



AUSTRIAN
SOCIETY FOR
GEOMECHANICS



ÖSTERREICHISCHE
GESELLSCHAFT FÜR
GEOMECHANIK

Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb

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

2021



Richtlinie

**für die Geotechnische Planung
von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb**

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

3. überarbeitete Auflage
2021

Leitung

(in alphabetischer Reihenfolge)

Moritz Adolf Bernd

ÖBB-Infrastruktur AG

Mitglieder des Arbeitskreises

(in alphabetischer Reihenfolge)

Daller Josef

ZT Daller

Diewald Martin

PORR Tunnelbau

Eder Manfred

Laabmayr & Partner ZT GesmbH

Ekici Zafer

IGT - Geotechnik und Tunnelbau ZT GmbH

Goricki Andreas

3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH

Gradsack Oliver

ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH

John Max

Zivilingenieur für Bauwesen

Leitner Wolfgang

Hinteregger & Söhne Baugesellschaft mbH

Matt Kajetan

ILF Consulting Engineers Austria GmbH

Moritz Adolf Bernd

ÖBB-Infrastruktur AG

Pilgerstorfer Thomas

Geoconsult ZT GmbH

Pischinger Gerald

Geoconsult ZT GmbH

Schnabl Robert

ASFINAG

Schubert Wulf

Technische Universität Graz

Steindorfer Albert

3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH

Vanek Robert

3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH

Voringer Jürgen

Swietelsky Tunnelbau GmbH & Co KG

Wagner Oliver Kai

ÖBB-Infrastruktur AG

Beirat

(in alphabetischer Reihenfolge)

Benedikt Johannes

ILF Consulting Engineers Austria GmbH

Bergmaier Michael

iC consulenten ZT GesmbH

Bonapace Paul

Tiroler Wasserkraft AG

Fromm Andreas

ASFINAG Bau Management GmbH

Gschwandtner Gunter

iC consulenten ZT GesmbH

Heissenberger Roman	ÖBB-Infrastruktur AG
Jedlitschka Gernot	Geoconsult ZT GmbH
Kienreich Rainer	Amt der Stmk. Landesregierung
Lauffer Harald	PORR Tunnelbau
Lenz Gerold	iC consulenten ZT GesmbH
Pogats Jakob	ILF Consulting Engineers Austria GmbH
Rath Andreas	PORR Tunnelbau
Schubert Peter	iC consulenten ZT GesmbH
Stacherl Bernhard	Geoconsult ZT GmbH
Stipek Wolfgang	PORR Tunnelbau

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, 25. Februar 2021

INHALTSVERZEICHNIS

1.	VORWORT	1
2.	ZIELSETZUNG	3
3.	BEGRIFFE	5
4.	ABKÜRZUNGEN	9
5.	PHASE 1 – PLANUNG	10
5.1.	Grundsätzlicher Ablauf	10
5.2.	Bestimmung der Gebirgsarten	14
5.2.1	Definition und Abgrenzung von Gebirgsarten	14
5.2.2	Parameter der Gebirgsarten	14
5.2.3	Gebirgskennwerte	15
5.2.4	Angaben	16
5.3.	Bestimmung des Gebirgsverhaltens	17
5.3.1	Methodik	17
5.3.2	Angaben zum GVT	20
5.4.	Bestimmung des Ortsbrustverhaltens	20
5.4.1	Methodik	20
5.4.2	Angaben	20
5.5.	Wahl des Tunnelbautechnischen Konzeptes	21
5.6.	Festlegung bautechnischer Maßnahmen - Ermittlung Systemverhalten	22
5.6.1	Parameter und Einflussfaktoren	22
5.6.2	Methodik	23
5.6.3	Analysen und Nachweise	23
5.6.4	Angaben	23
5.7.	Prognose- und Planungssicherheit	24
5.8.	Ermittlung der Vortriebsklassen	24
5.9.	Berichtswesen	24
5.9.1	Planung	24
5.9.1.1.	Inhalt der Untersuchungsberichte	25
5.9.1.2.	Inhalt Baugeologischer Bericht und Hydrogeologischer Bericht	25
5.9.1.3.	Inhalt des Geotechnischen Berichtes	25
5.9.2	Unterlagen für die Ausschreibung – Geotechnische Prognose	26
6.	PHASE 2 - BAUAUSFÜHRUNG	29
6.1.	Grundsätzlicher Ablauf	29
6.2.	Tunnelbautechnische Rahmenplanung	31

6.3.	Bestimmung der aktuellen Gebirgsart und Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse	33
6.4.	Festlegung von Ausbruch und Stützung	34
6.4.1	Kurzzeitprognose des Systemverhaltens	34
6.4.2	Vergleich mit der Tunnelbautechnischen Rahmenplanung	35
6.4.3	Verfeinerung der bautechnischen Maßnahmen	35
6.5.	Überprüfung des beobachteten Systemverhaltens	36
6.6.	Fortschreibung der Planung	36
7.	GEOTECHNISCHES SICHERHEITSMANAGEMENT	37
7.1.	Einleitung	37
7.2.	Ziel	37
7.3.	Planungsphase	37
7.3.1	Festlegung der Kommunikations- und Informationsabläufe	37
7.3.2	Festlegung der Maßnahmen und des Beobachtungsprogramms	37
7.3.3	Zusammenfassung der Festlegungen im Geotechnischen Sicherheitsmanagementplan	38
7.3.4	Definition des erwarteten Verhaltens (Soll-Verhalten)	38
7.4.	Bauausführungsphase	38
7.4.1	Vorgangsweise	38
7.4.2	Warn- und Alarmsystem	39
8.	LITERATURVERZEICHNIS	42
	ANHÄNGE	45
	Anhang A: Übersichtstabellen Parameter	1
	Anhang B: Beispiel Risikoanalyse	12

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). Um dem Charakter einer Werkvertragsnorm zu entsprechen, wird in der ÖNORM B 2203-1 [1] auf Belange der Planung (z.B. Beschreibung des Gebirges) nicht eingegangen, sondern auf die Richtlinie der ÖGG verwiesen. Die gegenständliche Richtlinie (3. Auflage) ersetzt die „Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb“ vom Oktober 2008.

Die wesentlichsten Änderungen und Ergänzungen sind nachfolgend angeführt:

- Ergänzung von Begriffen
- Überarbeitung Kapitel Gebirgsarten
- Detaillierung Berichtswesen
- Einführung Ortsbrustverhalten
- Einführung Systemverhaltenstyp
- 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 und projektspezifischen Anforderungen und Randbedingungen sind bautechnische Maßnahmen erforderlich, welche eine 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 Maßnahmen an das angetroffene Gebirge (Beobachtungsmethode [2]) und erfordert ein Sicherheitsmanagementsystem [44, 45].

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 und den Eigenschaften des Gebirges beeinflusst. Hinsichtlich der statisch-konstruktiven Planung wird auf die RVS 09.01.42 verwiesen [3].

