

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**

2. überarbeitete Auflage
2008

Herausgeber: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik
A-5020 Salzburg, Bayerhamerstrasse 14
Tel.: +43 (0)662 875519, Fax: +43 (0)662 886748
E-mail: salzburg@oegg.at
<http://www.oegg.at>

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.

© ÖGG Salzburg 2001, 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	1
2	Zielsetzung	3
3	Definitionen.....	5
4	Phase 1 - Planung	7
4.1	Grundsätzlicher Ablauf	7
4.2	Bestimmung der Gebirgsarten.....	10
4.2.1	Methodik	10
4.2.2	Angaben	12
4.3	Bestimmung des Gebirgsverhaltens.....	13
4.3.1	Methodik	13
4.3.2	Angaben	16
4.4	Wahl des tunnelbautechnischen Konzeptes und Abschätzung des Systemverhaltens im Ausbruchsbereich.....	16
4.5	Detailfestlegung von bautechnischen Maßnahmen und Ermittlung des Systemverhaltens im gesicherten Bereich.....	17
4.5.1	Einflussfaktoren	17
4.5.2	Methodik	17
4.5.3	Analysen und Nachweise	17
4.5.4	Angaben zum Systemverhalten	18
4.6	Ermittlung der Vortriebsklassen.....	18
4.7	Geotechnischer Bericht	18
4.7.1	Inhalt des Geotechnischen Berichtes:	19
4.7.2	Inhalt des Tunnelbautechnischen Rahmenplanes	19
5	Phase 2 - Bauausführung.....	20
5.1	Grundsätzlicher Ablauf	20
5.2	Bestimmung der aktuellen Gebirgsart	23
5.2.1	Vorbereitung und Methodik.....	23
5.2.2	Erhebung der Parameter vor Ort und Zuordnung der Gebirgsart.....	23
5.3	Abschätzung des Systemverhaltens im Ausbruchsbereich	23
5.3.1	Methodik	23
5.4	Festlegung von Ausbruch und Stützung.....	24
5.4.1	Vergleich mit tunnelbautechnischem Rahmenplan.....	24
5.4.2	Entscheidungen vor Ort	24
5.4.3	Verfeinerung der Zuordnungskriterien	24
5.4.4	Verfeinerung der Prognose des Systemverhaltens	25

5.5	Überprüfung des Systemverhaltens.....	25
5.6	Fortschreibung der Planung.....	26
6	Literaturverzeichnis.....	27

Anhang Boden-, Gesteins- und Gebirgsparameter

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 seit jeher 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 B2203-1 „Untertagebauarbeiten – zyklischer Vortrieb“ [1]. Um dem Charakter einer Werkvertragsnorm zu entsprechen, wurde in der neuen Fassung der ÖNORM B 2203-1 auf Belange der Planung (z. B. Beschreibung des Gebirges) nicht eingegangen, sondern auf die Richtlinie der ÖGG verwiesen. Die ÖGG Richtlinie kann jedoch nicht als Grundlage werkvertraglicher Vereinbarungen verwendet werden. Die nunmehrige Richtlinie ersetzt die „Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauwerken mit zyklischem Vortrieb“ vom Oktober 2001.

Die Stabilität eines untertägigen Hohlraumes ist eine der primären Fragen bei Planung und Bau. In Abhängigkeit von den 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. Durch die Variabilität der geotechnischen Verhältnisse kann die Planung von untertägigen Bauwerken nicht mit jener von anderen Ingenieurbauwerken verglichen werden, bei welchen das statische System, die Belastungen und die Charakteristika der verwendeten Materialien relativ genau bekannt sind.

Durch die Unsicherheiten im Baugrundmodell können die mit dem Bau verbundenen Risiken nicht genau abgeschätzt werden. Dieser Umstand bedingt eine laufende Anpassung der bautechnischen Maßnahmen an das angetroffene Gebirge (Beobachtungsmethode) und macht ein Sicherheitsmanagementsystem erforderlich [2, 3].

Das Sicherheitsmanagementsystem hat nach Eurocode 7 folgende Inhalte abzudecken:

- Ein Planungskonzept für die Bestimmung von Ausbruch und Stützung
- Erstellung von Kriterien für die Bestimmung der Stabilität, basierend auf dem Kenntnisstand der Gebirgsverhältnisse während der Planung
- Erstellung eines Beobachtungskonzeptes mit allen technischen und organisatorischen Voraussetzungen, welches einen laufenden Vergleich zwischen erwarteten und angetroffenen Verhältnissen erlaubt
- Erstellung eines Managementplanes für Fälle, in welchen die angetroffenen Verhältnisse von den erwarteten abweichen, wobei sowohl Abweichungen zum Positiven wie Negativen erfasst werden müssen

