse bereits aufgefahrener Tunnelabschnitte oder aus Daten abgeschlossener Projekte in vergleichbaren geologischen / geotechnischen Verhältnissen rückgerechnet werden [7][8][9][10].
- Homogenisierungsmethoden:
 - Mittels Homogenisierungsmethoden werden unter Anwendung von empirischen Korrelationen die Kennwerte aus Laborversuchen auf die Gebirgskennwerte übergeführt („upscaling“). Dabei wird heterogenes Gebirge homogenisiert, wodurch die ursprüngliche Gebirgsstruktur und allenfalls geotechnisch relevante Informationen verloren gehen. Kinematische und kinetische Prozesse (z.B. Blockgleiten) können in einem Homogenmodell nicht abgebildet werden, ebenso können Festigkeitsanisotropien nur unzureichend berücksichtigt werden. Bei den empirischen Korrelationen werden meist Bruchkriterien (z.B. Hoek-Brown – Kriterium) mit Indexwerten aus Klassifizierungssystemen (z.B. GSI-, RMR-, RMI-, Q-System) verknüpft [11][12][13][14][15][16][17]. Die Zusammenhänge zwischen den Indexwerten und den Gebirgsparametern beruhen auf Daten aus einzelnen Projekten mit spezifischen geologischen Verhältnissen, d. h. die Indexwerte besitzen keine Allgemeingültigkeit.
- Mehrschichtmodelle:
 - Mittels Mehrschichtmodellen werden für ein Gebirge mit wechselweise gelagerten Gesteinsschichten oder bei einem von Trennflächen mit Materialfüllung durchzogenen Gebirge, von denen die jeweiligen Verformungseigenschaften bekannt sind, der Gebirgsmodul bestimmt [18].
- Block-in-Matrix Strukturen:
 - Die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Block-in-Matrix Strukturen (vergleichsweise kompetente Blöcke, eingebettet in einer weichen Matrix, wie z.B. Störungsgestein, tektonische Mélange, Brekzien, etc.) werden auf Basis der mechanischen Eigenschaften der jeweiligen Komponenten, dem volumetrischen Blockanteil und der Blockorientierung ermittelt [19][20].

Um die Unsicherheiten bei der Ermittlung der Gebirgskennwerte zu reduzieren, bietet es sich an, mehrere Verfahren anzuwenden [21].

Die Umsetzung von Gesteins- und Trennflächeneigenschaften in Gebirgskennwerte ist nachvollziehbar darzustellen.

5.2.4. Angaben

Die der Bestimmung der Gebirgsarten zugrunde gelegten Parameter, sowie die daraus abgeleiteten Gebirgsparameter sind für jede Gebirgsart zusammenzufassen. Die Angaben haben die folgenden Inhalte zu enthalten:

- Bezeichnung der Gebirgsart
- Verbale Beschreibung der Gebirgsart
- Parameter der Gebirgsarten inkl. deren Bandbreiten, wenn möglich statistische Kenngrößen oder Klassen
- „Identifikationsparameter“ und „ergänzende Parameter“ (Ausschreibungsprojekt)
- Maßstäbliche Darstellung der Gebirgsart in repräsentativen Schnitten

Sofern vorhanden, sind für die Gebirgsarten repräsentative fotografische Aufnahmen (z.B. Bohrkernstrecken, Geländeaufschlüsse) beizulegen.

Die Gebirgsarten werden den einzelnen Bereichen des Untertagebauwerkes zugeordnet. Sofern eine genaue Lokalisierung des Auftretens der Gebirgsarten entlang des Bauwerkes nicht möglich ist, sind quantifizierbare Angaben zum Auftreten der Gebirgsarten (z.B. Prozentverteilung) anzuführen. Ergänzend sind Angaben über die Häufigkeit der Wechsel zwischen den Gebirgsarten zu machen.

Beim kontinuierlichen Vortrieb ist bei der Festlegung der für die Zuordnung im Zuge der Bauausführung vor Ort verwendeten Parameter zu berücksichtigen, dass diese in Abhängigkeit des Maschinentyps und des Vortriebsverfahrens routinemäßig erhoben werden müssen (z.B. direkt an der Ortsbrust durch Zugänglichkeit zum Bohrkopf, indirekt durch Beurteilung des Ausbruchsmaterials, etc.).

5.3. Bestimmung des Gebirgs- und Ortsbrustverhaltens

5.3.1. Methodik zur Bestimmung des Gebirgsverhaltens

Das Gebirgsverhalten beschreibt die Reaktion des Gebirges auf die hergestellte Hohlraumlaibung des Gesamtquerschnittes unter Berücksichtigung der anstehenden Gebirgsart bzw. Gebirgsarten und der Einflussfaktoren, aber ohne Berücksichtigung von bautechnischen Maßnahmen.

Zunächst werden in den einzelnen Bereichen des Hohlraumbauwerkes die räumliche Orientierung der maßgebenden geologischen Strukturen in Bezug auf das Bauwerk und die Grundwasserverhältnisse erfasst, sowie die Spannungsverhältnisse für jeden Abschnitt ermittelt oder abgeschätzt. Nach Zuordnung aller relevanten Parameter und Einflussfaktoren zu allen Abschnitten wird das Gebirgsverhalten in den jeweiligen Bereichen bestimmt.

Folgende Faktoren werden im Allgemeinen für die Bestimmung des Gebirgsverhaltens berücksichtigt:

- Gebirgsart
- Primärspannungszustand (Spannungsverhältnisse im unverritzten Gebirge)
- Zeitabhängige Eigenschaften des Gebirges

- Form und Größe des Hohlraumes (Durchmesser und Querschnittsform im endgültigen Ausbruchszustand, nicht der einzelnen Zwischenbauzustände)
- Lage des Hohlraumes (z.B. zur Oberfläche, Hanglage, zu bestehenden Bauwerken)
- räumliche Orientierung der maßgebenden geologischen Strukturen in Bezug auf das Bauwerk (dient als Grundlage von kinematischen und kinetischen Überlegungen und zur Ermittlung von gefügebedingter Spannungsumlagerung)
- Einfluss angrenzender Gebirgsarten
- Bergwasser, hydrostatischer Druck

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

- Kinematische und kinetische Untersuchungen zur Erfassung von gefügebedingten Nachbrüchen und Ausgleiten von Kluftkörpern. Methoden: z.B. Key Block Theory [22], Lagenkugelanalyse [23][24]
- Analytische Verfahren [25][26][27][28] und numerische Methoden zum Erfassen der Gebirgsbeanspruchung: Diese ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen dem im Einflussbereich des Tunnels vorherrschenden räumlichen Spannungszustand und den Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Gebirges
- Bruch- und Versagensmechanismen: Mögliche Bruchmechanismen sind zumindest qualitativ zu beschreiben (z.B. Sprödbbruch mit geringer Tiefe, Entspannungsgleiten an Trennflächen, Scherbruch, etc.). Als Methoden können Modellversuche, analytische Methoden, numerische Methoden [29], welche die Ausbildung von diskreten Brüchen modellieren, dienen.
- Vergleich mit Fallbeispielen

Sofern einzelne Einflussfaktoren nicht mit entsprechender Sicherheit bestimmt werden können, soll eine Variantenstudie 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 möglichst realitätsnah abbilden können. Das jeweils ermittelte Gebirgsverhalten soll den übergeordneten Kategorien der Gebirgsverhaltenstypen (Tabelle 1) zugeordnet und deren Verteilung entlang des Bauwerkes angegeben werden. Projektspezifisch können nach Erfordernis zusätzliche Gebirgsverhaltenstypen und Untergliederungen definiert werden.

Werden mehrere Gebirgsverhaltenstypen identifiziert, welche zwar in dieselbe Kategorie fallen, sich jedoch im Detail unterscheiden, so sind Untergruppen einzuführen (z.B. GVT 2/1, GVT 2/2, etc. bei gefügebedingten Ausbrüchen mit unterschiedlichen Trennflächenkombinationen oder Ausmaß). In einem Querschnitt können auch mehrere Verhaltenstypen festgestellt werden. In diesen Fällen sind alle im Querschnitt in Frage kommenden Kategorien zu benennen, wobei das maßgebende Verhalten als erstes anzugeben ist. (z.B. Gefügebedingte Ausbrüche im Firstbereich mit Quellerscheinungen in der Sohle: GVT 2 + GVT 10).

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

Tabelle 1: Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen

Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen (GVT)		Beschreibung des Gebirgsverhaltens
1	Standfestes Gebirge	Standfestes Gebirge mit dem Potenzial zum schwerkraftbedingten Herausfallen oder Herausgleiten von kleinvolumigen Kluftkörpern
2	Gefügebedingte Ausbrüche	Großvolumige gefüge- und schwerkraftbedingte Ausbrüche, vereinzelt lokales Überschreiten der Scherfestigkeit an Trennflächen
3	Hohlraumnahe Überbeanspruchung	Spannungsbedingte Neubrüche bzw. Plastifizierung des Gebirges in Hohlraumnähe, ev. in Kombination mit gefügebedingten Ausbrüchen
4	Tiefreichende Überbeanspruchung	Spannungsbedingte tiefreichende Neubrüche 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 / Schwellendes Gebirge	Zeitabhängige Volumenzunahme des Gebirges vorwiegend im Sohlbereich durch physikalische oder chemische Reaktion von Gebirge und Wasser in Kombination mit Entspannung
11	Gebirge mit kleinräumig wechselndem Verformungsverhalten	Kleinräumige, starke Änderung von Spannungen und Deformationen über längere Strecken, bedingt durch heterogenen Gebirgsbau

5.3.2. Angaben zum GVT

Folgende Mindestangaben sind für jeden GVT erforderlich:

- Gebirgsart(en)
- räumliche Orientierung der maßgebenden geologischen Strukturen in Bezug auf das Bauwerk
- Beanspruchung des Hohlraumrandes und des hohlraumnahen Bereiches
- Bergwasserverhältnisse: Beschreibung von Mengen/Drücken
- Skizze der erwarteten Gebirgsstruktur und des Gebirgsverhaltens
- Versagens- und Bruchmechanismen
- Größenordnung der Verschiebungen des ungestützten Hohlraumrandes und Angabe der dominanten Verschiebungsrichtungen. Unterscheidung, ob das Gebirgsverhalten durch rasch abnehmende Verschiebungsgeschwindigkeiten oder langanhaltende Verschiebungszunahmen charakterisiert ist.

5.3.3. Methodik zur Bestimmung des Ortsbrustverhaltens

Das Ortsbrustverhalten beschreibt die Reaktion des Gebirges auf die hergestellte Ortsbrust des Gesamtquerschnittes unter Berücksichtigung der anstehenden Gebirgsart bzw. Gebirgsarten und der Einflussfaktoren, aber ohne bautechnische Maßnahmen.

Folgende Faktoren sind für die Bestimmung des Ortsbrustverhaltens (OV) zu berücksichtigen:

- Gebirgsart
- Primärspannungszustand
- Form und Größe des Hohlraumes
- räumliche Orientierung der maßgebenden geologischen Strukturen in Bezug auf das Bauwerk
- Einfluss angrenzender Gebirgsarten
- Bergwasser, hydrostatischer Druck

Zur Bestimmung des Ortsbrustverhaltens sind, soweit zutreffend, dieselben Untersuchungen wie für das Gebirgsverhalten heranzuziehen.

Das jeweils ermittelte Ortsbrustverhalten ist in Anlehnung an Tabelle 1 in Typen einzuteilen.

5.3.4. Angaben zum OVT

Folgende Angaben sind für die Typisierung zumindest erforderlich:

- Gebirgsart(en)
- Orientierung der maßgeblichen geologischen Strukturen relativ zur Ortsbrust
- Beanspruchung der Ortsbrust
- Bergwasserverhältnisse: Beschreibung von Mengen/Drücken

- Skizze der erwarteten Gebirgsstruktur
- Skizze der erwarteten Versagens- und Bruchmechanismen

5.4. Wahl des Tunnelbautechnischen Konzepts

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

Ziel dieses Schrittes ist 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 wird. Es kann jedoch auch sinnvoll sein, mit der Planung beider Vortriebsarten fortzufahren.

Darauf aufbauend sind mögliche Angriffspunkte, die Anzahl der Vortriebe, die zeitliche Abfolge der Vortriebe und die Vortriebsrichtungen festzulegen.

5.5. Tragelemente des Hohlraums

Folgende Aspekte sind hinsichtlich des primären Tragelements des Hohlraumes zu berücksichtigen:

5.5.1. Tragelement Gebirge

Bei Vortrieben, deren primäres Tragelement das Gebirge bildet, wirkt das Gebirge in unterschiedlicher Art:

- 1) Die aus der Hohlraumbildung resultierende Beanspruchung kann vom Gebirge bruchlos aufgenommen werden.
- 2) Die aus der Hohlraumbildung resultierende Beanspruchung übersteigt in Hohlraumnähe das Tragvermögen des Gebirges. Die hohen Spannungen werden in tiefere Bereiche umgelagert.

Hinweis:

Bei hoher Überlagerung und geringer Gebirgsqualität ist in vielen Fällen ein steifer Ausbau weder wirtschaftlich noch technisch sinnvoll. Durch einen duktilen Ausbau wird eine Überbeanspruchung der Stützung bei gleichzeitiger Entwicklung eines Ausbauwiderstandes vermieden. Auf eine möglichst geringe Schädigung des Gebirges ist zu achten.

5.5.2. Tragelement Ausbau

Bei Tunneln, deren primäres Tragelement der Ausbau darstellt, bestehen die Anforderungen an Ausbruch und Stützung in der Vermeidung und/oder Minimierung der Baugrundverformungen und Oberflächensetzungen unter der Wahrung der Wirtschaftlichkeit. Solche Vortriebe sind meist geprägt durch eine geringe Verspannung und einem zur Entfestigung neigenden Gebirge. Dadurch kann es zufolge nachdrängender Gebirgslasten zu starken Beanspruchungen des Ausbaus kommen. Das Ausbaukonzept hat hierbei zum Ziel, nachdrängende Gebirgslasten mit Sicherheit aufnehmen zu können.

5.6. Festlegung bautechnischer Maßnahmen und Ermittlung des Systemverhaltens

Nach Festlegung der geologisch geotechnischen Grundlagen (Gebirgsarten, Gebirgsverhalten und Ortsbrustverhalten) und des primären Tragelements werden für jede maßgebende Situation die bautechnischen Maßnahmen gewählt. Dabei sind auch bautechnische Maßnahmen zu berücksichtigen, deren Erfordernis sich aus zeitabhängigen Gebirgseigenschaften ergeben, die Änderungen der Gebirgslasten nach dem Einbau der Innenschale bewirken können.

Das ermittelte Systemverhalten wird jeweils den gewählten bautechnischen Maßnahmen nach projektspezifisch definierten Kriterien zugeordnet (Zuordnungskriterien) und deren Verteilung in Form von Systemverhaltenstypen entlang des Bauwerkes angegeben. Für Sonderbereiche ist das Systemverhalten ebenfalls getrennt anzugeben.