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 generelle Verfahrensanleitung, welche die wesentlichen Aufgaben strukturiert sowie zeitlich und inhaltlich einander zuordnet. Als technische Richtlinie vermeidet sie bewusst, auf Fragen der 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 [4]. 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 Gebirgsverhaltens, welches in übergeordnete Kategorien eingeteilt werden soll (Gebirgsverhaltenstypen),
- Festlegung der bautechnischen Maßnahmen unter Berücksichtigung der aktuellen Randbedingungen,
- Ermittlung und Prognose des Systemverhaltens und der Vortriebsklassen gemäß ÖNORM B 2203-1,
- Definition des Soll-Verhaltens für den Geotechnischen Sicherheitsmanagementplan

Die Resultate der Planung sind in einem Geotechnischen Bericht inklusive Tunnelbautechnischem Prognoselängenschnitt zusammenzufassen. Im Geotechnischen Bericht ist nachvollziehbar darzustellen, welche Gebirgsverhältnisse und 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

AUSBRUCHBEREICH

Bereich des ausgeführten Abschlags eines Voll- oder Teilquerschnittes bis zum Beginn der primären Stützung. Dieser Bereich beinhaltet auch vorausseilende Sicherungsmaßnahmen und die Ortsbrustsicherung.

Der Ausbruchbereich ist in Abbildung 1 schematisch ohne Sicherung 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
- Stützmaßnahmen [gem. Definition ÖNORM B 2203-1]
- Zusatzmaßnahmen [gem. Definition ÖNORM B 2203-1]
- Sondermaßnahmen [gem. Definition ÖNORM B 2203-1]
- 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 schematisch dargestellt.

FESTGESTEIN

Natürliche Ansammlung von 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 den hergestellten Hohlraum ohne Berücksichtigung von bautechnischen Maßnahmen und ohne Querschnittunterteilung.

GEBIRGSVERHALTENSTYP

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

GEOTECHNISCHER SICHERHEITSMANAGEMENTPLAN

Projektspezifisches Dokument zur Steuerung der geotechnischen Restrisiken.

GESICHERTER BEREICH

Abschnitte mit eingebauter primärer Stützung. Diese umfassen sowohl den Übergangsbereich, in dem nur ein Teil der Stützmittel eingebaut ist, als auch den Bereich mit vollständig eingebauten Stützmitteln.

Der gesicherte Bereich ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

GESTEIN

Durch natürliche Vorgänge entstandene Vereinigung aus meist anorganischen/mineralischen und ggf. amorphen oder organischen Bestandteilen, 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 baugeologischen Dokumentation ab. Allfällige weitere ausführungsrelevante baugeologische Charakteristika werden als „ergänzende Parameter“ den Gebirgsarten zugewiesen.

KURZZEITPROGNOSE

Prognose der Gebirgsverhältnisse und des Systemverhaltens für die bevorstehenden Abschlüsse.

LOCKERGESTEIN

Ansammlung von 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.

SYSTEMVERHALTEN

Verhalten des Systems aus Gebirge und gewählten bautechnischen Maßnahmen, unterteilt in (Abbildung 1):

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

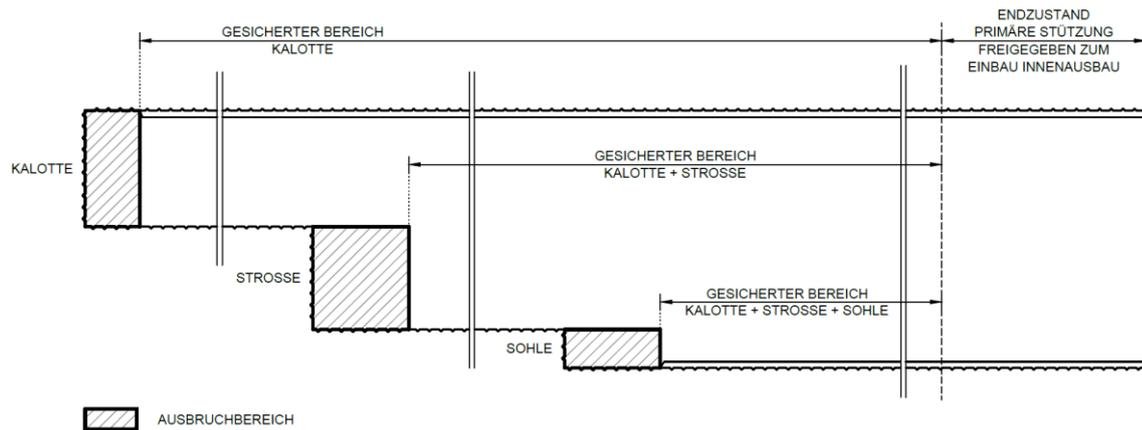


Abbildung 1: Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten

SYSTEMVERHALTENSTYP

Kategorie von ähnlichen 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.

4. ABKÜRZUNGEN

Bezeichnung	Abkürzung
GEBIRGSART	GA
GEBIRGSBEREICH	GB
GEBIRGSVERHALTEN	GV
GEBIRGSVERHALTENSTYP	GVT
SYSTEMVERHALTEN	SV
- AUSBRUCHBEREICH	SV-A
- GESICHERTER BEREICH	SV-G
- ENDZUSTAND PRIMÄRE STÜTZUNG	SV-E
SYSTEMVERHALTENSTYP	SVT
TUNNELBAUTECHNISCHER PROGNOSELÄNGENSCHNITT	PLS
TUNNELBAUTECHNISCHER RAHMENPLAN	RPL
GEOTECHNISCHER SICHERHEITMANAGEMENTPLAN	GTSMP

5. PHASE 1 – PLANUNG

5.1. Grundsätzlicher Ablauf

Im Zuge der Planung untertägiger Bauwerke ist eine Geotechnische Planung durchzuführen, welche Grundlage für die Genehmigungsverfahren, die Erstellung der Ausschreibung (Ermittlung der Vortriebsklassen und deren Verteilung) sowie die Festlegung der bautechnischen Maßnahmen vor Ort bildet.

Die geologischen und hydrogeologischen sowie sonstige relevante Berichte sind Grundlage für die Geotechnische Planung (s. Berichtswesen Kap.5.9).

Das Flussdiagramm (Abbildung 2) zeigt den grundsätzlichen Ablauf der Geotechnischen Planung von der Bestimmung der Gebirgsart bis hin zur Ermittlung der Vortriebsklassen. 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 ingenieurmäßig 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 Gebirgsverhalten

Es werden örtliche Einflussfaktoren ermittelt, welche das Gebirgsverhalten maßgebend beeinflussen.

Diese umfassen:

- Bergwasserverhältnisse
- räumliche Orientierung der Trennflächen in Bezug auf das Bauwerk
- primärer Spannungszustand
- Abmessungen, Form und Lage der Bauwerke/Bauteile

3. Schritt – Bestimmung des Gebirgsverhaltens und Zuordnung zu Gebirgsverhaltenstypen

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

Es wird jenes Gebirgsverhalten beschrieben, welches sich ohne Berücksichtigung von bautechnischen Maßnahmen 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.

4. Schritt – Bestimmung des Ortsbrustverhaltens

Es wird das Ortsbrustverhalten beschrieben, welches sich ohne Berücksichtigung von vorausseilenden Maßnahmen für den Vollausbuch hinsichtlich Standfestigkeit und potenziellen Versagensmechanismen einstellen würde. Das Ortsbrustverhalten wird analog dem Gebirgsverhalten typisiert und den Gebirgsverhaltenstypen zugeordnet.

5. Schritt – Wahl eines Tunnelbautechnischen Konzeptes

Das Tunnelbautechnische Konzept muss die Anforderungen des Projektes berücksichtigen und umfasst u. a. Festlegungen zu:

- Lösemethode
- Angriffspunkte
- Anzahl der Vortriebe
- zeitliche Abfolge der Vortriebe
- Vortriebsrichtung

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

Die bautechnischen Maßnahmen werden in Art und Menge festgelegt und auf dieser Grundlage das Systemverhalten ermittelt.