Während der Planung eines Untertagebauwerkes müssen zwei Bereiche besonders berücksichtigt werden. Der erste und außerordentlich wichtige Bereich ist die Erstellung eines realistischen Baugrundmodells und die Ermittlung des potenziellen Verhaltens des Gebirges als Folge des Ausbruches. Der zweite Bereich umfasst den Entwurf von sicheren und wirtschaftlichen Methoden des Ausbruches und der Stützung in Abstimmung mit dem ermittelten Gebirgsverhalten. Die Planung umfasst dabei alle Phasen, beginnend mit der Machbarkeitsstudie, über den

Vorentwurf, der Ausschreibungsplanung und der Detailplanung während des Baues. Die Planung wird mit zunehmendem Informationsstand laufend fortgeschrieben und präzisiert. Zur effizienten 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 all den Wechselbeziehungen zwischen dessen Eigenschaften und den bautechnischen Eingriffen im Zentrum der Betrachtungen. Räumliches Zusammenwirken spielt dabei ebenso eine Rolle wie zeitabhängige und beanspruchungsabhängige Effekte.

Auf Grund der Komplexität der Zusammenhänge und der in aller Regel faktischen Unmöglichkeit einer umfassenden voreilenden Bestimmung der 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 während 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 der Österreichischen Forschungsgemeinschaft Strasse und Verkehr (FSV) mit dem Titel „Statisch Konstruktive Richtlinie Geschlossene Bauweise in Lockergestein unter Bebauung“ verwiesen.

Die vorliegende Richtlinie hat den Charakter einer Aufgabenbeschreibung, welche sich an die an der Projektrealisierung Beteiligten, wie Auftraggeber, Planer, Gutachter und ausführende Firmen richtet. Sie soll dazu beitragen, rechtzeitig die organisatorischen und fachlichen Voraussetzungen für eine effiziente geotechnische Planung in all ihren Phasen sicherzustellen. Sie enthält zudem eine generelle Verfahrensanleitung, welche die wesentlichen Teilaufgaben strukturiert sowie zeitlich und inhaltlich einander zuordnet. Als technische Richtlinie vermeidet sie bewusst, auf Fragen der Risiko- und Verantwortungsaufteilung sowie der sich daraus ergebenden Kompetenz- und Aufgabenzuordnung einzugehen. Die Richtlinie beinhaltet keine konkreten Aufgabenbeschreibungen für Ingenieurleistungen.

2 ZIELSETZUNG

Ziel aller Tätigkeiten im Rahmen der geotechnischen Planung ist die wirtschaftliche Optimierung der bautechnischen Maßnahmen unter Nutzung der vor Ort anstehenden Gebirgsverhältnisse bei Gewährleistung der jeweiligen Sicherheitserfordernisse, der Langzeitstabilität und der Umwelterfordernisse.

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 allgemeiner Gültigkeit häufig für die Bestimmung von bautechnischen Maßnahmen nicht zielführend ist [4]. Eine in technischer wie wirtschaftlicher Sicht zielführende Planung und Bauausführung kann daher letztlich nur durch eine gebirgs- und projektspezifische Vorgangsweise sichergestellt werden.

Um trotz aller Unsicherheiten der Kenntnis des Baugrundes eine nachvollziehbare ingenieurmäßige Planung und Herstellung von untertägigen Hohlräumen sicherzustellen, ist eine Dimensionierungsstrategie erforderlich, welche in mehreren Schritten vorgeht und hierbei ein klares geotechnisches Dimensionierungskonzept mit einer bestmöglichen Anpassung der Baumaßnahmen an die jeweiligen Verhältnisse vor Ort verbindet. Damit erstreckt sich die geotechnische Planung über folgende zwei Phasen:

Phase 1: Planung

Diese Phase beinhaltet die Ermittlung der erwarteten Gebirgseigenschaften, die Einteilung in Gebirgsarten sowie die Ermittlung des erwarteten Gebirgsverhaltens, welches in übergeordnete Kategorien eingeteilt werden soll (Gebirgsverhaltenstypen), die Festlegung der bautechnischen Maßnahmen unter Berücksichtigung der aktuellen Randbedingungen, die Prognose des Systemverhaltens und die Ermittlung der Vortriebsklassen gemäß ÖNORM B2203-1 .

Die Resultate der Planung sind in einem geotechnischen Bericht zusammenzufassen. In diesem ist nachvollziehbar darzustellen, welche Gebirgsverhältnisse und sonstige Annahmen und Rahmenbedingungen der Planung zu Grunde gelegt wurden. Der tunnelbautechnische Rahmenplan ist Teil des geotechnischen Berichtes. Dieser hat eindeutige Anwendungskriterien zu enthalten und anzugeben, welche bautechnischen Maßnahmen vor Ort nur mit Zustimmung des Planers verändert werden dürfen und welche Maßnahmen nach welchen Kriterien an die Verhältnisse vor Ort anzupassen sind.