5.6.1. Zyklischer Vortrieb

5.6.1.1. Wahl der bautechnischen Maßnahmen

Die bautechnischen Maßnahmen beinhalten beim zyklischen Vortrieb im Allgemeinen:

- Lösemethode
- Ausbaukonzept
- Querschnittunterteilungen und Teilflächen
- Abschlagslängen
- Ringschlussdistanz
- Vorseilende Sicherungsmaßnahmen
- Baugrundverbessernde Maßnahmen
- Grundwasserabsenkung, Drainagemaßnahmen

5.6.1.2. Parameter und Einflussfaktoren

Für das Systemverhalten sind beim zyklischen Vortrieb folgende Parameter und Einflussfaktoren maßgebend:

- Gebirgsverhalten
- Ortsbrustverhalten
- Form, Größe und Unterteilung des Ausbruchsquerschnittes
- Abschlagslänge
- Lösemethode
- räumlicher Spannungszustand
- Vortriebsrichtung
- Bergwasser
- räumliche und zeitliche Entwicklung des Bauablaufes

- Art und Menge der Stützmittel sowie deren Einbauzeitpunkt, Einbauort und zeitabhängige Wirkung
- nachfolgende Bauphasen
- Beeinflussung durch benachbarte Vortriebe
- Wechselwirkung mit bestehenden Bauwerken

Bei der Wahl der bautechnischen Maßnahmen sind darüber hinaus die Randbedingungen z.B. Anforderungen zufolge Bebauung, Einbauten, Grundwasserkörper zu berücksichtigen.

Nach Festlegung aller bautechnischen Maßnahmen wird das Systemverhalten ermittelt und den Anforderungen gegenübergestellt.

5.6.1.3. Methodik, Analysen und Nachweise

Die Methodik der Ermittlung des Systemverhaltens richtet sich nach den jeweiligen Randbedingungen des Bauwerkes. Folgende methodische Hilfsmittel können angewendet werden:

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

Das Ergebnis der Analysen ist den Anforderungen gegenüberzustellen.

Zu berücksichtigen sind:

- die Standsicherheit in allen Bauzuständen und die Gebrauchstauglichkeit im Endzustand
- das Einhalten der zulässigen Auswirkungen auf die Umwelt (Setzungen, Erschütterungen, Eingriffe in die Natur und den Grundwasserhaushalt, etc.)
- das Einhalten von Verschiebungen innerhalb festgelegter Toleranzen (Zulässigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Systemverträglichkeit, etc.)

Die Ergebnisse sind in nachvollziehbarer Form zu dokumentieren.

Die Streuung der Einflussfaktoren, sowie der Einfluss der Bauarbeiten auf das Umfeld sind zu berücksichtigen. Die Auswirkungen der Variation von kritischen Einflussfaktoren auf das Systemverhalten sollen in einer Parameterstudie untersucht werden.

Im Regelfall sind Bauablauf und bautechnische Maßnahmen so lange zu variieren und das jeweilige Systemverhalten zu ermitteln, bis eine sichere und wirtschaftliche Vorgangsweise unter Berücksichtigung des gesamten Bauablaufes gefunden ist.

Im Rahmen eines Geotechnischen Sicherheitsmanagements sind Methoden und Vorgangsweisen zur baubegleitenden Verifizierung und Evaluierung der Annahmen, zur Abschätzung und Gewährleistung der Standsicherheit, zur Einhaltung von zulässigen Auswirkungen auf die Umwelt, sowie zur Steuerung und Festlegung der erforderlichen bautechnischen Maßnahmen anzugeben.

5.6.1.4. Angaben zum Systemverhalten

Für die jeweils charakteristischen Verhältnisse (z.B. Gebirgsverhältnisse, Abschnitt eines Tunnels, Querschnittunterteilung, Bauablauf, Sicherungsmethode, etc.) sind Angaben über das erwartete Systemverhalten zu machen, welche durch die Beobachtungen während der Bauausführung verifiziert und evaluiert werden. Dabei ist zu beachten, dass für eine definierte Kombination an bautechnischen Maßnahmen Grenzwerte der Verträglichkeit anzugeben sind.

Diese Angaben können typischerweise sein:

- Verhalten im Ausbruchbereich
- Ausmaß, Richtung und räumliche Entwicklung der Verschiebungen in den einzelnen Bauphasen (Verhalten im gesicherten Bereich)
- Setzung der Geländeoberfläche
- Verhalten der Stützmittel (wie Auslastung von Spritzbeton, Deformation von Ankerplatten und Deformationselementen, etc.)
- Angaben zum Langzeitverhalten (Verhalten im Endzustand)

Diese Angaben und Grenzwerte sind Grundlagen für den Geotechnischen Sicherheitsmanagementplan (siehe Kap. 7).

5.6.2. Kontinuierlicher Vortrieb

5.6.2.1. Wahl des TVM-Typs und Wahl des Ausbaukonzepts

Unter Einbeziehung der Gegebenheiten des Projekts ist ein TVM-Typ und ein Ausbaukonzept zu wählen [49]. Neben den geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnissen – charakterisiert durch die Bestimmung der GA, GVT und der OVT - sind dabei vor allem folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Baugrundeigenschaften und Bodenkennwerte, die das Löseverhalten, die Bohrbarkeit, die Klebrigkeit und den Verschleiß bestimmen
- Beeinflussung des umgebenden Gebirges durch den Anpressdruck der TVM und deren Abstützung [52]
- Veränderungspotential des Gesteins in Abhängigkeit von Löse- und Transportprozessen
- Randbedingungen wie Überlagerungshöhe, Bebauung etc.
- Materialbewirtschaftung und Deponierbarkeit des ausgebrochenen Materials

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

- Geometrische Daten z.B. nominaler Bohrdurchmesser, Überbohrmaß

- Mindestkurvenradius
- Bohrkopf- / Schneidradgestaltung
- Ausbaukonzept (Tübbing, Spritzbeton, Sonderausbau) und Einbauort
- Technische Eigenschaften z.B. Vorschubkraft, Drehmoment
- Regel- und Zusatzausrüstungen z.B. Ankerbohrlafette, Schildschmierung, Schaumanlage, Vorauserkundung, Vorausinjektionen
- Tragvermögen Schild
- Konizität (Abstufung) des Schildes
- Art der Ringspaltverfüllung

5.6.2.2. Ermittlung des Systemverhaltens

Das Systemverhalten ist für folgende Bereiche anzugeben (Abbildung 2):

- Bohrkopfbereich / Schneidradbereich
- Schildbereich
- Einbaubereich
- Bereich Endzustand primäre Stützung
- Sonderbereiche (Anfahren, Ausfahren, Öffnung für Querschläge, Querschnittsaufweitungen, etc.)

Die bautechnischen Maßnahmen sind so lange zu variieren und das jeweilige Systemverhalten zu ermitteln, bis die Anforderungen erfüllt sind und eine sichere und wirtschaftliche Vorgangsweise gefunden ist – siehe Flussdiagramm (Abbildung 3).

5.6.2.3. Allgemeine Einflussfaktoren

Für das Systemverhalten sind folgende allgemeingültige Einflussfaktoren maßgebend:

- Gebirgsverhalten
 - räumlicher Spannungszustand
 - Berg- und Grundwasser
 - Zeitabhängige Gebirgseigenschaften
 - Größe des Ausbruchsquerschnitts
- Ortsbrustverhalten
- Art der TVM
- Maximale ungestützte Länge des Hohlraumes und die freie Standzeit des Gebirges
- Beeinflussung und Veränderung des Baugrundes durch die Herstellung des Hohlraums mittels TVM und je nach TVM-Typ durch den Anpressdruck des Bohrkopfes, die Stützflüssigkeit und/oder durch die Abstützung der Gripper [53] [54] [55].

- Zeitpunkt, Einbauort und zeitabhängige Wirkung der Stützmaßnahmen
- Stillstände für Wartung, Einbau Ver- und Entsorgungssysteme (Förderband, Medienleitungen etc.), Ertüchtigungen, Umbau, etc.
- Hindernisse
- Nachfolgende Bauphasen z.B. Nachbarröhren, Querschlag- / Stollenherstellung
- Wechselwirkung mit bestehenden Bauwerken
- Sonstige Randbedingungen (z.B. Anforderungen zufolge Bebauung, Einbauten, Grundwasserkörper)

5.6.2.4. Bereichsspezifische Einflussfaktoren

5.6.2.4.1. Bohrkopfbereich / Schneidradbereich

- Ortsbrustverhalten inkl. Laibung (z.B. auch Auflockerungen, Nachbrüche)
- 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)

5.6.2.4.2. Schildbereich

- Schildlänge
- Schildspalt, Schild-Stabilisatoren,
- Verklausung Schildspalt
- Verschiebungen des Ausbruchsrandes (Schließung des Schildspaltes)
- Stützung der Laibung (Stützmedium)
- Stützmittel, soweit diese das Verhalten im Schildbereich beeinflussen (z.B. Rohrschirm, Injektionsbohrschirm, Spieße, GFK-Anker)
- Gripperverspannung bei TBM-DS

5.6.2.4.3. Einbaubereich

- Stützmittel (z.B. Anker, Spritzbeton, Tübbinge)
- Schließung des Ringspaltes durch das Gebirge
- Ringspalt und Ringspaltverfüllung (Verfüllmaterial, zeitlicher Ablauf), Ringspaltverklausung

- Abstand Ortsbrust bis zum vollständigen Ausbau: räumliche und zeitliche Entwicklung des Bauablaufes
- Gripperverspannung bei TBM-O

5.6.2.4.4. Bereich Endzustand primäre Stützung

- 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. der Innenschale
- Nachträglich aufgefahrene Nachbarröhren
- Langfristige Änderungen des Schicht-, Grund- bzw. Bergwassers und dessen Druckniveaus
- Gripperverspannung bei TBM-O mit Rückfallsicherung

5.6.2.4.5. Sonderbereiche

- Anfahren / Ausfahren TVM
- Spezialmaßnahmen wie z.B. Dichtblock, Anfahrbrille, Vereisung
- Anfahren Querschläge, Anfahren Verzweigungen, Herstellen von Abstellnischen in Straßentunneln

5.6.2.5. Methodik, Analysen und Nachweise

Es gelten dieselbe Methodik, Analysen und Nachweise wie für den zyklischen Vortrieb.

Für die Ermittlung des Systemverhaltens sind beim kontinuierlichen Vortrieb zusätzlich folgende Angaben, Nachweise bzw. Hinweise abhängig vom TVM-Typ erforderlich:

5.6.2.5.1. Bohrkopf-/ Schneidradbereich und Schildbereich

- 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 Schildschwanz

- Verformungsverhalten des Gebirges bezüglich Auswirkung auf die TVM-Konizität, Absetzen des Gebirges auf den Schild, Einklemmen des Schildes etc.
- Erfordernis von Zusatz- und Sondermaßnahmen (Voraussicherungen, gebirgsverbessernde Maßnahmen, Schildschmierung, Überbohrmaß)
- Abrasivität
- Verklebungspotential
- Methoden zur Beseitigung von Hindernissen
- Abweichungspotential (in Lage und Höhe) bei der TVM-Fahrt
- Einhalten der zulässigen Auswirkungen auf die Umwelt (Setzungen, Erschütterungen, Eingriffe in die Natur und den Bergwasserhaushalt, etc.)

5.6.2.5.2. Einbaubereich und Bereich Endzustand primäre Stützung

- Systemsicherheit in allen Bauzuständen sowie die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit im Endzustand
- Einhalten der zulässigen Auswirkungen auf die Umwelt (Setzungen, 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

5.6.2.6. Angaben zum Systemverhalten

Die Anzahl der Systemverhaltenstypen je Bereich ist so zu wählen, dass diese getrennt für jeden Bereich eindeutig unterscheidbar sind. Das Systemverhalten in einem Bereich ist jedenfalls unabhängig vom Verhalten in einem anderen Bereich zu beurteilen.

Für die jeweils repräsentativen Verhältnisse (z.B. Gebirgsverhältnisse, Abschnitt eines Tunnels, Bauablauf, Sicherungsmethode, etc.) sind Angaben über das erwartete Systemverhalten zu machen, sodass das Systemverhalten durch die Beobachtungen während der Bauausführung einem Systemverhaltenstyp zugeordnet werden kann. Dabei ist zu beachten, dass für eine definierte Kombination an bautechnischen Maßnahmen Grenzwerte der Verträglichkeit anzugeben sind. Bei den Angaben ist auf die Einflussfaktoren in den jeweiligen Bereichen gem. Kapitel 5.6.2.3 und 5.6.2.4 einzugehen (siehe Anhang C).

Diese Angaben können sein:

- Maschinendaten wie Drehmoment, Vorschubkraft, Anpresskraft, ggf. Stützdruck, Penetration, Umdrehungsgeschwindigkeit, Schildreibung, etc.
- Ausbruchmassenbilanz

- Verhalten in den jeweiligen Bereichen für das Systemverhalten in Bezug auf mögliche augenscheinliche und messtechnische Beobachtungen
- Ausmaß, Richtung und zeitlicher Verlauf der Verschiebungen (Hohlraumrand, primäre Stützung, Sehnenverlängerung, ...)
- Setzung der Geländeoberfläche oder eventuell vorhandener Objekte insbesondere bei seicht liegenden Hohlräumen
- Beanspruchung des Ausbaus (z.B. Auslastungsgrad Tübbing oder Spritzbeton, Verhalten allfälliger Ankerung)

Diese Angaben und Grenzwerte sind Grundlagen für den Geotechnischen Sicherheitsmanagementplan (siehe Kap. 7).

5.7. Prognose- und Planungssicherheit

In Abhängigkeit der Erkundungstiefe und der Komplexität der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ist mit Unsicherheiten in der Prognose zu rechnen. Im Zuge der Geotechnischen Planung sind in jeder Planungsphase in Abhängigkeit von der Erkundungstiefe und dem Kenntnisstand der Gebirgsverhältnisse Risikoanalysen durchzuführen [59] [60] (siehe beispielhaft Anhang B).

Mit einer strukturierten Risikobetrachtung sollen die Unsicherheiten bei der Erstellung des geologischen und hydrogeologischen Modells, die Heterogenität der Gebirgsverhältnisse, die Streuung und Bandbreiten der geotechnischen Parameter sowie die Unsicherheiten in der Umsetzung der Geotechnischen Planung berücksichtigt werden. Die Mengenermittlung (Vortriebsklassen, Stützmittel, Zusatz- und Sondermaßnahmen) sowie die Bauzeitangaben erfolgen auf Basis der Prognose.

Die im Zuge der Risikoanalyse identifizierten geotechnischen Risiken (Gefahren und Chancen) sind sowohl bei der Kosten- als auch der Bauzeitermittlung durch Zu- oder Abschläge zu quantifizieren. Zusätzlich sollen für die Ermittlung von Baukosten und Bauzeit auch Zuschläge für Unbekanntes (nicht identifizierte und nicht identifizierbare Risiken) angesetzt werden [30].