7. 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.

8. Schritt – Ermittlung der Vortriebsklassen

In diesem Schritt werden die Vortriebsklassen ermittelt, welche sich aus der Bewertung der Baumaßnahmen (gemäß ÖNORM B 2203-1) ergeben.

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 Festlegung von geotechnischen und tunnelbautechnischen Parametern im Sinne von Kalkulationsgrundlagen. Ergänzend ist ein Tunnelbautechnischer Prognoselängenschnitt zu erstellen.

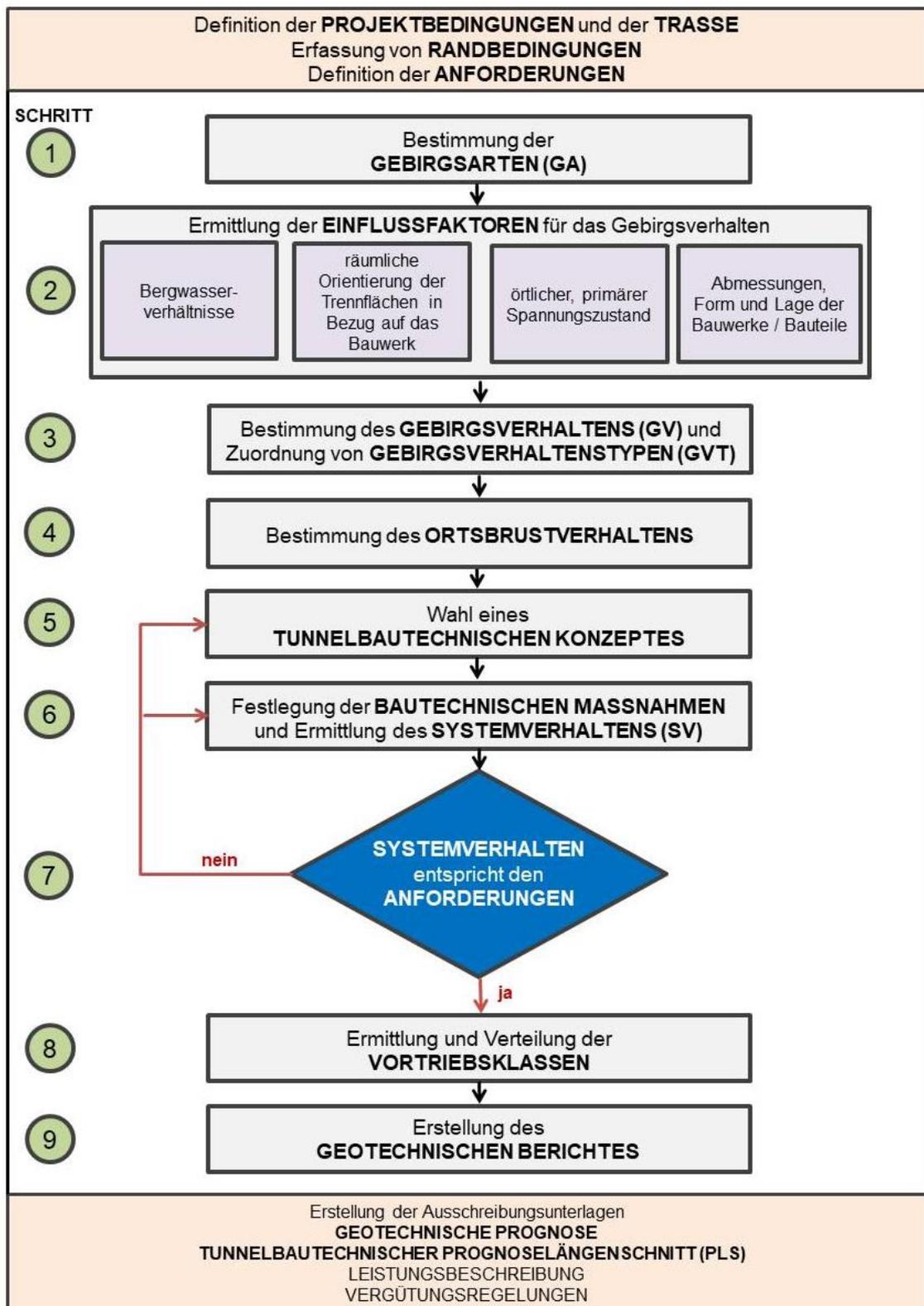


Abbildung 2: Schematischer Ablauf der Geotechnischen Planung, Phase 1

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 und bestimmt werden. Gesteinsverbände mit ähnlichen Kombinationen in Art und Größe der maßgebenden Parameter werden jeweils zu einer Gebirgsart zusammengefasst.

Die Bestimmung der Gebirgsarten hat auf Basis des jeweiligen Erkundungsstandes unter Bedachnahme 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 regional gebräuchliche Normen oder 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. Diese Daten sind vor deren Auswertung und Umsetzung in charakteristische Werte auf deren Repräsentativität zu überprüfen (z.B. Ausreißer, selektive Beprobung u. ä.).

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 erhebbbar sein (z.B. Gesteinsart, Trennflächenabstände o.ä.). Ausführungsrelevante baugeologische 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 für die Ausführungsphase [5].

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 [6, 7, 8, 9].

- 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 [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. 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 [17].

- Block-in-Matrix Konzept:

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 [18, 19].

Um die Unsicherheiten bei der Ermittlung der Gebirgskennwerte zu reduzieren, bietet es sich an, mehrere Verfahren anzuwenden [20].

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 und 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.

5.3. Bestimmung des Gebirgsverhaltens

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

5.3.1 Methodik

Zunächst werden in den einzelnen Bereichen des Hohlraumbauwerkes die Orientierung der maßgeblichen Strukturen relativ zum Hohlraum 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.

Es ist von einem ungestützten Hohlraum ohne Querschnittunterteilung und ohne stützende Wirkung der Ortsbrust auszugehen.

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 Ausbruchzustand, nicht der einzelnen Zwischenbauzustände)
- Lage des Hohlraumes (z.B. zur Oberfläche, Hanglage, zu bestehenden Bauwerken)
- Orientierung des Bauwerks zum Trennflächengefüge (beschreibt die Lage des Bauwerks zu den maßgebenden Trennflächenscharen; dient als Grundlage von kinematischen und kinetischen Überlegungen und zur Ermittlung von gefügebewingter 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 [21], Lagenkugelanalyse [22, 23]
- Gebirgsbeanspruchung: Ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen dem im Einflussbereich des Tunnels vorherrschenden räumlichen Spannungszustand und den Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Gebirges.
Methoden: analytische Verfahren [24, 25, 26, 27], numerische Methoden
- Bruch- und Versagensmechanismen: Mögliche Bruchmechanismen sind zumindest qualitativ zu beschreiben (z.B. Sprödbbruch mit geringer Tiefe, Entspannungsgleiten an Trennflächen, Scherbruch, etc.).
Methoden: Modellversuche, analytische Methoden, numerische Methoden [28], welche die Ausbildung von diskreten Brüchen modellieren, 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. 2/1, 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: 2+10).