Phase 2: Bauausführung

Während des Baues werden die geotechnisch relevanten Gebirgsparameter zur Bestimmung der aktuellen Gebirgsart erfasst und ausgewertet. Auf Basis der ermittelten Gebirgsart wird unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren das aktuelle Systemverhalten im Ausbruchsbereich nach den Vorgaben der Planung abgeschätzt. 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, wird auf Basis der zunehmenden Erkenntnisse über den anstehenden Baugrund empfohlen, um die erforderliche Sicherheit 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.

Die vorliegende Richtlinie dient als Leitfaden für eine systematische Vorgangsweise und soll die Nachvollziehbarkeit der Konzepte, Überlegungen und Entscheidungen bei der Festlegung der Vortriebs- und Ausbaumaßnahmen unterstützen.

3 DEFINITIONEN

GEBIRGE	Teil der Erdkruste, zusammengesetzt aus Festgestein (Fels) oder Lockergestein (Boden), oft mit anisotropen Eigenschaften, einschließlich Trennflächen und Hohlräume mit Füllungen aus flüssigen oder gasförmigen Bestandteilen.
GESTEIN	durch natürliche Vorgänge entstandene Vereinigung aus mineralischen Bestandteilen, gekennzeichnet durch die Art und Menge der auftretenden Minerale und durch das Korngefüge.
FESTGESTEIN	Mineralgemenge, dessen Eigenschaften hauptsächlich durch seine physikalisch/chemische Bindung bestimmt sind.
LOCKERGESTEIN	Anhäufung von anorganischen und verschiedenenkörnigen Feststoffen, fallweise auch mit organischen Beimengungen, deren Eigenschaften vorwiegend durch die Kornzusammensetzung, die Lagerungsdichte und den Wassergehalt bestimmt sind.
GESTEINSART	Locker- und Festgestein mit gleichartigen Eigenschaften.
TRENNFLÄCHEN	Zweidimensional ausgedehnte i.a. vollständige Unterbrechungen des mechanischen Zusammenhanges im Festgestein, hervorgerufen im Zuge der Entstehung und/oder tektonischer, bruchhafter Überbeanspruchung des Materials. Integrale (potenzielle) Trennflächen bewirken Modifikationen des Zusammenhanges (z. B. Schichtung – Schieferung) und mechanische Anisotropien.
GEBIRGSART (GA)	Gebirge mit gleichartigen Eigenschaften
GEBIRGSVERHALTEN (GV)	Reaktion des Gebirges auf den Ausbruch ohne Berücksichtigung von Stützung oder Querschnittunterteilung
GEBIRGSVERHALTENSTYP (GVT)	Übergeordnete Kategorien von ähnlichem Gebirgsverhalten in Bezug auf Verformungscharakteristika und Versagensmechanismen
RANDBEDINGUNGEN	Bedingungen, welche die Bauabwicklung und die Bautechnik beeinflussen, jedoch nicht geotechnisch begründet sind
ANFORDERUNGEN	Faktoren, die die Gebrauchstauglichkeit, Sicherheit und umweltrelevante Aspekte bestimmen
TUNNELBAUTECHNISCHER RAHMENPLAN	Zusammenfassende Darstellung der maßgebenden Parameter der geotechnischen Planung, sowie der Anwendungskriterien für die Zuordnung von Ausbruch und Stützmaßnahmen

SYSTEMVERHALTEN (SV) Verhalten des Systems aus Gebirge und gewählten Baumaßnahmen, unterteilt in:

- Systemverhalten im jeweiligen Ausbruchsbereich
- Systemverhalten im gesicherten Bereich
- Systemverhalten im Endzustand