5.8. Einteilung des Vortriebs / Vortriebsklassen

Für repräsentative Stützmittelkombinationen und Bauabläufe erfolgt die Ermittlung der Vortriebsklassen gemäß ÖNORM B 2203-1 [1] und ÖNORM B 2203-2 [2].

Zur Mengenermittlung für die Ausschreibungsplanung ist eine Prognose der Verteilung der Vortriebsklassen sowie Vortriebsunterbrechung, Sondervortrieb und Ereignisbewältigung erforderlich.

Ein häufiger Wechsel der Vortriebsklasse kann in stark heterogenem Gebirge in vielen Fällen baupraktisch, ökonomisch und technisch unzweckmäßig sein. „Homogenisierungen“ in der Vortriebsklassenverteilung sind zu erläutern.

5.9. Festlegung der Maßnahmen für den Endzustand

Unter bestimmten Rahmenbedingungen (z.B. Quellen, langanhaltende Verschiebungszunahmen, Innendruck – direkte Wassereinwirkung / mechanische Einwirkungen) können zu einem Zeitpunkt, zu dem die Innenschale bereits hergestellt ist, weitere Lasten auf

das System Außen- und / oder Innenschale auftreten. In diesen Fällen wird der gesamte Ausbau zusätzlich belastet, was im Zuge der Bemessung des Gesamtsystems (Innen- und/ oder Außenschale) zu berücksichtigen ist. Die dazu erforderlichen bautechnischen Maßnahmen (z.B. Bewehrung der Innenschale) sind aufzuzeigen.

5.10. Berichtswesen

5.10.1. Planung

Das Berichtswesen umfasst projektspezifisch folgende Unterlagen (Abbildung 4):

- Untersuchungsberichte
- Baugeologischer Bericht und Hydrogeologischer Bericht
- Geotechnischer Bericht
- Geotechnischer Sicherheitsmanagementplan

Die im Baugeologischen, Hydrogeologischen und Geotechnischen Bericht beschriebenen Modellvorstellungen stellen das Prognosemodell dar.

5.10.1.1. Inhalt der Untersuchungsberichte

- Beschreibung und Darstellung der durchgeführten Labor- und in-situ Versuche (Angewandte Prüfmethode, Prüfberichte mit Rohdaten)
- Auswertung (inkl. statistischer Verteilung) und Interpretation der Ergebnisse

5.10.1.2. Inhalt Baugeologischer Bericht und Hydrogeologischer Bericht

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der geologischen, baugeologischen und hydrogeologischen Untersuchungen sind in Berichtsform samt Planbeilagen darzustellen. Im Hinblick auf die Geotechnische Planung sind insbesondere folgende Inhalte zu berücksichtigen:

- Regionalgeologischer Überblick, geologisches Modell, tektonischer Bau, Massenbewegungen, Neotektonik, Primärspannungen
- Baugeologische Gebirgscharakterisierung, Gebirgsarten, Gefügeverhältnisse
- Baugeologisches Modell und Gebirgsbereiche (Bereiche ähnlicher baugeologischer und hydrogeologischer Gebirgscharakteristik)
- Geogene Risiken (z.B. Gasführung, lungengängige Fasern, Radioaktivität, Lösungshohlräume, Erodierbarkeit des Gebirges / Materialaustrag)
- Anthropogene Gegebenheiten und Risiken (z.B. Baubestand, Deponien, Altlasten, etc.)
- Deponierbarkeit und Wiederverwertbarkeit des Ausbruchsmaterials
- Hydrogeologischer Überblick und Rahmenbedingungen
- Hydrogeologisches Modell inkl. Bergwasserdrücke, Schüttung der Wasserzutritte und deren zeitliche Entwicklung (kurzfristig und Beharrung)
- Hydrochemie

- Gebirgstemperatur
- Prognosesicherheit

5.10.1.3. Inhalt des Geotechnischen Berichts

Die Ergebnisse der Geotechnischen Planung sind in einem Geotechnischen Bericht vom Tunnelplaner in enger Abstimmung mit den Erstellern der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Grundlagen zu beschreiben und darzustellen:

- Zusammenfassung des baueologischen und hydrogeologischen Modells inklusive Verteilung der Gebirgsarten
- Rechenwerte in Abstimmung auf die verwendeten Rechenmethoden
- Methodik zur Ermittlung des Gebirgs- und Ortsbrustverhaltens
- Prognostizierte Gebirgsverhaltenstypen sowie die hierfür maßgebenden Einflussfaktoren einschließlich skizzenhafter Darstellung
- Prognostizierte Ortsbrustverhaltenstypen einschließlich skizzenhafter Darstellung
- Berechnungsmethoden und die durchgeführten Nachweise zur Ermittlung von bautechnischen Maßnahmen
- Kriterien für die Zuordnung der bautechnischen Maßnahmen (Zuordnungskriterien)
- Systemverhalten in Tabellenform
- Tabellarische Auflistung der Verteilung der Vortriebsklassen, Zusatz- und Sondermaßnahmen sowie Sondervortriebe und Ereignisbewältigung

5.10.2. Unterlagen für die Ausschreibung – Geotechnische Prognose

Für die Ausschreibung ist ein Bericht „Geotechnische Prognose“ zu erstellen, welcher als Anlage einen Tunnelbautechnischen Prognoselängenschnitt hat. Der Bericht „Geotechnische Prognose“ ist eine Zusammenfassung der geologischen, hydrogeologischen Grundlagen und der Geotechnischen Planung mit einer Festlegung von geotechnischen und tunnelbautechnischen Parametern als Kalkulationsgrundlagen (siehe Anhang A).

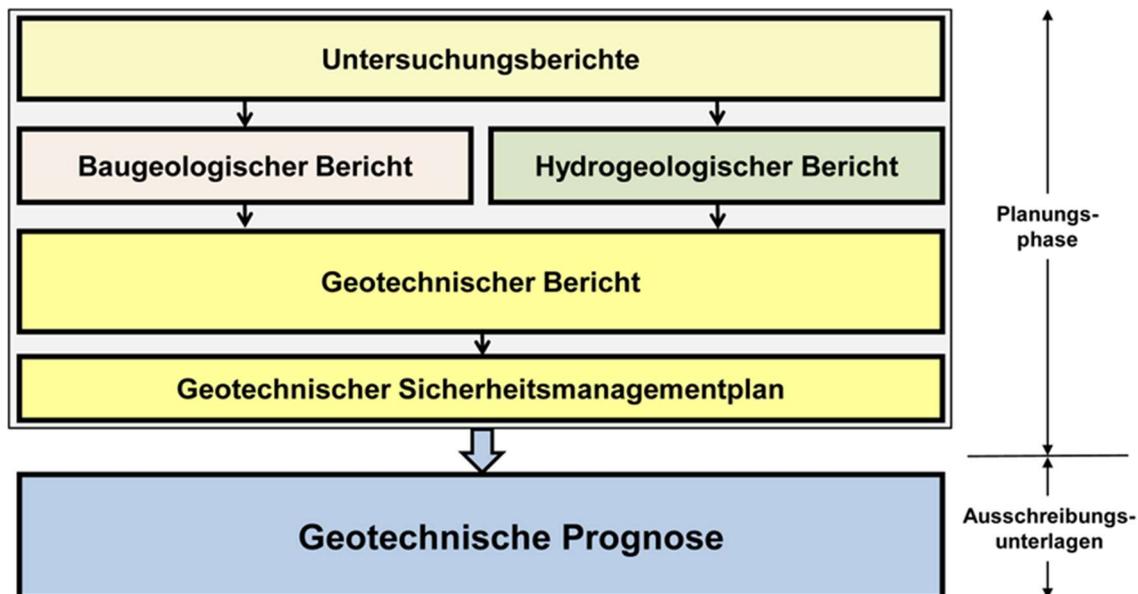


Abbildung 4: Zeitliche Abfolge der Erstellung von Berichten / Unterlagen

Ein wesentlicher Bestandteil davon ist der Tunnelbautechnische Prognoselängenschnitt, in welchem eine Abgrenzung von bautechnisch gleichartigen Abschnitten vorzunehmen ist.

Dieser soll folgende Angaben enthalten:

- Graphische Darstellung:
 - Baugeologischer Längenschnitt inklusive Legende
- Bauwerk:
 - Überlagerung
 - Geländehöhen an markanten Punkten
 - Gradiente
 - Bauteile des Tunnelbauwerks (Regelprofile, Querschläge, usw.)
 - Bebauung
 - Kilometrierung

- Prognose Baugeologie:
 - Baugeologische Gesteins- und Gebirgsbeschreibung in Kurzform
 - Gefügeverhältnisse (Lagenkugel)
 - Gebirgsbereiche
 - Gebirgsartenverteilung (prozentuell je Gebirgsbereich oder ggf. genaue Lokalisierung von Gebirgsarten)
 - Quell-/Schwellpotenzial
 - Lage, Orientierung, Mächtigkeit und Charakteristik von Störungszonen
 - Häufigkeit der Wechsel der Gebirgsarten in Tunnellängsrichtung
 - Primärspannungen
 - Gasführung
 - Geogene und anthropogene Risiken
 - Gebirgstemperatur
 - Verwertbarkeit des Ausbruchsmaterials
 - Deponierbarkeit des Ausbruchsmaterials
- Prognose Hydrogeologie:
 - Hydrogeologische Gebirgsbeschreibung
 - Druckhöhe des Berg- / Grundwassers zum Bauwerk
 - Schüttung der Wasserzutritte bezogen auf den Vortriebsbereich und auf definierte Tunnelstrecken inkl. Angaben zur zeitlichen Entwicklung
 - Schüttung im Beharrungszustand bzw. nach Baufertigstellung
 - Qualität der Wässer (hydrochemische Beschaffenheit, Wassertemperatur, Betonaggressivität, Versinterungsneigung)
- Prognose Systemverhalten:
 - Verteilung der Systemverhaltenstypen zumindest je Gebirgsbereich
- Prognose der Vortriebsklassen:
 - Vortriebsklassenverteilung inkl. Sondervortrieb und Ereignisbewältigung zumindest je Gebirgsbereich
- Prognose der Zusatz- und Sondermaßnahmen, wie z.B.:
 - Entwässerungen
 - Injektionen
 - Vorauserkundungen
- Ausbau mit/ohne Innenschale (bewehrt, unbewehrt)

- Monitoring / Geotechnische Messquerschnitte (Typen, Verteilung)
- Vortriebsrichtung

Ergänzend zum Prognoselängenschnitt sind die baugeologischen Verhältnisse in weiteren repräsentativen Schnitten (z.B. Subhorizontalschnitt auf Tunnelniveau; Vertikalschnitt bei Schachtbauwerken) darzustellen.

Zur Steuerung und Kontrolle der geotechnischen Restrisiken während der Bauausführungsphase ist ein Geotechnischer Sicherheitsmanagementplan zu erstellen (s. Kap.7).

6. PHASE 2-BAUAUSFÜHRUNG

6.1. Grundsätzlicher Ablauf

Am Beginn der Bauausführungsphase wird die Tunnelbautechnische Prognose in eine Tunnelbautechnische Rahmenplanung übergeführt. Diese hat die Vorgaben der Planung für die Bauausführung zu enthalten.

Beim kontinuierlichen Vortrieb basiert das in der Planungsphase abgeleitete Systemverhalten auf den zu diesem Zeitpunkt vorhandenen planerischen Kenntnissen. Es wird darauf hingewiesen, dass das Systemverhalten erst durch die Wahl der TVM bestimmt wird. Somit ist das planerische Systemverhalten ggf. auf Basis der tatsächlich zur Ausführung kommenden TVM fortzuschreiben. Das fortgeschriebene Systemverhalten kann sich also demgemäß vom planerisch abgeleiteten Systemverhalten unterscheiden. Das beobachtete Systemverhalten ergibt sich schlussendlich in Verbindung mit der Steuerung und Einstellung der TVM.

Da die Gebirgsverhältnisse vor Baubeginn nicht vollständig bekannt sein können, ist während des Baus bei Abweichungen von der Prognose eine Fortschreibung und Verfeinerung des geotechnischen Modells sowie eine Anpassung der bautechnischen Maßnahmen an die tatsächlich angetroffenen Gebirgsverhältnisse erforderlich. Dabei ist zu beachten, dass beim kontinuierlichen Vortrieb eine Anpassung der Maßnahmen nur eingeschränkt möglich ist. Je nach Baugrundverhältnissen können Vorauserkundungen die Verfeinerung des geotechnischen Modells unterstützen.

Die vor Ort durchgeführten Beobachtungen und Interpretationen des Systemverhaltens dienen der Festlegung der bautechnischen Maßnahmen. Je nach TVM-Typ ist die Erhebung geotechnisch-geologischer Daten mehr oder weniger eingeschränkt [56] und durch den Betrieb der TVM beim Hydroschild und EBP-Vortrieb durch die Stützflüssigkeit verändert [57]. Diese Beobachtungen werden für die Verfeinerung des Prognosemodells herangezogen. Hierfür soll ein im Tunnelbau erfahrener Geotechniker vor Ort eingesetzt werden.

Der grundsätzliche Ablauf erfolgt gemäß Abbildung 5 wie folgt:

1. Schritt - Bestimmung der aktuellen Gebirgsart und Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse

Im Rahmen der baugeologischen Dokumentation werden die in der Planung definierten und vor Ort erhebbaren Identifikationsparameter erfasst und die aktuelle Gebirgsart bestimmt.

Anhand der Dokumentationsergebnisse, allfälliger Erkundungen sowie der geotechnischen Beobachtungen vor Ort und der Maschinendaten beim kontinuierlichen Vortrieb werden das Baugrundmodell und das Erkundungskonzept laufend aktualisiert.

Das außerhalb des Ausbruchsquerschnittes liegende Gebirge wird modellhaft dargestellt und eine Kurzzeitprognose für das unmittelbar aufzufahrende Gebirge erstellt.

2. Schritt – Vergleich mit Tunnelbautechnischer Rahmenplanung, Festlegung bautechnischer Maßnahmen und Prognose des Systemverhaltens

Auf Basis der prognostizierten Gebirgsverhältnisse und unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren erfolgt die Festlegung von bautechnischen Maßnahmen für den nächsten

Ausbruchsabschnitt. Es ist daher vorerst zu überprüfen, inwieweit die angetroffenen Gebirgsverhältnisse (Gebirgsart, Einflussfaktoren) und das daraus resultierende Systemverhalten den in der Tunnelbautechnischen Rahmenplanung zu Grunde gelegten Annahmen entsprechen. Auf Basis sämtlicher vor Ort gewonnener Erkenntnisse sind die bautechnischen Maßnahmen mit der Maßgabe festzulegen, dass in jeder Phase sowohl ein sicherer als auch ein wirtschaftlicher Vortrieb gewährleistet ist.