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

Tabelle 1: Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen

Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen		Beschreibung des Gebirgsverhaltens (ohne bautechnische Maßnahmen)
1	Standfestes Gebirge	Standfestes Gebirge mit dem Potenzial zum schwerkraftbedingten Herausfallen oder Herausgleiten von kleinvolumigen Kluffkörpern
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 physikalisch/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)
- Orientierung der maßgeblichen Trennflächen relativ zum Hohlraum
- Beanspruchung des Hohlraumrandes und des hohlraumnahen Bereiches
- Bergwasserverhältnisse: Beschreibung von Mengen/Drücken
- Skizze der erwarteten Gebirgsstruktur und des Gebirgsverhaltens
- Versagens- und Bruchmechanismen
- Größenordnung der Verschiebung des ungestützten Hohlraumrandes und Angabe der dominanten Verschiebungsrichtungen. Unterscheidung, ob Verschiebungen rasch abklingen oder lange andauern können.

5.4. Bestimmung des Ortsbrustverhaltens

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

5.4.1 Methodik

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

- Gebirgsart
- Spannungszustand
- Form und Größe des Hohlraumes
- Vortriebsrichtung
- Orientierung des Bauwerks zum Trennflächengefüge
- Einfluss angrenzender Gebirgsarten
- Bergwasserverhältnisse: Beschreibung von Mengen/Drücken

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

Das jeweils ermittelte Ortsbrustverhalten soll in Typen eingeteilt werden, welche den Gebirgsverhaltenstypen zugeordnet werden. Damit ist eine aufeinander abgestimmte Festlegung der bautechnischen Maßnahmen möglich.

5.4.2 Angaben

Folgende Angaben sind für die Typisierung zumindest erforderlich:

- Gebirgsart(en)

- Orientierung der maßgeblichen Trennflächen relativ zur Ortsbrust
- Beanspruchung der Ortsbrust
- Bergwasserverhältnisse
- Skizze der erwarteten Gebirgsstruktur
- Skizze der erwarteten Versagens- und Bruchmechanismen

5.5. Wahl des Tunnelbautechnischen Konzeptes

Nach der Bestimmung der Gebirgsarten, des Gebirgsverhaltens und des Ortsbrustverhaltens wird für jede charakteristische Situation das Tunnelbautechnische Konzept gewählt.

Das Tunnelbautechnische Konzept beinhaltet im Allgemeinen:

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

Dabei wird grundsätzlich nach dem primären Tragelement des Hohlraums unterschieden und es sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- **Primäres 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.

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.

- **Primäres Tragelement Ausbau**

Im Gegensatz dazu steht die Vorgangsweise bei Tunneln, deren primäres Tragelement der Ausbau darstellt. Die Anforderungen an Ausbruch und Stützung bestehen meist 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, auch nachdrängende Gebirgslasten mit Sicherheit abtragen zu können.

5.6. Festlegung bautechnischer Maßnahmen - Ermittlung Systemverhalten

5.6.1 Parameter und Einflussfaktoren

Für das Systemverhalten sind folgende Parameter und Einflussfaktoren maßgebend:

- das Gebirgsverhalten
- das Ortsbrustverhalten
- die Form, Größe und Unterteilung des Ausbruchsquerschnittes
- die Abschlagslänge
- die Lösemethode
- der räumliche Spannungszustand
- das Bergwasser
- die räumliche Entwicklung des Bauablaufes
- die Art und Menge der Stützmittel sowie deren Einbaupunkt, Einbauort und zeitabhängige Wirkung
- nachfolgende Bauphasen
- Beeinflussung durch benachbarte Vortriebe
- Wechselwirkung mit bestehenden Bauwerken

Bei der Festlegung 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 (Zusammenwirken von Gebirge, Ausbau, Zusatzmaßnahmen und Bauablauf) untersucht und den Anforderungen gegenübergestellt.

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.

5.6.2 Methodik

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

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

5.6.3 Analysen und Nachweise

Das Systemverhalten ist durch Analysen zu ermitteln und den Anforderungen gegenüberzustellen. Nachzuweisen 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.)

Alle Nachweise 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.

5.6.4 Angaben

Für die jeweils charakteristischen Verhältnisse (z.B. Gebirgsverhältnisse, Abschnitt eines Tunnels, bestimmte Querschnittsunterteilung, Bauablauf, Sicherungsmethode, etc.) sind Angaben über das erwartete Systemverhalten zu machen, welche durch die Beobachtungen während der Bauausführung verifiziert und evaluiert werden können. 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 eine der 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 (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 [29].

5.8. Ermittlung der Vortriebsklassen

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

Zur Mengenermittlung für die Ausschreibungsplanung ist eine Prognose der Verteilung der Vortriebsklassen erforderlich.

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

5.9. Berichtswesen

5.9.1 Planung

Das Berichtswesen umfasst projektspezifisch folgende Unterlagen:

- Untersuchungsberichte

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

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

5.9.1.1. Inhalt der Untersuchungsberichte

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

5.9.1.2. 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

5.9.1.3. Inhalt des Geotechnischen Berichtes

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 baugelologischen und hydrogeologischen Modells inklusive Verteilung der Gebirgsarten
- Rechenwerte in Abstimmung auf die verwendeten Rechenmethoden
- Methodik zur Ermittlung des Gebirgsverhaltens
- 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
- Systemverhalten in Tabellenform und / oder skizzenhafte Darstellung
- Tabellarische Auflistung der Verteilung der Vortriebsklassen

5.9.2 Unterlagen für die Ausschreibung – Geotechnische Prognose

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

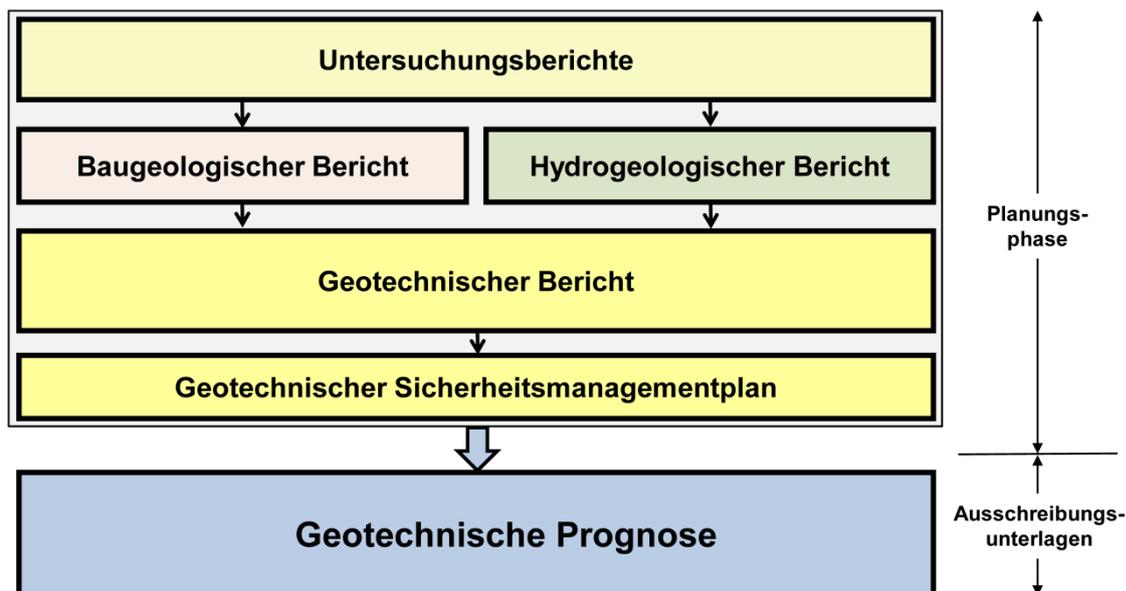


Abbildung 3: Zeitliche Abfolge der Erstellung von Berichten / Unterlagen

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:
 - Tektonische und stratigraphische Einheit
 - Gesteinsarten
 - Baugeologische 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
 - Primärspannungen
 - Gasführung
 - Geogene und anthropogene Risiken
 - Gebirgstemperatur
 - Verwertbarkeit des Ausbruchsmaterials
 - Deponierbarkeit des Ausbruchsmaterials
- Prognose Hydrogeologie:
 - Hydrogeologische Gebirgsbeschreibung
 - Druckhöhe des Bergwassers
 - Schüttung der Wasserzutritte bezogen auf den Vortriebsbereich und auf definierte Tunnelstrecken inkl. Angaben zur zeitlichen Entwicklung
 - Schüttung im Beharrungszustand
 - Qualität der Wässer (hydrochemische Beschaffenheit, Wassertemperatur, Betonaggressivität, Versinterungsneigung)
- Prognose Systemverhalten:

- Verteilung der Systemverhaltenstypen im gesicherten Bereich zumindest je Gebirgsbereich
- Prognose der Vortriebsklassen:
 - Vortriebsklassenverteilung zumindest je Gebirgsbereich
- Sonderbereiche mit Zusatz- und Sondermaßnahmen, wie z.B.:
 - Entwässerungen
 - Injektionen
 - Vorauserkundungen
- Innenschale (bewehrt, unbewehrt)
- Monitoring / Geotechnische Messquerschnitte (Typen, Verteilung)
- Vortriebsrichtung

Ergänzend zum Prognoselängenschnitt sind die baugelologischen Verhältnisse in weiteren repräsentativen Schnittlagen (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.

Da die Gebirgsverhältnisse vor Baubeginn nicht vollständig bekannt sein können, sind 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.

Die vor Ort durchgeführten Beobachtungen und Interpretationen des Systemverhaltens dienen der Festlegung der bautechnischen Maßnahmen für Ausbruch und Stützung. Weiters werden diese für die Verfeinerung des Prognosemodells herangezogen. Bei geotechnisch anspruchsvollen Hohlraumbauwerken soll hierfür ein im Tunnelbau erfahrener Geotechniker vor Ort eingesetzt werden.

Der grundsätzliche Ablauf erfolgt gemäß Abbildung 4 wie folgt:

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

Im Rahmen der baugelogischen 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 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 – Festlegung von Ausbruch und Stützung und Prognose des Systemverhaltens

Auf Basis der prognostizierten Gebirgsverhältnisse und unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren erfolgt die Festlegung von Ausbruch und Stützung 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 schließlich 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 Baumaßnahmen 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 Anpassun-

gen (z.B. Nachankerungen) möglich. Die Entscheidung basiert in dieser Phase zum größten Teil auf einer Prognose. Dies unterstreicht die Bedeutung der Kurzzeitprognose.

3. Schritt – Überprüfung des 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

- 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

zu überprüfen.

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 / Freigabe für Innenausbau

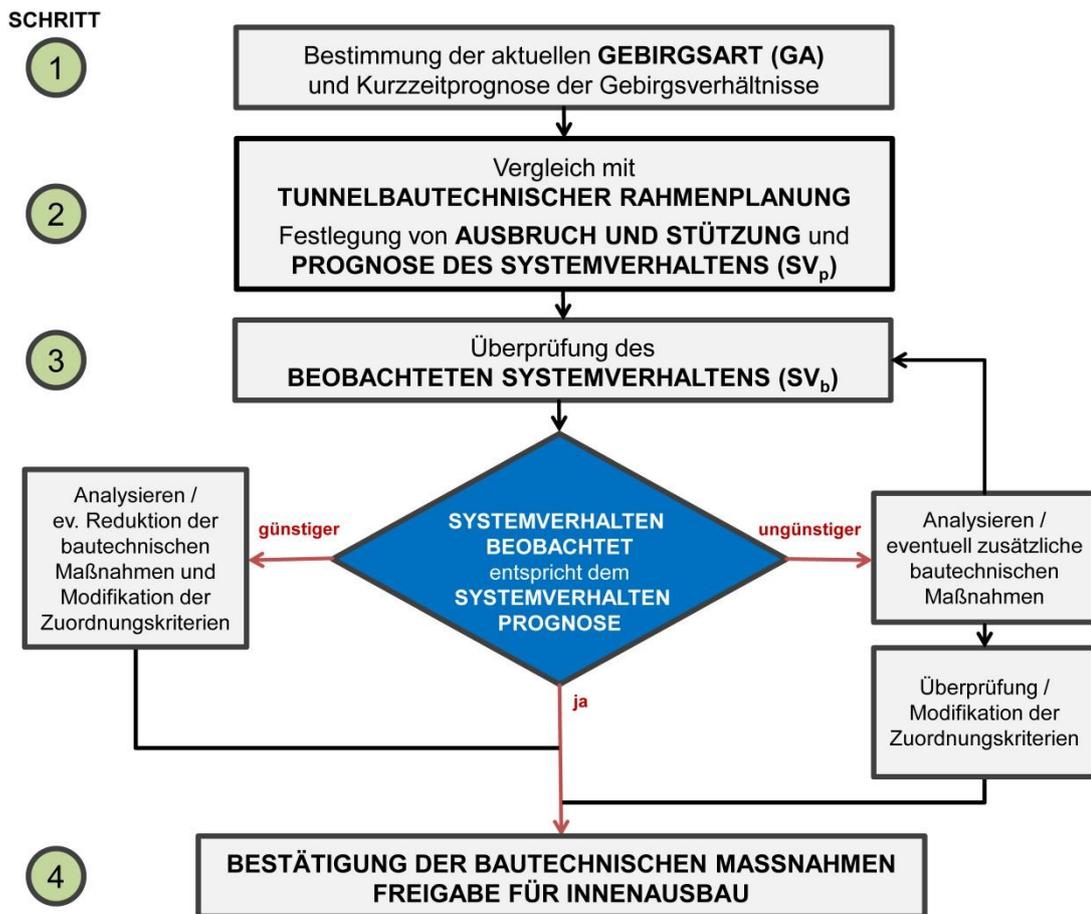


Abbildung 4: Schematischer Ablauf der Geotechnischen Planung, Phase 2

6.2. Tunnelbautechnische Rahmenplanung

Auf Basis der Ergebnisse der Phase 1 - Planung definiert der Planer in der Tunnelbautechnischen Rahmenplanung die Anforderungen an Ausbruch und Stützung für die Bauausführung. Die von der Planung definierten Ausbruchs- und Stützmaßnahmen sind den tatsächlich vor Ort angetroffenen Gebirgsverhältnissen erforderlichenfalls anzupassen, um eine Optimierung hinsichtlich der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu ermöglichen. Ein stabiles Systemverhalten über die geplante Nutzungsdauer ist sicherzustellen.

- **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.