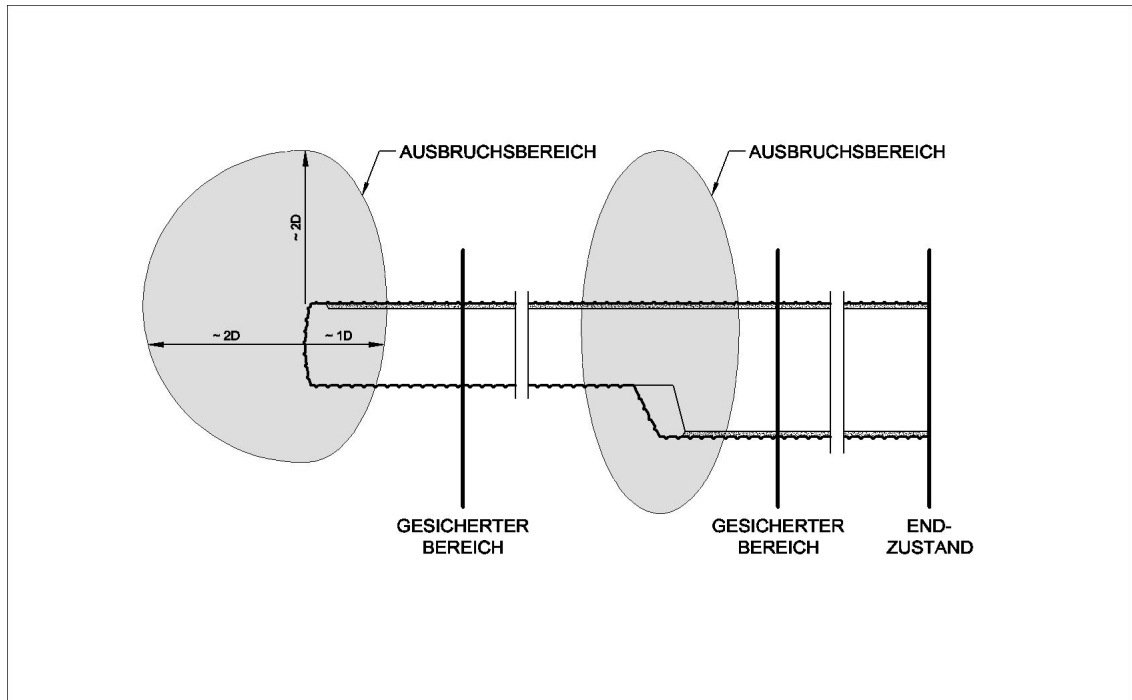


Abbildung 1: Unterteilung der Bereiche für das Systemverhalten

4 PHASE 1 - PLANUNG

4.1 Grundsätzlicher Ablauf

Im Zuge der Tunnel-Gesamtplanung 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 [5].

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, Einflussfaktoren und deren Verteilung entlang des Projektes Rechnung zu tragen. Diese können als Basis für Risikoanalysen dienen.

Der Ablauf gliedert sich in folgende Schritte:

1. Schritt – Bestimmung der Gebirgsarten

Basierend auf dem geologischen Modell werden im ersten Schritt die geotechnisch relevanten Eigenschaften jeder Gebirgsart bestimmt. Die Parameter und deren Streubreite basieren auf den jeweils vorhandenen Erkundungsergebnissen und/oder auf ingenieurmäßig fundierten Annahmen. Gebirge mit gleichartigen Eigenschaften werden in Gebirgsarten eingeteilt. Die Anzahl der zu bestimmenden Gebirgsarten ist projektspezifisch und ergibt sich aus den im Projektgebiet vorliegenden geologischen Verhältnissen.

2. Schritt – Bestimmung des Gebirgsverhaltens und Zuordnung zu Gebirgsverhaltenstypen

Im zweiten Schritt werden den Gebirgsarten die örtlichen Einflussfaktoren, wie Bergwasserverhältnisse, die räumliche Orientierung der Trennflächen sowie der örtliche Spannungszustand und eventuelle zusätzliche Faktoren zugeordnet, welche das Gebirgsverhalten maßgebend beeinflussen. Für jeden Bereich, welcher in Bezug auf Gebirgsart und Einflussfaktoren gleichartig ist, wird das Gebirgsverhalten analysiert.

Wichtig bei diesem Schritt ist, jenes Gebirgsverhalten zu erfassen und zu beschreiben, welches sich ohne Einfluss von Baumassnahmen wie z.B. Querschnittunterteilung, Ausbau, Bauhilfs- und Voraussicherungsmaßnahmen am Gesamtquerschnitt einstellen würde.

Das jeweils ermittelte projektspezifische Gebirgsverhalten soll den übergeordneten Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen (Tabelle 2) zugeordnet werden. Bei Bedarf sollen die Gebirgsverhaltenstypen projektspezifisch näher definiert und/oder unterteilt werden.

3. Schritt – Wahl eines tunnelbautechnischen Konzeptes

Nach der Bestimmung der Gebirgsarten und des Gebirgsverhaltens wird für jede charakteristische Situation das tunnelbautechnische Konzept - die Ausbruchsmethode, Querschnittunterteilung, Sicherungs- und Bauhilfsmaßnahmen – gewählt.

4. Schritt - Abschätzung des Systemverhaltens im Ausbruchsbereich

Basierend auf dem tunnelbautechnischen Konzept wird unter Berücksichtigung einer eventuellen Querschnittsunterteilung, der Stabilität der Ortsbrust und der Laibung sowie des räumlichen Spannungszustandes im Vortriebsbereich das Systemverhalten abgeschätzt.

5. Schritt - Detailfestlegung der bautechnischen Maßnahmen und Ermittlung des Systemverhaltens im gesicherten Bereich

Die bautechnischen Maßnahmen werden in Art und Menge unter Berücksichtigung eventuell nachfolgender Bauzustände festgelegt. Auf dieser Grundlage erfolgt die Ermittlung des Systemverhaltens, welches mit den Anforderungen verglichen wird.