Das Systemverhalten ist unter Berücksichtigung der Gebirgsverhältnisse und der gewählten bautechnischen Maßnahmen für die nächste Vortriebsstrecke zu prognostizieren und zu dokumentieren. Dabei ist insbesondere auf potenzielle Versagensmechanismen zu achten.

Anmerkung: Die bautechnischen Maßnahmen müssen zum größten Teil vor dem Ausbruch festgelegt werden. Nach dem Ausbruch sind in der Regel nur mehr geringfügige Anpassungen möglich. Die Entscheidung basiert in dieser Phase zum größten Teil auf einer Prognose. Dies unterstreicht die Bedeutung der Kurzzeitprognose.

3. Schritt – Überprüfung des beobachteten Systemverhaltens

Die Überprüfung, ob das prognostizierte Systemverhalten den definierten Anforderungen und den Kriterien der Tunnelbautechnischen Rahmenplanung und des Geotechnischen Sicherheitsmanagementplans entspricht, erfolgt durch Beobachtung während und nach dem Ausbruch des betreffenden Bereiches (visuell und messtechnisch). Sind z.B. die Verschiebungen oder Beanspruchungen im Ausbau wesentlich größer oder kleiner als die jeweils erwarteten, sind zu überprüfen:

- die für die Beurteilung verwendeten Parameter und Annahmen für die Gebirgsart,
- das angenommene Verhalten des ungestützten Bereiches und der Ortsbrust und
- die Kriterien für die Zuordnung der bautechnischen Maßnahmen

Falls die Verschiebungen oder Beanspruchungen höher sind, als sie dem erwarteten Systemverhalten zugrunde gelegt wurden, ist eine zusätzliche Analyse vorzunehmen und sind gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen zu ergreifen (z.B. Verstärkung des Ausbaues). Bei Unterschreitung sind die verwendeten Parameter und Annahmen ebenfalls zu überprüfen, und bei Bedarf zu modifizieren. Der Ausbau für die vorausliegenden Strecken ist gegebenenfalls anzupassen.

4. Schritt - Bestätigung der bautechnischen Maßnahmen

Bei Einhaltung der projektspezifischen Kriterien erfolgt entweder die Bestätigung des Endzustands der primären Stützung oder die Freigabe für den Einbau der sekundären Stützung.

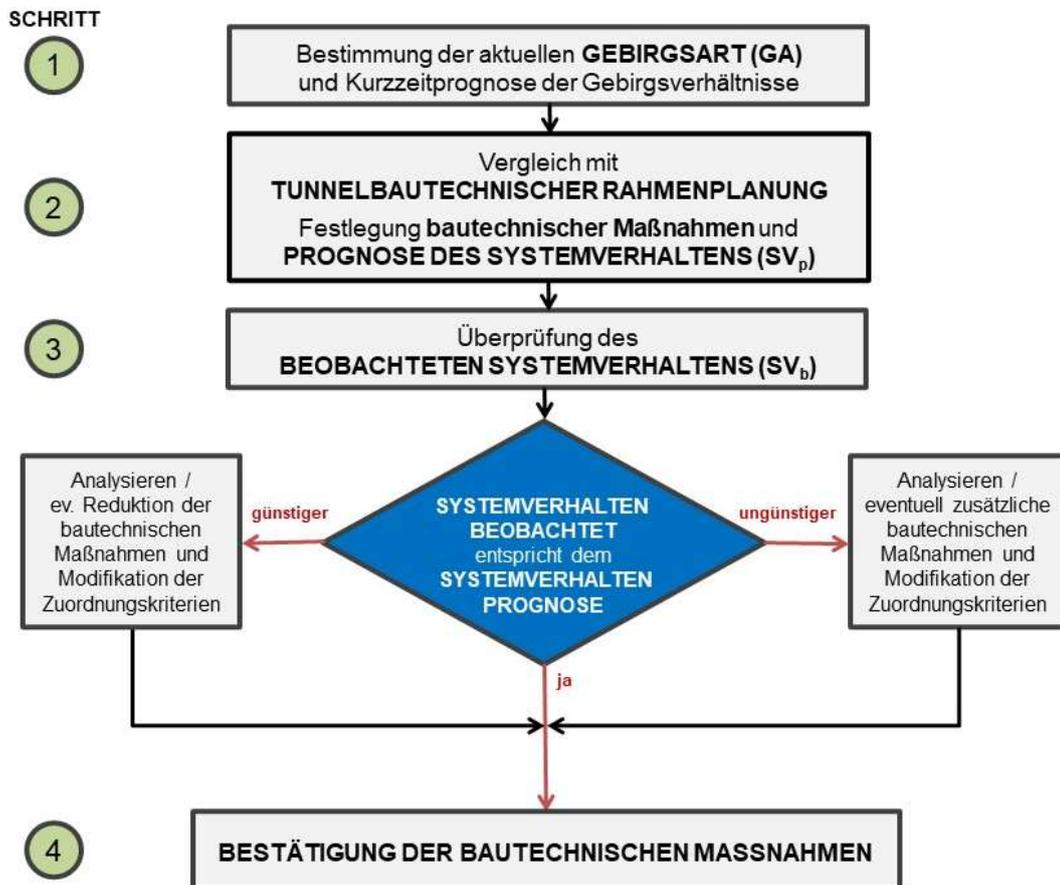


Abbildung 5: Schematischer Ablauf der Geotechnischen Planung, Phase 2

6.2. Tunnelbautechnische Rahmenplanung

Auf Basis der Ergebnisse der Phase 1 - Planung definiert der Planer in der Tunnelbautechnischen Rahmenplanung die Anforderungen an die bautechnischen Maßnahmen für die Bauausführung. Beim kontinuierlichen Vortrieb sind die Maßnahmen an die vom Auftragnehmer gewählte TVM anzupassen. Die von der Planung definierten bautechnischen Maßnahmen sind in der Folge den tatsächlich vor Ort angetroffenen Gebirgsverhältnissen anzupassen, um eine Optimierung hinsichtlich der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu ermöglichen. Ein stabiles Systemverhalten über die geplante Nutzungsdauer ist sicherzustellen. Entsprechend dem vorwiegenden Tragelement soll wie folgt vorgegangen werden:

- Primäres Tragelement Gebirge
 - Bei Vortrieben, deren primäres Tragelement das Gebirge bildet, kann der Handlungsspielraum für die Festlegung der Maßnahmen nach Erfordernis vor Ort entsprechend groß gewählt werden.

- Primäres Tragelement Ausbau
 - Bei Vortrieben, deren primäres Tragelement der Ausbau bildet, ist die Möglichkeit der Anpassung, im Speziellen der Reduktion des Ausbaus vor Ort, begrenzt. Ausnahmen davon bilden die Voraussicherung, Lage, Anzahl und Größe der Teilflächen und in geringem Umfang der Ablauf der Ausbruch- und Stützmaßnahmen. Die Tunnelbautechnische Rahmenplanung hat in diesem Fall den Verantwortlichen auf der Baustelle einen entsprechend geringeren Handlungsspielraum zu geben.

Die Tunnelbautechnische Rahmenplanung inkludiert das erwartete Systemverhalten mit den dafür erforderlichen bautechnischen Maßnahmen. Es sollen die unbedingt einzuhaltenden Vorgaben und die vor Ort festzulegenden Maßnahmen definiert werden.

Maßnahmen zur Gewährleistung der Nutzungsdauer des Tunnelbauwerks sind jedenfalls über die Planung vorzugeben.

Erforderliche Angaben im Tunnelbautechnischen Rahmenplan sind:

- Graphische Darstellung
 - Baugeologischer Längenschnitt inklusive Legende
 - Lage der Erkundungsbohrungen und Grundwassermessstellen
 - Ggf. Bebauungs- und Einbautensituation
- Bauwerk
 - Überlagerung
 - Geländehöhen an markanten Punkten
 - Gradienten
 - Bauteile des Tunnelbauwerks (z.B.: Regelprofile, Querschläge, u.s.w.)
 - Bestandsanlagen
 - Kilometrierung
 - Vortriebsstationierung
 - Vortriebsabschnitte
- Geologie und Prognose Baugeologie
 - Baugeologische Gesteins- und Gebirgsbeschreibung in Kurzform
 - Gefügeverhältnisse (Lagenkugel)
 - Gebirgsbereiche
 - Gebirgsartenverteilung (prozentuell je Gebirgsbereich oder ggf. Lokalisierung von Gebirgsarten)
 - Quell-/Schwellpotenzial
 - Lage, Orientierung, Mächtigkeit und Charakteristik von Störungszonen

- Häufigkeit der Wechsel der Gebirgsarten in Tunnellängsrichtung
- Primärspannungen
- Gasführung
- Geogene und anthropogene Risiken
- Gebirgstemperatur
- Prognose Hydrogeologie
 - Hydrogeologische Gebirgsbeschreibung
 - Druckhöhe des Berg- / Grundwassers zum Bauwerk
 - Schüttung der Wasserzutritte bezogen auf den Vortriebsbereich und auf definierte Tunnelstrecken inkl. Angaben zur zeitlichen Entwicklung
 - Schüttung im Beharrungszustand bzw. nach Baufertigstellung
 - Qualität der Wässer (hydrochemische Beschaffenheit, Wassertemperatur, Betonaggressivität, Versinterungsneigung)
- Prognose Systemverhalten
 - Verteilung der Systemverhaltenstypen zumindest je Gebirgsbereich
- Bautechnische Maßnahmen für den zyklischen Vortrieb
 - Vortriebsrichtung
 - Abbaufolge
 - Abschlagslänge
 - Mindestvorgaben für Stützmaßnahmen
 - Vor Ort festzulegende Maßnahmen
- Bautechnische Maßnahmen für den kontinuierlichen Vortrieb abhängig vom TVM-Typ beispielsweise
 - Betriebsmodus
 - Tübbingtyp
 - Ringspaltverfüllung
 - Ortsbrustertüchtigung
- Bereiche für Zusatz- und Sondermaßnahmen, beispielsweise
 - Entwässerungen
 - Injektionen
 - Vorauserkundungen
- Ausbau mit/ohne Innenschale (bewehrt, unbewehrt)
- Monitoring / Geotechnische Messquerschnitte (Typen, Verteilung)

6.3. Bestimmung der aktuellen Gebirgsart und Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse

Die baugelogische Dokumentation hat regelmäßig und in nachvollziehbarer Form die angetroffenen Baugrundverhältnisse festzuhalten [31]. Die zu erhebenden Parameter sind auf die im Ausschreibungsprojekt festgelegten „Identifikationsparameter“ sowie „ergänzenden Parameter“ abzustimmen. Zusätzlich kann die Erhebung weiterer Parameter, welche das Systemverhalten beeinflussen, erforderlich werden. Für die Erhebung der Parameter ist eine nachvollziehbare und nach Möglichkeit quantifizierbare Form (numerische Werte oder Wertebereich, vordefinierte Klassen) heranzuziehen. Zur Überprüfung von prognostizierten Baugrundeigenschaften sowie zur Dokumentation derselben können baubegleitend Laborversuche erforderlich sein. Beim kontinuierlichen Vortrieb können aus den Maschinendaten (z.B. Anpresskraft, Penetration) nach entsprechender Kalibrierung zusätzliche Hinweise auf die Gebirgsart gewonnen werden.

Bei ausgeprägt heterogenen Gebirgsverhältnissen ist die Ortsbrust (und ggf. Laibung) in Teilbereiche zu untergliedern, für die die jeweiligen Parameter getrennt zu erheben sind.

Die dokumentierten Gebirgseigenschaften werden mit den in der Planung definierten Gebirgsarten verglichen. Anhand der Identifikationsparameter sowie unter Berücksichtigung des in der Planung festgelegten Größenmaßstabes einer Gebirgsart wird die aktuell angetroffene Gebirgsart bestimmt.

Zusätzlich zu den Parametern zur Ermittlung der Gebirgsart(en) sind die einzelnen Einflussfaktoren für das Systemverhalten, wie z.B. Bergwasserverhältnisse, Orientierung der maßgeblichen geologischen Strukturen zum Bauwerk, Spannungssituation, kinematische und kinetische Gegebenheiten im Ausbruchbereich zu erheben und aufzuzeichnen.

Erforderlichenfalls können anhand einer Präzisierung der Identifikationsparameter oder weiterer Parameter die in der Planung definierten Gebirgsarten weiter untergliedert werden. Sollten Gebirgszustände angetroffen werden, die in ihren maßgebenden mechanischen Eigenschaften in der Planungsphase nicht prognostiziert wurden, sind neue Gebirgsarten zu definieren.

6.3.1. Extrapolation der Baugrundverhältnisse über den Ausbruchsrund hinaus

Da das Systemverhalten von dem den Hohlraum umgebenden Gebirge bestimmt wird, ist laufend in Ergänzung zur regelmäßigen baugelogischen Dokumentation eine Modellvorstellung für das außerhalb des Ausbruchsquerschnittes befindliche Gebirge zu entwickeln [6]. Basierend auf dem aktuellen Ortsbrustbefund, den bisherigen Dokumentationserkenntnissen, allfälligen Erkundungsergebnissen sowie Hinweisen aus den geotechnischen Beobachtungen sind die Gebirgsverhältnisse über den Hohlraumrand hinaus darzustellen (mindestens 0,5 Ausbruchdurchmesser). Baugelogische Angaben, die über den gegenwärtigen Ausbruch hinausreichen, sind als Extrapolation und Prognose zum gegebenen Zeitpunkt zu kennzeichnen und daher vom Dokumentationsbefund des Ausbruchbereiches abzugrenzen.

6.3.2. Kurzzeitprognose

Für das unmittelbar aufzufahrende (vor und außerhalb der Ortsbrust befindliche) Gebirge ist eine Kurzzeitprognose zu erstellen, die als Entscheidungsgrundlage für die nachvollziehbare Festlegung von bautechnischen Maßnahmen dient. Die Kurzzeitprognose soll einen Bereich von

ca. 1 – 2 Ausbruchsdurchmessern, jedoch mindestens einer Tagesleistung, vor der aktuellen Ortsbrust umfassen und auch die Gebirgsverhältnisse über den Hohlraumrand hinaus berücksichtigen. Erkundungsmaßnahmen (z.B. Bohrungen, Geophysik) dienen bei Bedarf zur weiteren Informationsbeschaffung.

6.4. Festlegung von bautechnischen Maßnahmen

Die Entscheidung über die auszuführenden Baumaßnahmen basiert auf der Planung und aller vor Ort gewonnenen Informationen und hat eine sichere und wirtschaftliche Bauausführung zu gewährleisten. Die Entscheidung muss nachvollziehbar begründet und dokumentiert werden, z.B. durch ein Beiblatt zur Ausbaufestlegung gem. [1][2].