Die Tunnelbautechnische Rahmenplanung ist durch neue, während der Ausführung gewonnene Informationen und Erkenntnisse fortzuschreiben

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
- Bauwerk
 - Überlagerung
 - Geländehöhen an markanten Punkten
 - Gradienten
 - Bauteile des Tunnelbauwerks (z.B.: Regelprofile, Querschläge, u.s.w.)
 - Bebauung
 - Kilometrierung
 - Vortriebsstationierung
- Geologie und Prognose Baugeologie
 - Tektonische und stratigraphische Einheit
 - Gesteinsarten
 - Baugeologische 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
 - Primärspannungssituation
 - Gasführung
 - Geogene und anthropogene Risiken
 - Gebirgstemperatur

- Prognose Hydrogeologie
 - Hydrogeologische Gebirgsbeschreibung
 - Druckhöhe des Bergwassers
 - Schüttung der Wasserzutritte bezogen auf den Vortriebsbereich und auf definierte Tunnelstrecken inkl. Angaben zur zeitlichen Entwicklung
 - Schüttung im Beharrungszustand
 - Qualität der Wässer (hydrochemische Beschaffenheit, Wassertemperatur, Betonaggressivität, Versinterungsneigung)
- Prognose Systemverhalten
 - Verteilung der Systemverhaltenstypen im gesicherten Bereich zumindest je Gebirgsbereich
- Vorgaben für Stützmittel (Umfang, Spritzbetonsorte, etc.)
- Sonderbereiche mit Zusatz- und Sondermaßnahmen, wie z.B.:
 - Entwässerungen
 - Injektionen
 - Vorauserkundungen
- Innenschale (bewehrt, unbewehrt)
- Monitoring / Geotechnische Messquerschnitte (Typen, Verteilung)
- Vortriebsrichtung

6.3. Bestimmung der aktuellen Gebirgsart und Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse

Die Bestimmung der aktuellen Gebirgsart erfolgt im Rahmen der baugeologischen Dokumentation. 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 Gesteins- und Trennflächenkennwerten sowie zur Dokumentation derselben können baubegleitend Laborversuche erforderlich sein. Des Weiteren sind Trennflächenorientierungen sowie die Bergwasserverhältnisse zu dokumentieren, um diese im Sinne von Einflussfaktoren zu erheben.

Die baugeologische Dokumentation hat regelmäßig und in nachvollziehbarer Form die angetroffenen Baugrundverhältnisse im Ausbruchbereich (i.d.R. an der Ortsbrust) festzuhalten. Bei ausgeprägt heterogenen Gebirgsverhältnissen ist die Ortsbrust (und ggf. Laibung) in Bereiche zu unterteilen, 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 Berücksichti-

gung des in der Planung festgelegten Größenmaßstabes einer Gebirgsart wird die aktuell angetroffene Gebirgsart bestimmt.

Da das Systemverhalten, von dem den Hohlraum umgebenden Gebirge bestimmt wird, ist laufend in Ergänzung zur regelmäßigen baueologischen Dokumentation eine Modellvorstellung für das außerhalb des Ausbruchquerschnittes befindliche Gebirge zu entwickeln [5]. Basierend auf dem aktuellen Ortsbrustbefund, den bisherigen Dokumentationsserkenntnissen, allfälligen Erkundungsergebnissen sowie Hinweisen aus den geotechnischen Beobachtungen sind die Gebirgsverhältnisse über den Hohlraumrand hinaus darzustellen (mindestens 0,5 Ausbruchdurchmesser). Weiters ist eine Kurzzeitprognose für das unmittelbar aufzufahrende (vor der Ortsbrust befindliche) Gebirge zu erstellen, die als Entscheidungsgrundlage für die nachvollziehbare Festlegung von Ausbruch und Stützung für die nächsten Abschlüge dient. Die Kurzzeitprognose soll einen Bereich von ca. 1 – 2 Ausbruchdurchmesser vor der aktuellen Ortsbrust umfassen. Baueologische Angaben, die über den gegenwärtigen Ausbruch hinausreichen, sind als Extrapolation und Prognose zum gegebenen Zeitpunkt zu verstehen und daher vom Dokumentationsbefund des Ausbruchbereiches abzugrenzen.

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.

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

6.4. Festlegung von Ausbruch und Stützung

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.

6.4.1 Kurzzeitprognose des Systemverhaltens

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 [30].

Methoden zur Interpretation der Messergebnisse als Unterstützung der Kurzzeitprognose sind:

- Auswertung der räumlichen Spannungsumlagerung durch die Verwendung von Zustandslinien (Einflusslinien) [31]
- Extrapolation von Verschiebungstrends [32]

- Analyse von Verschiebungsvektororientierung und/oder Verhältnisse von Verschiebungskomponenten unterschiedlicher Messpunkte [31, 33, 34, 35, 36]
- Analyse von zusätzlichen Messergebnissen von z.B. Extensometern, Inklinometern [37]
- Ermittlung des Auslastungsgrades des Ausbaus [38, 39, 40]

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 Kurzzeitprognose zum Systemverhalten soll einen Bereich von ca. 1 – 2 Ausbruchdurchmesser vor der aktuellen Ortsbrust umfassen.

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 [30, 32, 41, 42]
- Erwartete Auslastung der Stützmittel

6.4.2 Vergleich mit der Tunnelbautechnischen Rahmenplanung

Um die Maßnahmen für Ausbruch und Stützung 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 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, so ist 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

Mit Hilfe der Beobachtung des Systemverhaltens im Ausbruchbereich, eventueller Brucherscheinungen und der Auswertung und Analyse der Messdaten wird das ange-troffene Systemverhalten im gesicherten Bereich und im Endzustand beurteilt. Im Vergleich mit dem prognostizierten Systemverhalten 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 doku-mentieren und es sind Rückschlüsse für die weitere Vorgangsweise abzuleiten.

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

- abweichende baugelogeische / geotechnische Verhältnisse
- eine nicht zutreffende Parameterzuordnung
- nichtzutreffende Annahmen von Einflussfaktoren
- eine falsche 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 Stützmaßnah-men 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 Aus-bruchbereich die angestrebten Auswirkungen im zurückliegenden Vortriebsbereich nach sich ziehen.

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 dem 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 Maßnahmen festzulegen.

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 [30] 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 5):

- 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.

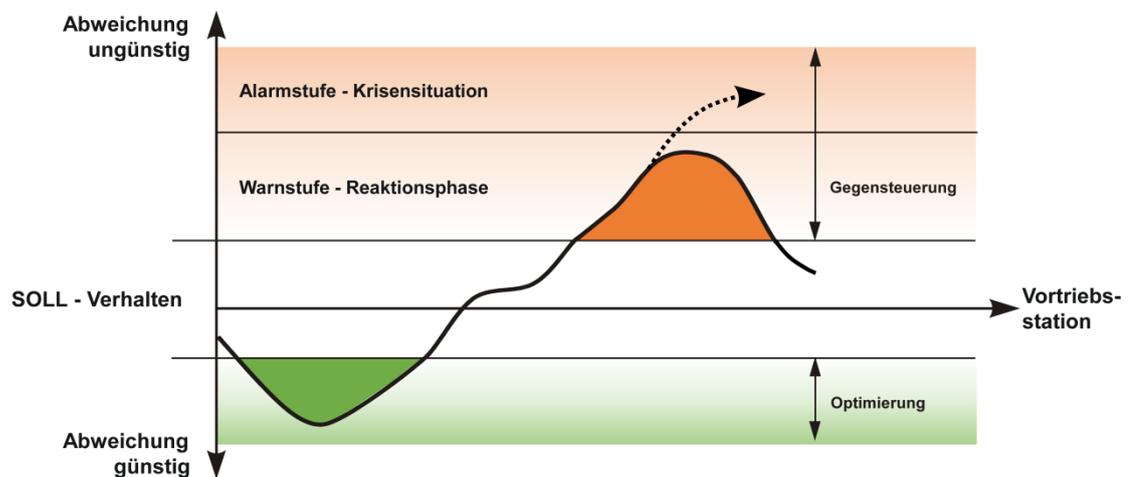


Abbildung 5: Warn- und Alarmstufen sowie Aktionsebenen des Geotechnischen Sicherheitsmanagements [nach 43]