6. Schritt – Erstellung des Tunnelbautechnischen Rahmenplanes

Auf Basis der Schritte eins bis fünf der geotechnischen Planung ist eine Abgrenzung von bautechnisch gleichartigen Vortriebsbereichen vorzunehmen. Im tunnelbautechnischen Rahmenplan sind Angaben für Ausbruch und Stützung, sowie die Grenzen und Kriterien der möglichen Anpassung der bautechnischen Maßnahmen vor Ort für jeden Bereich anzugeben.

7. Schritt – Ermittlung der Vortriebsklassen

Der letzte Planungsschritt beinhaltet die Ermittlung der Vortriebsklassen, welche sich aus der Bewertung der Baumaßnahmen (gemäß ÖNORM B2203-1) ergeben und der Erstellung der Vergütungsregelungen in den Ausschreibungsunterlagen dienen.

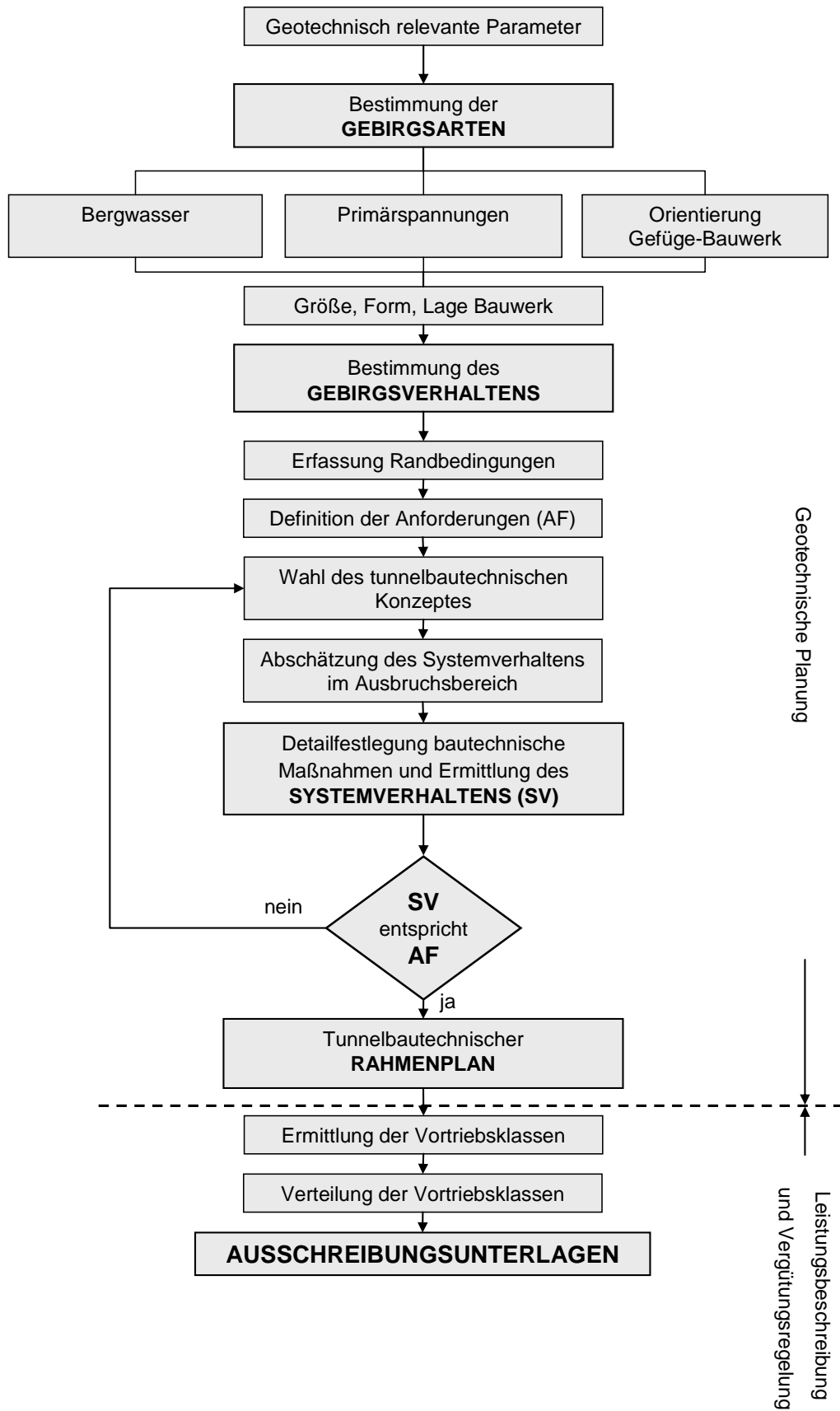


Abbildung 2: Schematischer Ablauf der Geotechnischen Planung, Phase 1

4.2 Bestimmung der Gebirgsarten

Unter Gebirgsart versteht man ein geotechnisch relevantes Gebirgsvolumen, bestehend aus Matrix, Trennflächen und tektonischen Struktur (Gebirge), welches gleichartig ist in Bezug auf Eigenschaften, wie:

- im **Festgestein**: mechanische Eigenschaften (Gestein – Gebirge), Trennflächencharakteristika und -eigenschaften, Gesteinsart, Gesteins- und Gebirgszustand, hydraulische Eigenschaften
- im **Lockergestein**: mechanische Eigenschaften, Parameter des Korngemisches, Parameter der Bodenkomponenten, Parameter der Matrix, Lagerungsdichte, Bodenwasser, hydraulische Eigenschaften

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

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

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

4.2.1 Methodik

Die geotechnisch relevanten Eigenschaften des Gebirges werden durch ausgewählte Parameter beschrieben [6]. Die Tabelle 1 dient als Hilfestellung für die Auswahl der geotechnisch maßgebenden Parameter in Abhängigkeit verschiedener Gesteinsarten. Je nach projektspezifischen Gegebenheiten kann auch die Erhebung zusätzlicher Parameter erforderlich sein. Es ist auf jeden Fall zu überprüfen, ob die gewählten Parameter ausreichend sind um die Eigenschaften des Gebirges zutreffend beschreiben zu können ([7, 8]).

Anhang A enthält eine Aufzählung von Gesteins-, Trennflächen- und Gebirgsparametern mit den dazugehörigen Literaturverweisen.

Für die Bestimmung der einzelnen Parameter sollten grundsätzlich regional gebräuchliche Normen oder Standards ausgewählt werden. Die Verwendung anderer Verfahren ist zu begründen.

In allen Bearbeitungsphasen ist für die Parameter, neben der erforderlichen Angabe der verwendeten und ausgewerteten Daten, die erwartete Streubreite anzugeben.

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

Die geotechnischen Parameter und Einflussfaktoren werden zweckmäßigerweise in den frühen Projektphasen erhoben. Erkundungen während der Ausschreibungsplanung sollen primär der Reduktion von Unsicherheiten und des Risikos in geotechnisch kritischen Bereichen dienen.

In frühen Projektphasen (z. B. Machbarkeitsstudie, Vorstudie) können einfache Bewertungsverfahren ([9, 10]) verwendet werden, wobei bei den Gesteins- und Gebirgskennwerten häufig auf Literatur- und Erfahrungswerte zurückgegriffen werden muss. Die Quelle der verwendeten Werte ist anzugeben.

In späteren Projektphasen (z. B. Einreichprojekt, Ausschreibungsprojekt) können empirische Verfahren [11, 12, 13, 14] oder numerische Methoden [15, 16] zur Ermittlung der Eigenschaften des Gebirges herangezogen werden.

Neben der Gebirgsfestigkeit und den Verformungseigenschaften sind erforderlichenfalls auch spezielle Charakteristika darzustellen (z. B. starke Anisotropie [17], geringe Reibung an Trennflächen, Einschaltungen von anderen Gesteinsarten, etc.).

GESTEINSART		MASSGEBENDE PARAMETER																		
		GESTEIN										TRENNFLÄCHEN								
		Mineralbestand	Tomineralgehalt (qualitativ)	Tomineralgehalt (quantitativ)	Zementation	Korngröße	Textur	Verhältnis Matrix / Komponenten	Porosität	Alteration / Verwitterung	Lösungsphänomene	Quelleigenschaften	Festigkeitseigenschaften	Anisotropie	Kluftkörpergröße	Kluftkörperform	Durchtrennungsgrad	Öffnung	Schereigenschaften / Rauigkeit	Füllung
FESTGESTEINE	Plutonische Gesteine	■				■	■				□		■		■	■	□	■	□	□
	Vulkanische Gesteine (massig)	□					□		■	■		■		■	■	□	■	□	■	
	Vulkanoklastische Gesteine	□	□		□	□		■	■	■		□	□							
	Grobkörnige Klastische Gesteine (massig)	□		□	■	■	□	■	□	□		■		□	□	□	□			
	Feinkörnige Klastische Gesteine (massig)		■	■	■	■				□		■	□		□	□				
	Grobkörnige Klastische Gesteine (geschichtet)	□		□	■	■		■	□	□		■	■		■			■		
	Feinkörnige Klastische Gesteine (geschichtet)		■	■	■	■				□		■	■		■			■	□	
	Karbonatgesteine (massig)	■									■		■			□	□	■		□
	Karbonatgesteine (geschichtet)	■									■		■		■	■			□	□
	Karbonatgesteine (mergelig)		■	■							■	■	■		□	□			■	□
	Sulfatgesteine	■									■	■	□							
	Metamorphe Gesteine (massig)	■				■	■				□		■			■	□	■		
	Metamorphe Gesteine (geschiefert)	■				■	■				□		■	■	■	■	□		■	■
	Störungsgesteine	□	■	■	■			■		□		■	■							
	LOCKERGESTEINE	Grobkörnige Böden (Kies)					■		■	□			■							
Grobkörnige Böden (Sand)						■		□	□			■								
Gemischtkörnige Böden		□		■		■		■	□			■								
Feinkörnige Böden (Schluff)						■		□				■								
Feinkörnige Böden (Ton)		□		■		■		□				■	■							