6.4.1. Kurzzeitprognose des Systemverhaltens (SV_p)

6.4.1.1. Zyklischer Vortrieb

Basis für die Festlegung von Ausbruch und Stützung ist die Prognose des Systemverhaltens. Eine laufende Analyse der gebirgsmechanischen Vorgänge im bereits ausgebrochenen Bereich erlaubt eine Einschätzung der Gebirgsverhältnisse außerhalb des aufgeschlossenen Bereiches. Die Auswertung der geotechnischen Messungen ermöglicht wertvolle Hinweise auf vorausliegende Gebirgsverhältnisse [32].

Methoden zur Interpretation der Messergebnisse als Unterstützung der Kurzzeitprognose sind:

- Auswertung der räumlichen Spannungsumlagerung durch die Verwendung von Zustandslinien (Einflusslinien) [33]
- Extrapolation von Verschiebungstrends [34]
- Analyse von Verschiebungsvektororientierung und/oder Verhältnisse von Verschiebungskomponenten unterschiedlicher Messpunkte [33][35][36][37][38]
- Analyse von zusätzlichen Messergebnissen von z.B. Extensometern, Inklinometern [39]
- Ermittlung des Auslastungsgrades des Ausbaus [40][41][42]

In Kombination mit der prognostizierten Gebirgsstruktur werden die Ergebnisse der geotechnischen Messungen sowie die Beobachtungen vor Ort (z.B. Brucherscheinungen) zur Prognose des Systemverhaltens für den unmittelbar vor der Ortsbrust liegenden Bereich herangezogen.

Die Prognose des Systemverhaltens sollte zumindest beinhalten:

- Verhalten im Ausbruchbereich
- Erwartete Größe und Richtung der Verschiebungen des Hohlraumrandes und gegebenenfalls der Oberfläche sowie der zeitliche Verlauf und die räumliche Verteilung der Verschiebungen [32][34][43][44]
- Erwartete Auslastung der Stützmittel

6.4.1.2. Kontinuierlicher Vortrieb

Basis für die Festlegung von bautechnischen Maßnahmen ist die Prognose des Systemverhaltens in allen Bereichen (siehe Anhang C). Eine laufende Analyse der gebirgsmechanischen Vorgänge im bereits ausgebrochenen Bereich erlaubt eine Einschätzung der Gebirgsverhältnisse außerhalb des aufgeschlossenen Bereiches.

Methoden zur Kurzzeitprognose sind:

- Interpretation von Ergebnissen der Vorauserkundung [58]
- Interpretation der Maschinendaten
- Beobachtungen zum Systemverhalten gem. Abbildung 2 (siehe Anhang C)
- Ggf. Erfahrungen aus vorauseilendem Vortrieb
- Auswertung der geotechnischen Messungen ermöglicht wertvolle Hinweise auf vorausliegende Gebirgsverhältnisse [32], wenngleich dies beim kontinuierlichen Vortrieb abhängig vom eingesetzten Maschinentyp, in Hinblick des mitunter großen Abstandes zur Ortsbrust und diverser Randbedingungen (Einfluss Bettungsverhältnisse, steifer Tübbingausbau) zum Teil nur eingeschränkt möglich ist. Methoden zur Interpretation siehe zyklischer Vortrieb
- Prognose des Auslastungsgrades des Ausbaus (z.B. auf Basis der Verschiebungsprognose)

Die Prognose des Systemverhaltens sollte zumindest beinhalten:

- Systemverhalten in allen Bereichen
- Prognose der erforderlichen bautechnischen Maßnahmen
- Erwartete Größe und Richtung der Verschiebungen des Hohlraumrandes und gegebenenfalls der Oberfläche sowie der zeitliche Verlauf und die räumliche Verteilung der Verschiebungen [32][34][43][44]
- Erwartete Auslastung der Stützmittel

Die bautechnischen Maßnahmen werden nach den Kriterien des Tunnelbautechnischen Rahmenplans sowie der Entscheidungsmatrix des Geotechnischen Sicherheitsmanagementplans festgelegt und damit das Systemverhalten prognostiziert.

6.4.2. Vergleich mit der Tunnelbautechnischen Rahmenplanung

Um die bautechnischen Maßnahmen festlegen zu können, ist zunächst festzustellen, ob und inwieweit die tatsächlich anstehenden Gebirgsverhältnisse mit den in der Planung getroffenen Annahmen hinsichtlich Gebirgsart und Systemverhalten für den aktuellen Ausbruchbereich (zyklischer Vortrieb) bzw. für die aktuellen Bereiche (siehe Anhang C) gemäß der Tunnelbautechnischen Rahmenplanung übereinstimmen. Werden die vor Ort anstehenden Baugrundverhältnisse mit den Annahmen und Grundlagen der gültigen Rahmenplanung erfasst, so sind bei der vor Ort vorzunehmenden Festlegung der bautechnischen Maßnahmen die Vorgaben der Rahmenplanung zu berücksichtigen. Die in der Rahmenplanung angegebenen örtlich festzulegenden Maßnahmen sind an die Gegebenheiten vor Ort anzupassen.

Sollten die tatsächlichen Gebirgsverhältnisse in der vorliegenden Rahmenplanung nicht

abgedeckt sein oder Abweichungen zum Tunnelbautechnischen Rahmenplan festgestellt werden, so ist der Planer zu informieren und die Planung entsprechend Kap. 6.5 und 6.6 fortzuschreiben.

6.4.3. Verfeinerung der bautechnischen Maßnahmen

Im Zuge der Phase 1 - Planung wurden jedem Gebirgsverhalten bautechnische Maßnahmen zugeordnet. Die zunehmende Kenntnis während der Bauausführung erlaubt eine Optimierung der bautechnischen Maßnahmen. Zur Erhöhung der Zielgenauigkeit kann es zweckmäßig sein die Anzahl der Parameterklassen zu erhöhen oder zusätzliche Parameter einzuführen. Änderungen in den Zuordnungskriterien oder Parameterklassen müssen mit Baustellendaten belegt werden. Signifikante Änderungen erfordern eine Fortschreibung der Tunnelbautechnischen Rahmenplanung gemäß Kap. 6.6.

6.5. Überprüfung des beobachteten Systemverhaltens (SV_b)

6.5.1. Zyklischer Vortrieb

Mit Hilfe der Beobachtung des Systemverhaltens im Ausbruchbereich, eventueller Brucherscheinungen und der Auswertung und Analyse der Messdaten wird das beobachtete Systemverhalten (SV_b) im gesicherten Bereich und im Endzustand beurteilt. Im Vergleich mit dem prognostizierten Systemverhalten (SV_p) wird überprüft, ob das tatsächliche Systemverhalten innerhalb des für den Bereich gültigen Soll-Verhaltens liegt. Zusätzliche Messungen und Auswertungen können eingesetzt werden, um z.B. den Auslastungsgrad der Stützmittel größenordnungsmäßig abzuschätzen.

Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Verhalten sind sorgfältig zu analysieren, zu dokumentieren und es sind Rückschlüsse für die weitere Vorgangsweise abzuleiten.

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

- abweichende baugeologische / geotechnische Verhältnisse
- eine nicht zutreffende Parameterzuordnung
- eine nicht zutreffende Annahmen von Einflussfaktoren
- eine nicht zutreffende Stützmittelwahl

zurückzuführen sein.

Die Ursachen für die Abweichung sind zu analysieren. Sollten nichtzutreffende Annahmen von Einflussfaktoren (z.B. Spannungssituation) vorliegen, sind die Parameter entsprechend zu modifizieren. Die Modifikation ist nachvollziehbar zu begründen sowie im Rahmen der Fortschreibung der Geotechnischen Planung zu dokumentieren.

Stellt sich ein von der Prognose signifikant abweichendes Systemverhalten ein, ist das Prognosemodell zu überarbeiten und sind die Vorgaben für Ausbruch- und Stützmaßnahmen für künftige Abschlüsse zu modifizieren (siehe dazu Vorgangsweise in Kap. 7.4.1).

Im Falle eines ungünstigeren Systemverhaltens kann die Anpassung der Maßnahmen einerseits nachträglich erfolgen (z.B. Nachankerung, Einbau eines Kalottensohlgewölbes, etc.), andererseits kann auch eine Verstärkung des Ausbaues im nächstfolgenden Ausbruchbereich die angestrebten Auswirkungen im zurückliegenden Vortriebsbereich nach sich ziehen.

6.5.2. Kontinuierlicher Vortrieb

Je nach TVM-Typ und Betriebsweise sind die Erhebung geologisch-geotechnischer Daten, Beobachtungen und Verschiebungsmessungen im Bereich der TVM mitunter nur bedingt möglich [49]. Zusätzlich werden Maschinendaten zur geotechnischen Interpretation herangezogen. Mögliche Beobachtungen und Maschinendaten zur Dokumentation des Systemverhalten (SV_b) sind im Anhang C beschrieben [50][51]. Im Vergleich mit dem prognostizierten Systemverhalten (SV_p) wird überprüft, ob das tatsächliche Systemverhalten innerhalb des für den Bereich gültigen Soll-Verhaltens liegt. Zusätzliche Messungen und Auswertungen können eingesetzt werden, um z.B. den Auslastungsgrad der Stützmittel größenordnungsmäßig abzuschätzen.

Ursachen für Abweichungen sind zu analysieren. Sollten nichtzutreffende Annahmen von Einflussfaktoren (z.B. Spannungssituation) vorliegen, sind die Parameter entsprechend zu modifizieren. Die Modifikation ist nachvollziehbar zu begründen sowie im Rahmen der Fortschreibung der Geotechnischen Planung zu dokumentieren.

Stellt sich ein von der Prognose abweichendes Systemverhalten ein, ist das Prognosemodell zu überarbeiten. Die bautechnischen Maßnahmen sind ggf. zu modifizieren.

6.6. Fortschreibung der Planung

Der Geotechniker vor Ort, dem die geotechnische Betreuung übertragen wurde, hat dem Planer signifikante Abweichungen der aktuellen geologisch-geotechnischen Verhältnisse (insbesondere hinsichtlich Gebirgsart und Systemverhalten) gegenüber der gültigen Rahmenplanung umgehend mitzuteilen und ihm, nach Abstimmung mit den örtlichen Geologen und den Baustellenverantwortlichen, einen detaillierten schriftlichen Bericht mit Darstellung aller relevanten Informationen zu übermitteln.

Basierend darauf ist die Planung fortzuschreiben. Die Fortschreibung der Rahmenplanung beinhaltet eine Überprüfung des Prognosemodells, welches an die neuen Erkenntnisse anzupassen ist. Resultierend daraus sind durch den Planer gegebenenfalls angepasste bautechnische Maßnahmen festzulegen. Ergibt sich aus den tatsächlich angetroffenen geologisch-geotechnischen Verhältnissen bzw. dem beobachteten Systemverhalten die Erfordernis einer sekundären Stützung bzw. deren Anpassung, ist dies in der Fortschreibung der Planung ebenfalls zu berücksichtigen.

7. GEOTECHNISCHES SICHERHEITSMANAGEMENT

7.1. Einleitung

Tunnelbauwerke in geschlossener Bauweise sind im besonderen Maße risikobehaftet, da der Baugrund meist nicht vollständig erkundet und dessen Eigenschaften nicht zuverlässig bestimmt werden können. Die Unsicherheiten im Baugrundmodell und systemimmanente Vereinfachungen in den angewendeten Rechenmodellen führen zu Unsicherheiten im prognostizierten Systemverhalten. Dadurch können die mit dem Bau verbundenen Risiken oft nicht hinreichend genau abgeschätzt werden. Die Realisierung der Untertagebauwerke erfordert daher eine besondere Planungs-, Beobachtungs- und Bauabwicklungsstrategie, um bestehende Restrisiken zu managen und gezielt kontrollieren zu können. Daher ist ein Geotechnisches Sicherheitsmanagement vorzusehen.

7.2. Ziel

Ziel des Geotechnischen Sicherheitsmanagements ist das rechtzeitige Erkennen von Abweichungen vom prognostizierten Systemverhalten und die rasche sachgerechte Reaktion auf außerplanmäßige oder unerwartete Ereignisse.

7.3. Planungsphase

Inhalt und Umfang des Geotechnischen Sicherheitsmanagements sind an die konkreten Rahmenbedingungen des jeweiligen Projekts anzupassen.

7.3.1. Festlegung der Kommunikations- und Informationsabläufe

Der Kommunikations- und Informationsfluss hat sicherzustellen, dass

- relevante Abweichungen gegenüber der Prognose frühzeitig erkannt werden,
- die Entscheidung hinsichtlich der zu treffenden Maßnahmen nach Abstimmung mit den jeweiligen Fachleuten zeitgerecht erfolgt und
- die einzuleitenden Maßnahmen umgehend umgesetzt werden.

Dafür sind die jeweiligen Zuständigkeiten zu definieren.

7.3.2. Festlegung der Maßnahmen und des Beobachtungsprogramms

Ziel der Festlegungen ist die aufeinander abgestimmte Optimierung von Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und geplanter Nutzungsdauer. Bei der Festlegung der Maßnahmen sind die Nutzungsanforderungen einzuhalten und die Ergebnisse der Planung mit der gebotenen Flexibilität und Anpassungsfähigkeit vor Ort in Einklang zu bringen.

Ein Leitfaden für ein Beobachtungsprogramm für unterschiedliche Randbedingungen kann dem ÖGG-Handbuch für Geotechnisches Monitoring [32] entnommen werden.

7.3.3. Zusammenfassung der Festlegungen im Geotechnischen Sicherheitsmanagementplan

Der Geotechnische Sicherheitsmanagementplan soll folgende Grundelemente umfassen:

- Definition des im Zuge der Bauausführung erwarteten Systemverhaltens (Soll-Verhalten)
- Definition der zu beobachtenden sicherheitsrelevanten Parameter und zugehörige Beobachtungsmethoden
- Definition zulässiger Abweichungen vom Soll-Verhalten
- Definition von Warn- und Alarmkriterien samt Interventionsmethoden/-maßnahmen
- Festlegung des Auswerteprozesses: Auswertemethoden, Datensammlung, Auswertung, Interpretation und Informationsfluss zwischen den Projektbeteiligten
- Organisatorische Vorgangsweise für den Fall des Eintretens von Warn- und Alarmstufen

7.3.4. Definition des erwarteten Verhaltens (Soll-Verhalten)

Der Planer definiert vor Bauausführung das Soll-Verhalten zufolge des Tunnelvortriebes und - sofern relevant - dessen Auswirkungen an der Oberfläche.