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) in der erwarteten Bandbreite des Soll-Verhaltens 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 3 Stufen (1, 2a, 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 nachfolgenden 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 [44, 45, 46] verwiesen.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ÖNORM B 2203-1 (Entwurf 2020). Untertagebauarbeiten - Werkvertragsnorm Teil 1: Zyklischer Vortrieb
- [2] ÖNORM EN 1997-1 (2014), Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
- [3] RVS 09.01.42 (2013) Statisch Konstruktive Richtlinie Geschlossene Bauweise in Lockergestein unter Bebauung; Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV)
- [4] Riedmüller, G., Schubert, W. (1999). Critical comments on quantitative rock mass classifications. *Felsbau* 17 (1999), No 3, pp. 164-167
- [5] 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
- [6] Pilgerstorfer, T., Radoncic, 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* (2011), volume 4, No 5, pp. 423-434, October 2011, Berlin: Ernst & Sohn Verlag
- [7] 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* (2010), volume 3, No 2, pp. 163–173. Berlin: Ernst & Sohn Verlag
- [8] 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
- [9] Radoncic, 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).
- [10] Hoek, E. (2018) *Lessons learned from geo-legends*; Evert Hoek. Geo-Strata, ASCE.
- [11] 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
- [12] 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, 1996, pp. 1-40
- [13] Cai, M. (2011). Rock Mass Characterization and Rock Property Variability Considerations for Tunnel and Cavern Design, *Rock Mech Rock Eng* (2011) 44: 379–399, Springer Verlag
- [14] Bieniawski, Z.T. (1989), *Engineering rock mass classifications*, New York: Wiley

- [15] Norwegian Geotechnical Institute (2015). Handbook - Using the Q-System. Rock mass classification and support design
- [16] 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.
- [17] Wittke, W. (1984). *Felsmechanik – Grundlagen für wirtschaftliches Bauen im Fels*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg GesmbH
- [18] 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 (2014) pp. 65-79
- [19] 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
- [20] ÖGG (2017). Leitfaden für die Ermittlung geologisch-geotechnischer Grundlagen für die Planung tiefliegender Tunnel. Hrsg. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik Salzburg
- [21] Goodman, R.E., Shi, G.H. (1985). *Block theory and its application to rock engineering*. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
- [22] John, K.W., Deutsch, R. (1974). Die Anwendung der Lagenkugel in der Geotechnik. *Festschrift Leopold Müller-Salzburg*, Karlsruhe
- [23] Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F. (1995). *Support of underground excavations in hard rock*. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield
- [24] Feder, G. (1977). Zum Stabilitätsnachweis für Hohlräume in festem Gebirge bei richtungsbetontem Primärdruck. *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* 122 (4), 131 -140
- [25] Feder, G. (1978). Versuchsergebnisse und analytische Ansätze zum Scherbruchmechanismus im Bereich tiefliegender Tunnel. *Rock Mechanics* 6, 71 -102
- [26] Sulem, J., Panet, M., Guenot, A. (1987). Closure analysis in deep tunnels. *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Science* (24), 145 -154
- [27] Brown, E.T., Bray, J.W., Ladanyi, B., Hoek, E. (1983). Ground response curves for rock tunnels. *J. Geotech. Engrg., ASCE*, 109 (1), pp. 15-39
- [28] Diederichs, M.S., Carter, T., Martin, D. (2010). *Practical Rock Spall Prediction in Tunnels*. ITA World Tunnel Congress Vancouver
- [29] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG, 2016). *Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken*. Salzburg
- [30] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG, 2014). *Handbook – Geotechnical Monitoring in Conventional Tunnelling*. Salzburg
- [31] Vavrovsky, G.M., (1994). Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung. In *Felsbau* 12 (1994), No 5, pp. 312-329
- [32] 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

- [33] 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
- [34] 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
- [35] 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
- [36] Grossauer K., Lenz G. (2007). Is it possible to automate the interpretation of Displacement Monitoring Data? In Felsbau 25 (2007), No 5, pp. 99-106. Essen: VGE
- [37] 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
- [38] 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 (1999) No 5, pp. 422-425, Essen: VGE
- [39] 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
- [40] Schubert, P (1988). Beitrag zum rheologischen Verhalten vom Spritzbeton. Felsbau 6 (1988), No 3, pp. 150–153, Essen: VGE
- [41] Sellner, P. (1999). Prediction of displacements in tunnelling. In Riedmüller, Schubert, Semprich (eds) Schriftenreihe Gruppe Geotechnik Graz, Heft 9
- [42] Sellner, P. Grossauer, K. (2002). Prediction of Displacements for Tunnels. In Felsbau 20 (2002), No 2, pp. 24-30. Essen: VGE
- [43] Vavrovsky, G. M., Ayaydin, N., Schubert, P. (2001). Geotechnisches Sicherheitsmanagement im oberflächennahen Tunnelbau. Felsbau 19 (2001), No 5, pp. 133-139. Essen: VGE
- [44] 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 (2009), volume 2, No 3, pp. 269–28, Berlin: Ernst & Sohn Verlag
- [45] 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 (2011), volume 4, No 5, pp. 472-488, Berlin: Ernst & Sohn Verlag
- [46] Sochatzy, G. (2001). Geotechnisches Sicherheitsmanagement beim Wiener U-Bahnbau / Geotechnical safety management - Underground Railway Vienna. – In Felsbau 19 (2001) No 5, pp. 140-147, Essen: VGE

Anhänge

ANHANG A: ÜBERSICHTSTABELLEN PARAMETER

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

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.

Für Gesteine, die Eigenschaften von Festgesteinen und von Lockergesteinen besitzen (z.B. gering verfestigte Sedimentgesteine oder bestimmte Störungsgesteine), sind die für sie maßgeblichen Parameter spezifisch zu wählen.

Weiters sind Parameter für die Einflussfaktoren Bergwasser, Trennflächenorientierung und Primärspannungen angegeben. 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 für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb
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, Gesteinszustand	Gesteinsart	ÖNORM EN ISO 14689	-	-	-	x	x
	Mineralbestand	---		-	Vol-%-	-	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
Festigkeits- und Verformungseigenschaften Fußnote (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	-
Dichte	Hoek-Brown-Konstante	---	ISRM SM	m_i	-	x	-
	Dichte	ÖNORM EN 1997-2		ρ	g/cm^3	x	x
	Wassergehalt	ÖNORM EN 1997-2		w	%	x	-

Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb

Anhang A: Übersichtstabellen Parameter

Festgestein							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke und Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung / Kalkulation
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	l _d	%	x	x
	Schwell- / Quelldruck, Schwell-/Quelldehnung	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM, DGGT-Empfehlung Nr. 11	σ, h	MPa, Vol-%	x	x

Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb
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
	Mineralbestand, Tonmineralgehalt (quellfähige, gesamt)	---		-	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	-
	Komponenten-Matrix-Verhältnis, Steinanteil, Blockanteil	ÖNORM EN ISO 14688-1, ÖNORM EN ISO 17892-4	-	m_x, m_y	Vol-%	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

Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb

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
Festigkeit	Scherfestigkeit	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-10, ÖNORM EN ISO 17892-9		τ	kPa	x	x
	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		cu	kPa	x	-
Verformbarkeit (Zusammen- drückbarkeit) Fußnote (2)	Elastizitätsmodul (E-Modul) für Be-, Ent-, 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	-
	Schwellbeiwert	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 17892-5		C_s	-	x	-

Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb
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
Dichte, Wassergehalt Fußnote (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	Vol-%, -	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
Abrasivität	Äquivalenter Quarzgehalt	---	Thuro 2002	\ddot{A}_{Qu}	%	-	x
	LCPC-Abrasivitätskoeffizient	---	AFNOR NF P18-579	A _{Br}	g/t	-	x
Volumenänderungen	Quelldruck, Quelldehnung	ÖNORM EN 1997-2	ISRM SM, DGGT-Empfehlung Nr. 11	σ, h	MPa, Vol-%	x	x
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

Trennflächengefüge							
Eigenschaft	Parameter	Normen	Sonstige Regelwerke/ Literatur	Abk.	Einheit	Relevant für die geotechnische Planung	Relevant für die Ausschreibung / Kalkulation
Trennflächeneigenschaften	Trennflächentyp	ÖNORM EN ISO 14689				x	x
	Ausbisslänge, Persistenz, Trennflächen-größe	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
Festigkeits- und Reibungseigenschaften Fußnote (2)	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	τ	MPa	x	-
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 für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb
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)	---	Fußnote (3)	ρ_{Geb}	g/cm ³	x	x
Gebirgsfestigkeits- und -verformungseigenschaften	Einaxiale Druckfestigkeit (Gebirge)	---	Fußnote (3)	UCS _{Geb}	MPa	x	x
	Kohäsion (Gebirge)	---	Fußnote (3)	c _{Geb}	MPa	x	x
	Reibungswinkel (Gebirge)	---	Fußnote (3)	ϕ_{Geb}	°	x	-
	Poissonzahl (Gebirge)	---	Fußnote (3)	ν_{Geb}	-	x	-
	Elastizitätsmodul (Gebirge)	---	Fußnote (3)	E _{Geb}	MPa	x	-
	Anisotropie der mechanischen Eigenschaften	---	Fußnote (3)	-	-	x	-
Zustands- und Volumenänderungen	Schwell- / Quellhebung	---	Fußnote (3)	h	Vol-%	x	-
	Schwell- / Quelldruck	---	Fußnote (3)	σ	MPa	x	-
Durchlässigkeit	Durchlässigkeitsbeiwert	ÖNORM EN 1997-2, ÖNORM EN ISO 22282-1 bis 6		k _f	m/s	x	x

Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb

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 Gefüge-Bauwerk	Raumlage der Trennflächen	ÖNORM EN ISO 14689	ISRM SM	-	-	x	x
	relative Orientierung des Hauptgefüges zum Bauwerk	---		-	-	x	x
Primär-spannungen	Orientierung der Hauptnormalspannungen im Raum	---	ISRM SM	-	-	x	x
	Beträge der Hauptnormalspannung	---	ISRM SM	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	MPa	x	x
Berg-/Grundwasser	Lage 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 (Chemismus, Temperatur)	ÖNORM EN 1997-2		-	-	x	x
	Betonaggressivität	ÖNORM B 4710-1		-	-	x	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: Oedometerversuch 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

HOEK, E., BROWN, E.T. (2019). The Hoek-Brown failure criterion and GSI - 2018 edition, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering

ANHANG B: BEISPIEL RISIKOANALYSE

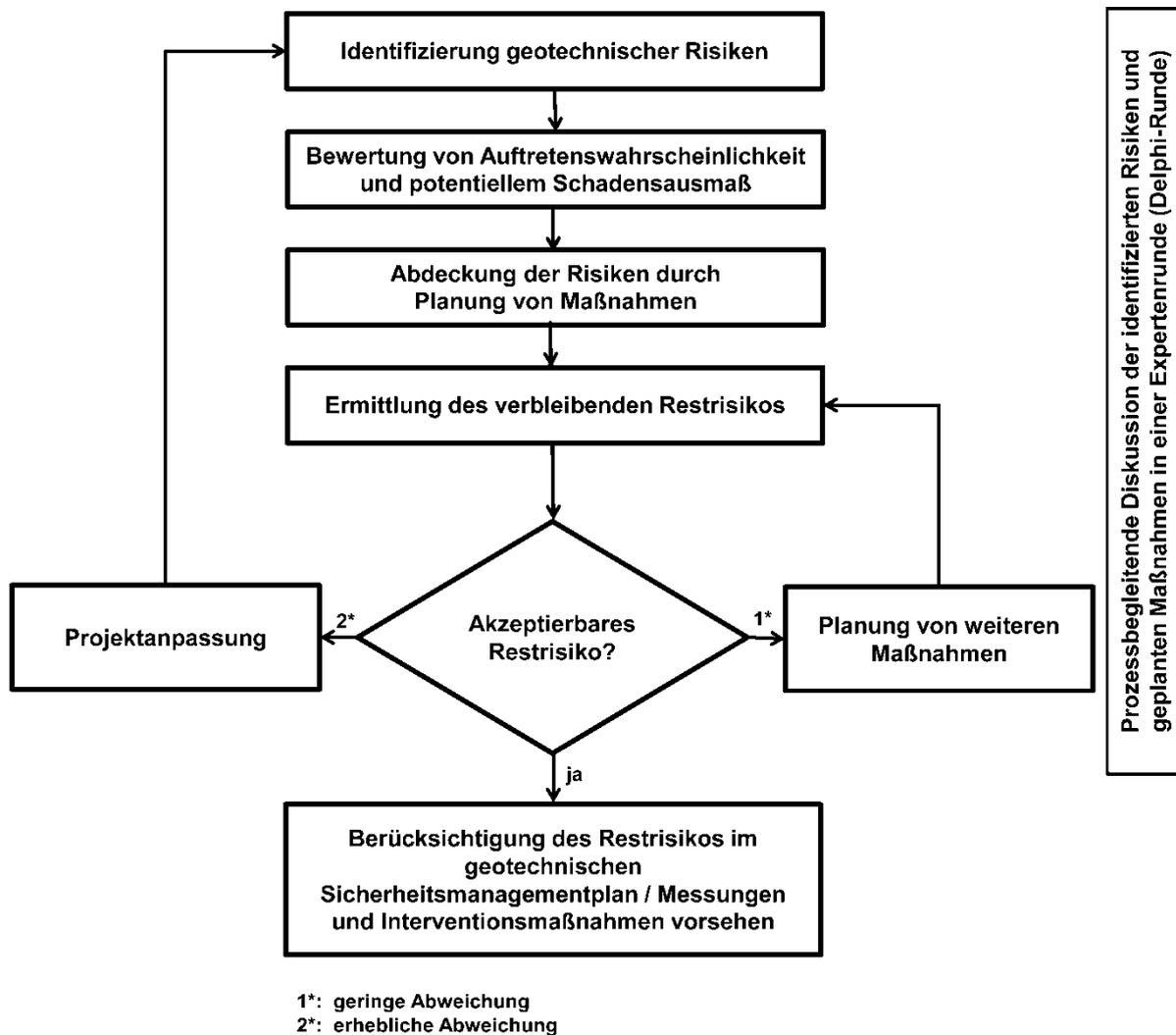


Abbildung: Ablauf Risikoanalyse

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