Legende: ■ Eigenschaft von signifikanter Bedeutung □ Eigenschaft von Bedeutung

Tabelle 1: Beispielhafte Zuordnung von geotechnisch maßgebenden Parametern zu übergeordneten Gesteinsarten. Andere Kombinationen von Parametern können sich je nach projektspezifischen Anforderungen ergeben.

4.2.2 Angaben

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

4.3 Bestimmung des Gebirgsverhaltens

Das Gebirgsverhalten beschreibt die Reaktion des Gebirges auf den Ausbruch des Gesamtquerschnittes unter Berücksichtigung der anstehenden Gebirgsart und der Einflussfaktoren, aber ohne Berücksichtigung von Baumaßnahmen, wie z.B. Querschnittsunterteilung, Ausbau, Bauhilfs- und Voraussicherungsmaßnahmen.

Zunächst werden in den einzelnen Bereichen des Hohlraumbauwerkes die Orientierung der maßgeblichen Strukturen relativ zum Hohlraum und die Grundwasser-Verhältnisse erfasst, sowie die Spannungsverhältnisse für jeden Abschnitt ermittelt. Nach Zuordnung aller relevanten Parameter und Einflussfaktoren zu allen Abschnitten wird das Gebirgsverhalten in den jeweiligen Bereichen ermittelt.

Das jeweils ermittelte Gebirgsverhalten soll daraufhin den übergeordneten Kategorien der Gebirgsverhaltenstypen (Tabelle 2) zugeordnet und deren Verteilung entlang des Bauwerkes ermittelt werden.

4.3.1 Methodik

Grundsätzlich ist in diesem Schritt bei lang gestreckten Hohlräumen von einem ungestützten Hohlraum ohne Querschnittsunterteilung und ohne stützende Wirkung der Ortsbrust auszugehen.

Folgende Einflussfaktoren werden im Allgemeinen für die Bestimmung des Gebirgsverhaltens (GV) berücksichtigt:

- Gebirgsart
- Primärspannungszustand (Spannungsverhältnisse im unverritzten Gebirge)
- Form und Größe des Hohlraumes (Durchmesser und Querschnittsform im endgültigen Ausbruchszustand, nicht der einzelnen Zwischenbauzustände).
- Lage des Hohlraumes (z.B. zur Oberfläche, Hanglage, zu bestehenden Bauwerken)
- Orientierung des Bauwerkes zum Trennflächengefüge (beschreibt die Lage des Bauwerkes zu den maßgebenden Trennflächenscharen; dient als Grundlage von kinematischen Überlegungen und zur Ermittlung von gefügebedingter Spannungsumlagerung).
- Schichtgrenzen von Gebirgsarten
- Bergwasser, Strömungsdruck, hydrostatischer Druck

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

- Kinematik: Kinematische Untersuchungen zur Erfassung von gefügebedingten Nachbrüchen, bzw. Ausgleiten von Klufkörpern.
Methoden: z. B. Key Block Theory [18], Lagenkugelanalyse [19, 20]
- Beanspruchung: Ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen dem im Einflussbereich des Tunnels vorherrschenden räumlichen Spannungszustand und den Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Gebirges.
Methoden: analytische Verfahren [21, 22, 23], 24], numerische Methoden

- Bruch- und Versagensmechanismen: Mögliche Bruchmechanismen sind zu untersuchen und zumindest qualitativ zu beschreiben (z. B. Sprödbbruch mit geringer Tiefe, Entspannungsgleiten an Trennflächen, Scherbruch, etc.). Methoden: Modellversuche, analytische Methoden, numerische Methoden, 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 realitätsnah abbilden können.

Die ermittelten Gebirgsverhalten sind den in Tabelle 2 dargestellten elf Kategorien zuzuordnen. 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, wie es z.B. bei Störungszonen zutreffen kann, sind der Kategorie 11 zuzuordnen. Die Charakteristika sind projektspezifisch zu beschreiben.

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

Tabelle 2: Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen

4.3.2 Angaben

Folgende Mindestangaben sind für jeden GVT erforderlich:

- Gebirgsart(en)
- Orientierung der maßgeblichen Trennflächen relativ zum Hohlraum
- Beanspruchung des Hohlraumrandes und des hohlraumnahen Bereiches
- Bergwasserverhältnisse: Abgrenzung von Mengen/Drücken, unter welchen der GVT gültig ist
- Skizze der erwarteten Gebirgsstruktur
- Gebirgsverhalten (Versagens- und Bruchmechanismen, Langzeitverhalten)
- Größenordnung der Verschiebung des ungestützten Hohlraumrandes und Angabe der dominanten Verschiebungsrichtungen. Unterscheidung, ob Verschiebungen rasch abklingen, oder lange andauern können.