Typische Angaben, die durch absolute Werte, relative Kriterien oder verbale Beschreibungen definiert werden, sind:

- Verschiebungen des Tunnels und eventuell Beeinflussung von benachbarten Hohlräumen für sämtliche Bauzustände
- Verschiebungstrends
- Ortsbrustverhalten
- Auslastungsgrad der Stützmittel
- Wasser-/Gaszutritte, Materialeinträge
- Oberflächensetzungen und deren räumliche Ausdehnung
- Verschiebungen, Erschütterung, Tangentenneigung und/oder Krümmung von Einbauten und obertägiger Bebauung

7.4. Bauausführungsphase

7.4.1. Vorgangsweise

Die Grundelemente des Geotechnischen Sicherheitsmanagements basieren auf der Beobachtungsmethode und erfordern während der Bauausführung meist eine Fortschreibung, um die Grenzwerte des auftretenden Verhaltens, die sich ursprünglich an der Detailplanung orientieren, an die Beobachtungen und Erfahrungen vor Ort anzupassen. Demzufolge sind die Warn- und Alarmkriterien nach Erfordernis fortzuschreiben. Die Herleitung der Fortschreibung ist nachvollziehbar zu dokumentieren.

Die Vorgangsweise erfolgt entsprechend dem jeweiligen beobachteten Systemverhalten (Abbildung 6):

- Beobachtetes Systemverhalten (Ist-Verhalten) liegt im Rahmen der Prognose: Laufender Vergleich und Verifizierung mit dem Soll-Verhalten
- Systemverhalten über einen größeren Bereich und Zeitraum günstiger als prognostiziert: Wirtschaftliche Optimierung von Ausbruch und Stützung
- Systemverhalten ungünstiger als erwartet: Umgehendes Gegensteuern im Rahmen des Warn- und Alarmsystems bzw. Durchführung des Krisenmanagements. Dafür sind entsprechende Interventionsmaßnahmen vorzusehen

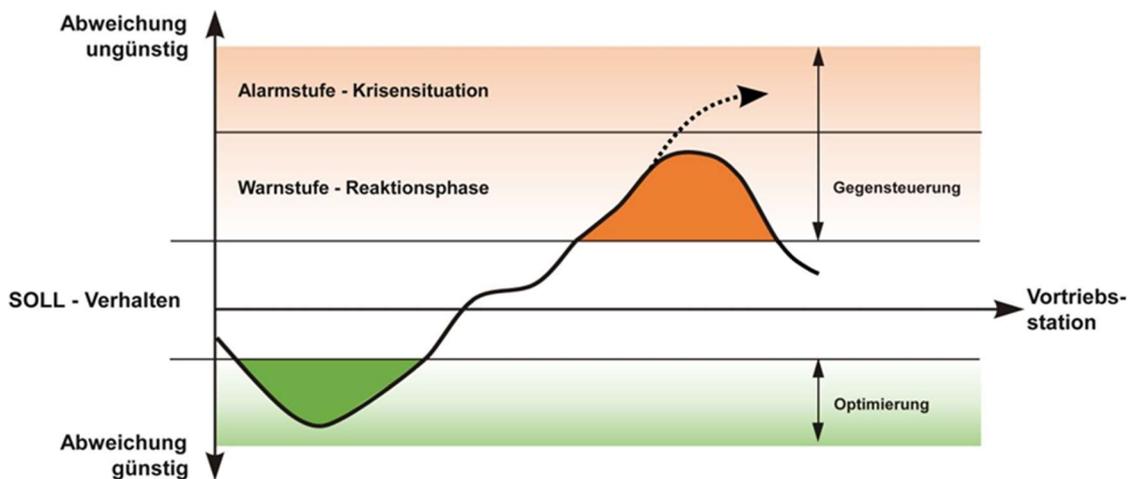


Abbildung 6: Warn- und Alarmstufen sowie Aktionsebenen des Geotechnischen Sicherheitsmanagements (nach [45])

7.4.2. Warn- und Alarmsystem

Das Management von ungünstigen Entwicklungen oder auch von Krisen erfordert neben der Klärung von Zuständigkeiten und Abläufen ein klar definiertes Warn- und Alarmsystem. Es enthält die in Tabelle 2 aufgelisteten Stufen.

Tabelle 2: Stufen des Warn- und Alarmsystems

Stufen		Charakteristik
Soll-Verhalten	0	Systemverhalten (Ist-Verhalten) entspricht dem Soll-Verhalten gemäß den Vorgaben der Planung
Warnstufe	1	Ungünstige Abweichung vom Soll-Verhalten mit Überschreitung des Warnkriteriums - Reaktionsphase
Alarmstufe	2a	Gefahr in Verzug – Krisensituation Auswirkung ist auf die Baustelle begrenzt
	2b	Gefahr in Verzug – Krisensituation Auswirkung geht über die Baustelle hinaus und betrifft Dritte

Die Grenzen der Warn- und Alarmstufen werden durch Warn- und Alarmkriterien definiert. Diese können absolute Werte, relative Kriterien, Verschiebungstendenzen oder außergewöhnliche Ereignisse (z.B. Verbruch) sein.

Im Falle des Überschreitens des Warnkriteriums wird jeweils eine von 2 Stufen (1, 2a oder 2b) in Abhängigkeit des Grades der Abweichung ausgerufen.

Projektspezifisch kann es zweckmäßig sein, eine Vorwarnstufe zu definieren, um bei ungünstigen Entwicklungen frühzeitig zu informieren.

Die Kriterien für die Warnstufe Stufe 1 sind durch eine ungünstige Abweichung vom Soll-Verhalten und/oder hoher Materialausnutzung mit noch ausreichender Sicherheit bis zum Eintritt des Versagensfalles gekennzeichnet.

Die Kriterien für die Alarmstufe Stufe 2a beschreiben beispielsweise wiederholt progressive Verschiebungszuwächse, Situationen mit nur noch geringer Sicherheit zum Versagensfall bzw. mit lokalem Versagen.

Die Alarmstufe 2b ist auszusprechen, wenn sich in Fällen der Alarmstufe 2a Auswirkungen auf Dritte ergeben können.

Im Krisenfall soll nach folgenden Prioritäten vorgegangen werden:

1. Schutz der öffentlichen Sicherheit
2. Schutz der Sicherheit von Projektbeteiligten
3. Schutz der Standsicherheit von Bauwerken

Die Rücknahme einer Warn- oder Alarmstufe kann erfolgen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

1. Standsicherheit des Tunnels gegeben und / oder keine fortschreitende Beeinträchtigung der Oberfläche, von Bebauung oder Einbauten durch gesicherte Beobachtung oder statisch nachgewiesen
2. Maßnahmen ergriffen und deren Wirksamkeit nachgewiesen

Hinsichtlich der Implementierung eines Geotechnischen Sicherheitsmanagements bei großen Infrastrukturprojekten in Planung und Bau wird auf [46][47][48] verwiesen.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ÖNORM B 2203-1. Untertagebauarbeiten Teil 1: Zyklischer Vortrieb, Werkvertragsnorm
- [2] ÖNORM B 2203-2. Untertagebauarbeiten Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb, Werkvertragsnorm
- [3] ÖNORM EN 1997-1. Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
- [4] RVS 09.01.42. Geschlossene Bauweise im Lockergestein unter Bebauung; Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV)
- [5] Riedmüller, G., Schubert, W. (1999). Critical comments on quantitative rock mass classifications. *Felsbau* 17, No 3, pp. 164-167
- [6] Wagner, O.K., Fasching, A., Stadlmann, T., Vanek, R. (2017). Semmering Base Tunnel – Ground characterisation for tendering and construction / Semmering- Basistunnel - Gebirgsansprache in Ausschreibung und Bau; *Geomechanics and Tunnelling*, volume 10, No 5, pp. 574 – 583, Berlin: Ernst & Sohn Verlag
- [7] Pilgerstorfer, T., Radonicic, N., Moritz, B., Goricki, A. (2011). Evaluation and interpretation of monitoring data in the test adit EKT Paierdorf / Auswertung und Interpretation der Messdaten aus dem Versuchsstollen EKT Paierdorf, *Geomechanics and Tunnelling*, volume 4, No 5, pp. 423-434, October 2011, Berlin: Ernst & Sohn Verlag
- [8] Schubert, P., Hölzl, H., Sellner, P., Fasching, F. (2010). Geomechanical knowledge gained from the Paierdorf investigation tunnel in the section through the Lavanttal main fault zone / Geomechanischer Wissenszuwachs durch den Erkundungstunnel Paierdorf im Abschnitt der Lavanttaler Hauptstörungszone. *Geomechanics and Tunnelling*, volume 3, No 2, pp. 163–173. Berlin: Ernst & Sohn Verlag
- [9] Dinis, J. C. C. (2009). Assessment of rock mass parameters based on the monitoring data from the Koralm investigation tunnels. Master thesis, Civil Engineering Department, University of Porto
- [10] Radonicic, N. (2008). Back analysis of elastic properties of the ground using data from a large scale plate load test. In *Proceedings/American Rock Mechanics Association / San Francisco 08 / digital proceedings* (pp. 1-8).
- [11] Hoek, E. (2018). Lessons learned from geolegends; Evert Hoek. *Geo-Strata*, ASCE.
- [12] Hoek, E., Brown, E.T. (2019). The Hoek-Brown failure criterion and GSI - 2018 edition, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 11 (2019) pp. 445-463
- [13] Palmström, A. (1996). The Rock Mass index (RMI) applied in rock mechanics and rock engineering, *Journal of rock mechanics and Tunnelling Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 1-40
- [14] Cai, M. (2011). Rock Mass Characterization and Rock Property Variability Considerations for Tunnel and Cavern Design, *Rock Mech Rock Eng* 44: 379–399, Springer Verlag

- [15] Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering rock mass classifications, New York: Wiley
- [16] Norwegian Geotechnical Institute (2015). Handbook - Using the Q-System. Rock mass classification and support design
- [17] Edelbro, C., Sjöberg, J., Nordlund, E. (2006). A quantitative comparison of strength criteria for hard rock masses. In Tunnelling and Underground Space Technology 22(1), pp. 57–68.
- [18] Wittke, W. (1984). Felsmechanik – Grundlagen für wirtschaftliches Bauen im Fels, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg GesmbH
- [19] Kalender, A., Sönmez, H., Medley, E., Tunusluoglu, C., Kasapoglu, K. E. (2014). An approach to predicting the overall strengths of unwelded bimrocks and bimsoils. Engineering Geology 183, pp. 65-79
- [20] Pilgerstorfer, T., Schubert, W. (2015). Mechanical Characterisation of Tectonic Faults: Closing the Gap. ISRM Regional Symposium – Eurock 2015, Ed. Schubert W. & Kluckner A., pp. 469-474, Hrsg. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik Salzburg
- [21] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2017). Leitfaden für die Ermittlung geologisch-geotechnischer Grundlagen für die Planung tiefliegender Tunnel. Hrsg. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik Salzburg
- [22] Goodman, R.E., Shi, G.H. (1985). Block theory and its application to rock engineering. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
- [23] John, K.W., Deutsch, R. (1974). Die Anwendung der Lagenkugel in der Geotechnik. Festschrift Leopold Müller-Salzburg, Karlsruhe
- [24] Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F. (1995). Support of underground excavations in hard rock. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield
- [25] Feder, G. (1977). Zum Stabilitätsnachweis für Hohlräume in festem Gebirge bei richtungsbetontem Primärdruck. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 122 (4), 131-140
- [26] Feder, G. (1978). Versuchsergebnisse und analytische Ansätze zum Scherbruchmechanismus im Bereich tiefliegender Tunnel. Rock Mechanics 6, 71-102
- [27] Sulem, J., Panet, M., Guenot, A. (1987). Closure analysis in deep tunnels. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Science (24), 145-154
- [28] Brown, E.T., Bray, J.W., Ladanyi, B., Hoek, E. (1983). Ground response curves for rock tunnels. J. Geotech. Engrg., ASCE, 109 (1), pp. 15-39
- [29] Diederichs, M.S., Carter, T., Martin, D. (2010). Practical Rock Spall Prediction in Tunnels. ITA World Tunnel Congress Vancouver
- [30] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2016). Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken. Salzburg
- [31] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2022). Empfehlung für die baugewologische Dokumentation bei der Ausführung von Untertagebauwerken. Salzburg

- [32] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2014). Handbook – Geotechnical Monitoring in Conventional Tunnelling. Salzburg
- [33] Vavrovsky, G.M., (1994). Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung. In Felsbau 12 (1994), No 5, pp. 312-329
- [34] Schubert, P., Vavrovsky, G.M., (1995). Advanced analysis of monitored displacements opens a new field to continuously understand and control the geotechnical behaviour of tunnels. T. Fuji (ed), Proc. 8th Int. Congress on Rock Mechanics, 1415 - 1419
- [35] Schubert, W., Steindorfer, A. (1998). Advanced Monitoring Data Evaluation and Display for Tunnels. In A. Negro Jr., A. A. Ferreira (eds.), Tunnels and Metropolises; Proc. intern. symp., Sao Paulo: 1205-1208. Rotterdam: Balkema
- [36] Schubert, W., Steindorfer, A., Vavrovsky, G.M. (1997). Auswertung und Interpretation von Verschiebungsmeßdaten. In Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (Hsg.), Taschenbuch für den Tunnelbau, 21. Jg.: 137-168. Verlag Glückauf, Essen
- [37] Steindorfer A. (1997). Short Term Prediction of Rock Mass Behaviour in Tunnelling by Advanced Analysis of Displacement Monitoring Data. In Riedmüller, Schubert, Semprich (eds.), Gruppe Geotechnik Graz, Heft 1
- [38] Grossauer K., Lenz G. (2007). Is it possible to automate the interpretation of Displacement Monitoring Data? In Felsbau 25, No 5, pp. 99-106. Essen: VGE
- [39] Volkmann, G., Schubert, W. (2006). Optimization of Excavation and Support in Pipe Roof Supported Tunnel Sections. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 21. Nos. 3-4; 404 (abstract); CD paper No: PITA06-0165
- [40] Hellmich, C., Macht, J., Mang, H.A. (1999). Ein hybrides Verfahren zur Bestimmung der Auslastung von Spritzbetonschalen auf der Basis von In-situ-Verschiebungsmessungen und thermo-chemo-mechanischer Materialmodellierung. Felsbau 17, No 5, pp. 422-425, Essen: VGE
- [41] Moritz, B., Brandtner, M. (2009). Yet Another Way of Calculating Stresses in a Shotcrete Lining, Shotcrete for Underground Support. International Conference Shotcrete for Underground Support XI (2009), Davos
- [42] Schubert, P. (1988). Beitrag zum rheologischen Verhalten vom Spritzbeton. Felsbau 6, No 3, pp. 150–153, Essen: VGE
- [43] Sellner, P. (1999). Prediction of displacements in tunnelling. In Schubert, Semprich Riedmüller(eds) Schriftenreihe Gruppe Geotechnik Graz, Heft 9,
- [44] Sellner, P. Grossauer, K. (2002). Prediction of Displacements for Tunnels. In Felsbau 20, No 2, pp. 24-30. Essen: VGE
- [45] Vavrovsky, G. M., Ayaydin, N., Schubert, P. (2001). Geotechnisches Sicherheitsmanagement im oberflächennahen Tunnelbau. Felsbau 19, No 5, pp. 133-139. Essen: VGE
- [46] Moritz, B., Schubert, W. (2009). Application of the observational method in geotechnical safety management / Die Umsetzung der Beobachtungsmethode im Rahmen des Geotechnischen Sicherheitsmanagements. Geomechanics and Tunnelling, volume 2, No 3, pp. 269–28, Berlin: Ernst & Sohn Verlag

- [47] Moritz, B., Koinig, J., Vavrovsky, G.-M. (2011). Geotechnical safety management in tunnelling – an efficient way to prevent failure / Geotechnisches Sicherheitsmanagement im Tunnelbau - ein effizienter Weg zur Schadensvermeidung; Geomechanics and Tunnelling, volume 4, No 5, pp. 472-488, Berlin: Ernst & Sohn Verlag
- [48] Sochatzy, G. (2001). Geotechnisches Sicherheitsmanagement beim Wiener U- Bahnbau / Geotechnical safety management - Underground Railway Vienna. – In Felsbau 19, No 5, pp. 140-147, Essen: VGE
- [49] Vigl, A. (2012). TBM unter schwierigen Einsatzbedingungen - Planungsgrundsätze und bautechnische Umsetzung. Brenner Congress 2012. Ernst & Sohn.
- [50] Radoncic, N., Hein, M., Moritz, B. (2014). Determination of the system behaviour based on data analysis of a hard rock shield TBM, Geomechanics and Tunnelling 7, No. 5, 565-576.
- [51] Poisel, A., Meier, A., Bach, D. (2023). The application of the guideline for the geotechnical design of underground structures with TBM excavation in Austria. Geomechanics and Tunnelling 16, No 1, 38-46.
- [52] Handke, D.; Matt, R.; Wilfinger, N. (2011). Maschinen- und verfahrenstechnische Charakterisierung des Gebirges unter dem Einfluss des Interaktionsverhaltens Maschine – Baugrund. Tunnel 6 .
- [53] Keiper, K.; Crapp, R.; Amberg, F. (2010). Bewertung der Interaktion von TBM und Gebirge im Felstunnelbau auf Basis von geomechanischen Berechnungen. Geomechanics and Tunnelling 3, No. 5. Ernst & Sohn Verlag.
- [54] Ramoni, M.; Anagnostou, G. (2011). The Interaction Between Shield, Ground and Tunnel Support in TBM Tunnelling Through Squeezing Ground. Rock Mech Rock Eng, 44:37-61. Springer.
- [55] Vigl, A. (1999). Zusammenspiel zwischen Geotechnik und Vortriebstechnik. Aus: Poisel, R.; Tentschert, E. (Hrsg.): Einsatzmöglichkeiten von Tunnelbohrmaschinen im Flysch. Schwerpunktseminar 12.5.1999 Wien (Eigenv.). (= Mitt. f. Ingenieurgeologie und Geomechanik) S. 143-149.
- [56] Gerstner, R.; Tentschert, E.; Vigl, A. (2001). Quantifizierung oder Qualifizierung geologischer Parameter für TBM-Vortriebe. In: Felsbau, 19/ 5, S. 107-113.
- [57] Wendl, K. (2012). Ingenieurgeologische Vortriebsdokumentation und Auswertung von Hydroschildvortrieben - Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen Reihe B: Ingenieurgeologie, Hydrogeologie, Geothermie Band 18.
- [58] 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.
- [59] 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, pp. 318-325

- [60] International Tunneling and Underground Space Association ITA-AITES, International Association of Engineering Insurers (IMIA) (2023). A code of practice for risk management of tunnel works. Châtelaine, Switzerland
- [61] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2017). Ermittlung geologischgeotechnischer Grundlagen für die Planung tiefliegender Tunnel - Leitfaden. Salzburg

ANHÄNGE

ANHANG A: ÜBERSICHTSTABELLEN PARAMETER

Die nachfolgenden Tabellen geben einen beispielhaften Überblick über mögliche Parameter zur Beschreibung von Gebirgsarten und Einflussfaktoren. Die für das jeweilige Vorhaben maßgebenden Parameter sind projektspezifisch auszuwählen und erforderlichenfalls zu ergänzen.

Für die Ermittlung geologisch-geotechnischer Grundlagen für die Planung tiefliegender Tunnel wird auf [61] verwiesen.

In jeder Planungsphase sind für alle verwendeten Parameter und Eigenschaften die zu Grunde liegenden Verfahren für Definition und Ermittlung anzugeben. Die Ausschreibung hat in Hinblick auf die Kalkulation und Bauausführung konkrete Angaben zu Normen, Regelwerken, Literatur oder projektspezifischen Festlegungen zu enthalten.

Die angeführten Parameter beziehen sich auf die Gebirgskomponenten Festgestein, Lockergestein und Trennflächengefüge sowie auf den gesamten Gebirgsverband.

Weiters sind Parameter für die Einflussfaktoren Bergwasser, Trennflächenorientierung und Primärspannungen gegeben. Einzelne Parameter können auf mehrere Bereiche zutreffen und sind mehrfach genannt. In der Spalte "Normen" sind jene in Österreich gültigen Normen angeführt, die den jeweiligen Parameter definieren und deren Ermittlung festlegen. Die in den Normen angegebenen Verweise sind zu beachten. Bei fehlenden Normen sind in einer weiteren Spalte Verweise auf "Sonstige Regelwerke/Literatur" angeführt. Weiters enthält diese Spalte konkretisierende Empfehlungen.

Darüber hinaus werden Unterscheidungen getroffen, welche Parameter für die Geotechnische Planung und für die Kalkulation relevant sind.

Fußnote (1): Die Anisotropie der mechanischen Eigenschaften ist für die einzelnen Parameter zu beschreiben.

Fußnote (2): Die angegebenen Kennwerte sind zum Teil voneinander abhängig und lassen sich je nach Konstellation auch rechnerisch ermitteln

Fußnote (3): Anmerkung Gebirgseigenschaften: Die Gebirgseigenschaften resultieren zu einem wesentlichen Teil aus den Gesteins- und Trennflächeneigenschaften und sind auf Grundlage von Modellen, Literatur oder Erfahrung nachvollziehbar herzuleiten.

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Festgestein							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke und Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung / Kalkulation
Petrographie	Gesteinsart	ÖNORM EN ISO 14689	-	-	-	x	x
	Modaler Mineralbestand mit besonderer Betrachtung von quellfähigen Mineralen (z.B. Tonminerale, Anhydrit), besonderen Mineralen (z.B. Erze, asbestiforme Minerale, Graphit) und organischen Anteilen	---	Röntgendiffraktometrieanalyse, Dünnschliffauswertung, Rietveld-Verfahren	-	%-Anteile der Minerale	x	x
	ortsübliche Bezeichnung, lithologische Kurzbeschreibung, Textureigenschaften	ÖNORM EN ISO 14689	-	-	-	-	x
	Verwitterung, Alteration	ÖNORM EN ISO 14689	-	-	-	x	x
	Lösungsphänomene	ÖNORM EN ISO 14689	-	-	-	x	x

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Festgestein							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke und Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung / Kalkulation
Mechanische Eigenschaften (1)	einaxiale Druckfestigkeit	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM, DGGT-Empfehlung Nr. 1	UCS	MPa	x	x
	Spaltzugfestigkeit	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM, DGGT-Empfehlung Nr. 10	$\sigma_{(sz)}$	MPa	x	x
	Zähigkeit (Zähigkeitskoeffizient):	---	rechnerisch ermittelt	TC (UCS:BTS)	[-]	x	x
	innerer Reibungswinkel	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	φ_i	°	x	-
	Kohäsion	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	c_i	MPa	x	-
	Elastizitätsmodul	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	E	MPa	x	-
	Poissonzahl	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	ν_i	-	x	-
Hoek-Brown-Konstante	---	ISRM SM	m_i	-	x	-	
Dichte	Dichte	ÖNORM EN 1997-2		ρ	g/cm ³	x	x
	Wassergehalt	ÖNORM EN 1997-2		w	%	x	x
Abrasivität	Äquivalenter Quarzgehalt	---	Thuro 2002	Ä _{Qu}	%	-	x
	CERCHAR-Abrasivitäts-Index	---	DGGT-Empfehlung Nr. 23, ISRM SM	CAI	[-]	-	x
Zustands- und Volumenänderungen	Veränderlichkeit	ÖNORM EN ISO 14689		-	-	x	x
	Zerfallsbeständigkeit im Siebtrommelversuch (slake durability)	---	ISRM SM, DGGT- Empfehlung Nr. 20	I_d	%	x	x
	Schwell- / Quellpotenzial (Druck, Hebung)	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM, DGGT- Empfehlung Nr. 11	σ, h	MPa, %	x	x

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Lockergestein, lockergesteinsähnliches Störungsgestein							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung/ Kalkulation
Kornzusammensetzung	Petrographische Bestandteile, ortsübliche Bezeichnung, lithologische Kurzbeschreibung	ÖNORM EN ISO 14688-1+2		-	-	x	x
	Modaler Mineralbestand mit besonderer Betrachtung von quellfähigen Mineralen (z.B. Tonminerale, Anhydrit), besonderen Mineralen (z.B. Erze, asbestiforme Minerale, Graphit) und organischen Anteilen	---	Röntgendiffraktometrieanalyse, Rietveld-Verfahren	-	Vol-%	x	x
	organische Anteile	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM B 4424, ÖNORM EN ISO 14688-1+2		-	%	x	x
Korngröße, Korngeometrie, Korngefüge	Korngrößenverteilung	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-4, ÖNORM EN ISO 14688-1+2		-	-	x	x
	Kornform, Kornrundung, Korngefüge, Textur	ÖNORM EN ISO 14688-1		-	-	x	x
	Komponenten-Matrix-Verhältnis	ÖNORM EN ISO 14688-1, ÖNORM EN ISO 17892-4		m _x , m _y	%	x	x

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Lockergestein, lockergesteinsähnliches Störungsgestein								
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung/ Kalkulation	
Steine/Blöcke	Steinanteil mit Angaben zu Gesteinsart, Festigkeit, Abrasivität und Form	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 14688-1+2	ISRM SM, DGGT-Empfehlung Nr. 1, ISRM SM, DGGT-Empfehlung Nr. 23	-	%	x	x	
	Blockanteil mit Angaben zu Gesteinsart, Festigkeit, Abrasivität, Form und maximalen Blockgröße	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 14688-1+2	ISRM SM, DGGT-Empfehlung Nr. 1, ISRM SM, DGGT-Empfehlung Nr. 23	-	%	x	x	
Feinfraktionen	Feinstkornanteil (< 0,002 mm)	ÖNORM EN ISO 17892-4		-	%	x	x	
	Feinkornanteil (< 0,06 mm)	ÖNORM EN ISO 17892-4		-	%	x	x	
Konsistenz	Atterberg'sche Zustandsgrenzen (Schrumpfgrenze, Ausrollgrenze, Fließgrenze)	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-12		W _s , W _p , W _L	%	x	x	
	Plastizitätsindex	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-12		I _p	-	x	x	
	Konsistenzzahl	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-12		I _c	-	x	x	
Festigkeit	Scherfestigkeit	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-10, ÖNORM EN ISO 17892-9		c, φ	kPa	x	-	

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Lockergestein, lockergesteinsähnliches Störungsgestein							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung/ Kalkulation
	Effektiver Reibungswinkel	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-9		φ'	°	x	-
	Effektive Kohäsion	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-9, ÖNORM EN ISO 17892-10		c'	kPa	x	-
	Undrainierte Kohäsion	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-8		c_u	kPa	x	-
Verformbarkeit (Zusammen- drückbarkeit) (2)	Elastizitätsmodul (E-Modul) für Be-, Ent- und Wiederbelastung (*)	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892- 7/8/9		E_u	MPa	x	-
	Querdehnzahl	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892- 7/8/9		ν	-	x	-
	Schubmodul	ÖNORM EN 1997-2	rechnerisch ermittelt	G	MPa	x	-
	Kompressionsmodul	ÖNORM EN 1997-2	rechnerisch ermittelt	K	MPa	x	-
	Steifemodul	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-5		E_s	MPa	x	-
	Verformungsmodul	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM B 4417		E_v	MPa	x	-
	Kompressionsbeiwert	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-5		C_c	-	x	-

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Lockergestein, lockergesteinsähnliches Störungsgestein							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung/ Kalkulation
	Schwellbeiwert	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-5		C _s	-	x	-
Dichte (2)	Trockendichte, Feuchtdichte, Sättigungsdichte	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-2		ρ _d , ρ, ρ _{sat}	g/cm ³	x	x
	Korndichte	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-3		ρ _s	g/cm ³	x	-
	Porenanteil, Porenzahl	---	rechnerisch ermittelt	n, e	%, -	x	-
	Lagerungsdichte	ÖNORM EN 1997-2		D	-	x	x
	bezogene Lagerungsdichte	---	rechnerisch ermittelt	ID	-	x	-
	Wassergehalt	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-1		w	%	x	x
	Sättigungsgrad	---	rechnerisch ermittelt	s	%	x	x
Abrasivität	Äquivalenter Quarzgehalt	---	Thuro 2002, Rietveld-Verfahren	Ä _{Qu}	%	x	x
	LCPC-Abrasivitätskoeffizient	---	AFNOR NF P18-579	A _{Br}	g/t	x	x
Volumenänderungen	Quellpotenzial (Quelldruck, -hebung)	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM, DGGT- Empfehlung Nr. 11	σ, h	MPa, %	x	x

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Lockergestein, lockergesteinsähnliches Störungsgestein							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung/ Kalkulation
Wasser, Luft	Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-11, ÖNORM EN ISO 22282-1 bis 6	-	k _f	m/s	x	x
	Luftdurchlässigkeitsbeiwert	---	Projektspez. Untersuchungen z.B. Feldversuche	k _a	m/s	x	x
Zementation	partielle Verkittung oder Verfestigung	---	z.B. Kalkgehalt nach DIN 18129	-	-	x	x

(*)... In Abhängigkeit des gewählten Stoffgesetzes sind ggf. zusätzliche Parameter (z.B. Hardening Soil / HS: E_{ur}^{ref} , E_{50}^{ref} , E_{oed}^{ref} etc.) zu ermitteln.

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Trennflächengefüge							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung / Kalkulation
Trennflächen- eigenschaften	Trennflächentyp	ÖNORM EN ISO 14689		-	-	x	x
	Ausbisslänge, Persistenz, Trennflächengröße	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	-	m, m ²	x	x
	Trennflächenabstand	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	-	cm	x	x
	Oberfläche (Rauigkeit, Welligkeit)	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM			x	x
	Öffnungsweite	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	-	mm	x	x
	Bestege, Füllungen	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	-	-	x	x
	Verwitterung, Alteration	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	-	-	x	x
Lösungsphänomene, Hohlräume, Karst	ÖNORM EN ISO 14689			-	-	x	x
Mechanische Eigenschaften	Reibungswinkel	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	φ	°	x	-
	Restreibungswinkel	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	φ_r	°	x	-
	Kohäsion	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	c	MPa	x	-
	Restkohäsion	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	c_r	MPa	x	-
	Dilatationswinkel	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	i	°	x	-
	Scherfestigkeit	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM	c, φ	MPa	x	-

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Trennflächengefüge							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung / Kalkulation
Trennflächengefüge	Anzahl der Trennflächenscharen	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	n	-	x	x
	Form der Gesteinskörper	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	-	-	x	x
	Größe der Gesteinskörper	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	-	-	x	x
	Geological Strength Index GSI	---	ISRM SM, Hoek&Brown 2018	GSI	-	x	x

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Gebirge							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung / Kalkulation
Physikalische Eigenschaften	Dichte (Gebirge)	---	(3)	ρ_{Geb}	g/cm^3	x	x
Mechanische Eigenschaften, Gebirgsfestigkeit	Einaxiale Druckfestigkeit (Gebirge)	---	(3)	UCS_{Geb}	MPa	x	x
	Kohäsion (Gebirge)	---	(3)	c_{Geb}	MPa	x	-
	Reibungswinkel (Gebirge)	---	(3)	φ_{Geb}	°	x	-
	Poissonzahl (Gebirge)	---	(3)	ν_{Geb}	-	x	-
	Elastizitätsmodul (Gebirge)	---	(3)	E_{Geb}	MPa	x	-
Zustands- und Volumenänderungen	Anisotropie der mechanischen Eigenschaften	---	(3)	-	-	x	-
	Schwell- / Quellhebung	---	(3)	h	%	x	-
Durchlässigkeit	Schwell- / Quelldruck	---	(3)	σ	MPa	x	-
	Durchlässigkeitsbeiwert	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 22282-1 bis 6	(3)	k_f	m/s	x	x
Gasführung	Gasart (z.B. Methan, Schwefelwasserstoff, Kohlenstoffmonoxid, etc.)	---	(3)	-	% (bezogen auf UEG), bar	-	x

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Gebirge							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung / Kalkulation
Radioaktivität	Angaben zur Strahlenquelle (z.B. aus Mineralbestand, Gasführung); Richtdosis, Aktivitätskonzentration	---	(3)	-	mSv/a, Bq/m ³	-	x
Heterogenität, Wechselhaftigkeit	Angaben zur Häufigkeit von Wechsel der Gebirgsarten in Tunnellängsrichtung	---	(3)	-	-	x	x

Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten
Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Einflussfaktoren							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	In der Regel relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung/ Kalkulation
Orientierung der maßgeblichen geologischen Strukturen	Raumlage der Trennflächen	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	-	-	x	x
	relative Orientierung der maßgeblichen geologische Strukturen (Trennflächen, Gesteinsschichten, Störungen etc.) zum Bauwerk	---		-	-	x	x
Primärspannungen	Orientierung der Hauptnormalspannungen im Raum	---	ISRM SM	-	-	x	-
	Beträge der Hauptnormalspannung	---	ISRM SM	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	MPa	x	x
Berg-/Grundwasser	Lage und Schwankungsbreite des Berg- /Grundwasserspiegels	ÖNORM EN 1997-2		-	-	x	x
	Druckhöhe des Berg-/Grundwassers zum Bauwerk	ÖNORM EN 1997-2		p	bar	x	x
	Qualität der Wässer (hydrochemische Beschaffenheit, Wassertemperatur)	ÖNORM EN 1997-2		-	-	x	-
	Betonaggressivität	ÖNORM B 4710-1		-	-	x	x
	Versinterungsneigung			-	-	x	x
	Schüttung der Wasserzutritte bezogen auf den Vortriebsbereich und auf definierte Tunnelstrecken inkl. Angaben zur zeitlichen Entwicklung				-	l/s	x

Allgemein wird festgehalten, dass die Richtlinie von jeweils gültigen Normen und Regelwerken ausgeht. Nachfolgend sind die gültigen Normen zum Druckdatum angeführt.

ÖNORMEN

ÖNORM EN ISO 14689: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels

ÖNORM EN ISO 14688-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung

ÖNORM EN ISO 14688-2: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen

ÖNORM EN ISO 17892-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts

ÖNORM EN ISO 17892-2: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 2: Bestimmung der Dichte des Bodens

ÖNORM EN ISO 17892-3: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 3: Bestimmung der Korndichte

ÖNORM EN ISO 17892-4: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung

ÖNORM EN ISO 17892-5: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 5: Oedomerversuch mit stufenweiser Belastung

ÖNORM EN ISO 17892-7: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 7: Einaxialer Druckversuch

ÖNORM EN ISO 17892-8: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 8: Unkonsolidierter undrännierter Triaxialversuch

ÖNORM EN ISO 17892-9: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 9: Konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten Böden

ÖNORM EN ISO 17892-10: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 10: Direkte Scherversuche

ÖNORM EN ISO 17892-11: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

ÖNORM EN ISO 17892-12: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen

ÖNORM EN 1997-2: Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds (konsolidierte Fassung)

ÖNORM EN ISO 22282-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 1: Allgemeine Regeln

ÖNORM EN ISO 22282-2: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 2: Wasserdurchlässigkeitsversuche in einem Bohrloch unter Anwendung offener Systeme

ÖNORM EN ISO 22282-3: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 3: Wasserdruckversuch in Fels

ÖNORM EN ISO 22282-4: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 4: Pumpversuche

ÖNORM EN ISO 22282-5: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 5: Infiltrationsversuche

ÖNORM EN ISO 22282-6: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 6: Wasserdurchlässigkeitsversuche im Bohrloch unter Anwendung geschlossener Systeme

ÖNORM B 4417: Geotechnik - Untersuchung von Böden - Statischer Lastplattenversuch

ÖNORM B 4424: Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des organischen Anteils

ÖNORM B 4710-1: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Verwendung und Konformität - Teil 1: Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206 für Normal- und Schwerbeton

ISRM Suggested Methods (ISRM SM)

ISRM (2007): The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. Ulusay, R. & Hudson, J.A., (ed.), Ankara.

ISRM (2015): The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007–2014. Ulusay, R (ed.), Cham, Switzerland: Springer

DGGT-Empfehlungen

Empfehlung Nr. 1: Einaxiale Druckversuche an zylindrischen Gesteinsprüfkörpern (Bautechnik 10/2004)

Empfehlung Nr. 10: Indirekter Zugversuch an Gesteinsproben - Spaltzugversuch (Bautechnik 9/2008)

Empfehlung Nr. 11: Quellversuche an Gesteinsproben (Bautechnik 3/1986)

Empfehlung Nr. 20: Zerfallbeständigkeit von Gestein - Siebtrommelversuch (Bautechnik 2/2002)

Empfehlung Nr. 23: Bestimmung der Abrasivität von Gesteinen mit dem CERCHAR-Versuch (Bautechnik 6/2016)

Literatur, sonstige Regelwerke

THURO, K., (2002). Geologisch-felsmechanische Grundlagen der Gebirgslösung im Tunnelbau. - Münchner Geologische Hefte, Reihe B, Angewandte Geologie, B18, I-XIV; München 2002.

AFNOR Association française de normalisation (2013). NF P 18-579: Granulats - Détermination des coefficients d'abrasivité et de broyabilité

ANHANG B: BEISPIEL RISIKOANALYSE

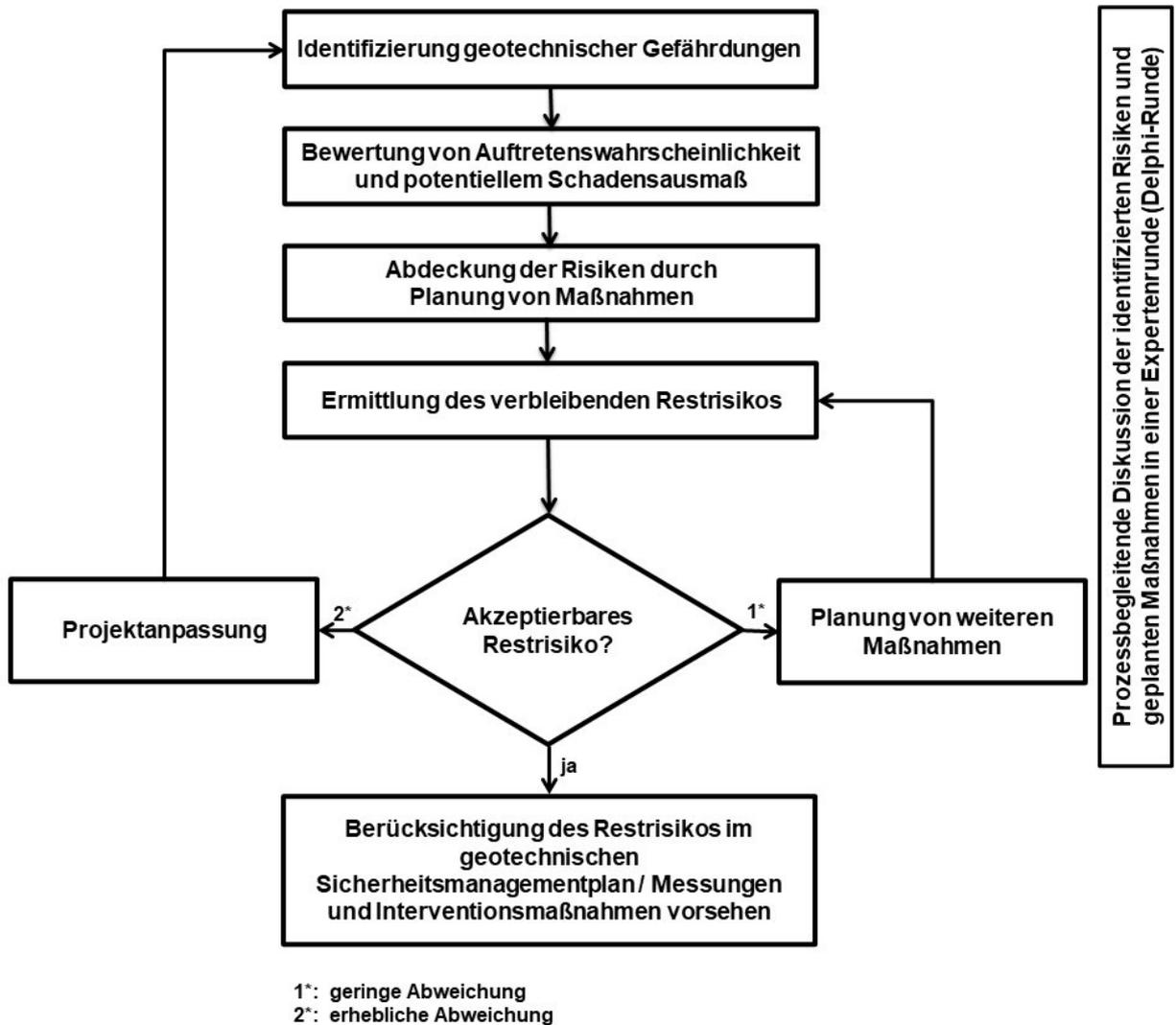


Abbildung B-1: Ablauf Risikoanalyse

ANHANG C: GEOTECHNISCHE DOKUMENTATION BEI TVM VORTRIEBEN MIT TBM-DS UND TBM-S

Ergänzend zu den ohnehin baugeologisch dokumentierten Parameter, wie z.B. Gebirgsarten, Wasserzutritte sind nachfolgende Parameter zu dokumentieren.

Augenscheinliche Beobachtungen vor Ort – visuelle Beurteilung des Systemverhaltens

SV – Bohrkopfbereich/Schneidradbereich – Ortsbrust:

Beobachtungsmöglichkeiten z.B.: Mannlöcher, Räumeröffnungen, Diskenkästen

- Oberflächenbeschaffenheit Ortsbrust
- Max. Tiefe der Ausbrüche
- Flächenanteil der vorgebrochenen Ortsbrust
- Sichtbarkeit der Abbauwerkzeugspuren
- Flächenanteil Material vor Bohrkopf/Schneidrad
- Nachbrüche/Nachfälle während der Begehung
- Zustand der Abbauwerkzeuge (Verschleißarten, etc.)

SV – Bohrkopfbereich/Schneidradbereich - Laibung:

- Profilmaßhaltigkeit
- Sichtbarkeit der Abbauwerkzeugspuren im Kaliberbereich
- Max. Tiefe der Ausbrüche

SV – Bohrkopfbereich/Schneidradbereich - Schutterung:

- Gleichmäßigkeit des Förderstromes
- Gesteinskörperanteil
- Form des Ausbruchsmaterials

SV – Schildbereich:

Beobachtungsmöglichkeiten z.B.: Schildspalt von Bohrkopf/Schneidrad aus; Öffnungen im Schildmantel („Geologenfenster“, Putzöffnungen, etc.)

- Beurteilung der Verklausungssituation
- Beurteilung Geometrie Schildspalt (Abstichmaße Außenkante Schild – Gebirge)

SV – Einbaubereich:

Beobachtungsmöglichkeiten: Verblasöffnungen (Ringraum), Tübbingoberflächen, Ringfugen, Längsfugen

- Beurteilung der Verklausungssituation und Bettungssituation (Teilbettung)
- Beurteilung Geometrie Ringspalt (Abstichmaße Außenkante Tübbingring – Gebirge)
- Tübbingausbau: Rissituation (Rissweiten, Risshäufigkeit), Abplatzungen, Versätze, Fugenöffnungen, Dichtigkeit

SV – Endzustand:

Beobachtungsmöglichkeiten: Verblasöffnungen (Ringraum), Tübbingoberflächen, Ringfugen, Längsfugen

- Beurteilung der Bettungssituation (z.B. Ringraum vollständig verfüllt)
- Tübbingausbau: Rissituation (Rissweiten, Risshäufigkeit), Abplatzungen, Versätze, Fugenöffnungen, Dichtigkeit

TVM-Maschinendaten (direkte)

- Gesamtvortriebskraft
- Bohrkopf-/Schneidradanpresskraft
- Penetration
- Vortriebsgeschwindigkeit
- Drehzahl Bohrkopf/Schneidrad
- Drehmoment
- Massenbilanz
- Stromaufnahme Brecher
- Verblasmengen
- Mörtelverpressdrücke
- Steuertendenzen
- Gripperkräfte
- Kräfte beim Umsetzen des Gripperschildes
- Stabilsatorweg
- Diskenkraft
- Diskenrotation

Abgeleitete Parameter aus den TVM-Maschinendaten (indirekte)

- Schildreibung
- Spezifische Penetration
- Drehmomentfaktor

Geotechnische Messungen

- 3D-Verschiebungsmessungen im Einbaubereich und Endzustand
- Sehnenmessungen im Einbaubereich und Endzustand
- Messtübbingringe (z.B. Dehnmessgeber, faseroptische Sensoren, Druckdosen)
- Extensometermessungen
- Piezometermessungen

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