4.4 Wahl des tunnelbautechnischen Konzeptes und Abschätzung des Systemverhaltens im Ausbruchsbereich

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

Das tunnelbautechnische Konzept beinhaltet im Allgemeinen:

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

Basierend auf dem tunnelbautechnischen Konzept wird das Systemverhalten im Ausbruchsbereich ermittelt.

Einflussfaktoren für das Systemverhalten im Ausbruchsbereich sind:

- das Gebirgsverhalten
- die Form, Größe und Unterteilung des Ausbruchsquerschnittes
- die Abschlagslänge
- die Lösemethode
- der räumliche Spannungszustand
- das Bergwasser
- die räumliche Entwicklung des Bauablaufes
- Stützmittel, soweit diese das Verhalten im Ausbruchsbereich beeinflussen

Das Systemverhalten im Ausbruchsbereich ist grafisch darzustellen und sind potenzielle Versagensmechanismen einzutragen

4.5 Detailfestlegung von bautechnischen Maßnahmen und Ermittlung des Systemverhaltens im gesicherten Bereich

Auf Basis der vorangegangenen Abschätzung des Systemverhaltens im Ausbruchsbereich werden die bautechnischen Maßnahmen im Detail festgelegt. Dabei sind die Stabilität der Ortsbrust und der Laibung, der räumliche Spannungszustand, nachfolgende Bauphasen, sowie Randbedingungen zu berücksichtigen.

Nach Festlegung aller bautechnischen Maßnahmen wird das Systemverhalten (Zusammenwirken von Gebirge, Ausbau, Zusatzmaßnahmen und Bauablauf) untersucht und den Anforderungen gegenübergestellt.

4.5.1 Einflussfaktoren

Bei der Ermittlung des Systemverhaltens im gesicherten Bereich sind zusätzlich zu den oben erwähnten folgende Einflussfaktoren zu berücksichtigen:

- Zeitpunkt, Einbauort und zeitabhängige Wirkung der Stützmittel
- Zeitabhängige Eigenschaften des Gebirges
- Nachfolgende Bauphasen

4.5.2 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

4.5.3 Analysen und Nachweise

Das Systemverhalten soll durch Analysen ermittelt und den Anforderungen gegenübergestellt werden. 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 Bergwasserhaushalt, etc.)
- das Einhalten von Verschiebungen innerhalb festgelegter Toleranzen (Zulässigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Systemverträglichkeit, etc.)
- Alle Analysen sind in einer nachvollziehbaren Form zu dokumentieren.
- Die Streuung der Einflussfaktoren, sowie der Einfluss der Bauarbeiten auf das Umfeld sind zu berücksichtigen. In der Regel sind die Einflussfaktoren für die Abschätzung des Systemverhaltens keine deterministischen Größen, sondern liegen meist in einer Bandbreite vor. Die Auswirkungen der Variation von kritischen Einflussfaktoren auf das Systemverhalten sollen in einer Parameterstudie untersucht werden.

Die Abhängigkeit des Systemverhaltens von den gewählten Baumaßnahmen erlaubt eine optimale Auswahl von Bauablauf und Baumaßnahmen a priori nur in

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

Falls die erforderlichen Parameter nicht mit der nötigen Genauigkeit im Voraus bestimmbar sind, sind im Rahmen eines geotechnischen Sicherheitsmanagements Methoden und Vorgangsweisen zur baubegleitenden Verifizierung 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 aufzuzeigen.

4.5.4 Angaben zum Systemverhalten

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

Diese Angaben können typischerweise sein:

- Ausmaß, Richtung und zeitlicher Verlauf der Verschiebungen des Hohlraumrandes in den einzelnen Bauphasen
- Anforderungen an die Ortsbruststützung
- Setzung der Geländeoberfläche (bei seicht liegenden Hohlräumen)
- Verhalten der Stützmittel (wie Auslastung von Spritzbeton, Deformation von Ankerplatten und Deformationselementen, etc.)

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

4.6 Ermittlung der Vortriebsklassen

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

Zur Mengenermittlung ist eine Prognose der Verteilung der Vortriebsklassen erforderlich. Es sind sowohl das wahrscheinlichste Szenario als auch die sich aus der Streuung der Eingangsparameter ergebende Bandbreite an Vortriebsklassen anzugeben. Hierbei sind nicht nur die unterschiedlichen geologischen und geotechnischen Verhältnisse, sondern auch die Heterogenität und Wechselhaftigkeit des Gebirges entlang der Trasse zu berücksichtigen. Ein häufiger Wechsel der Vortriebsklasse in stark heterogenem Gebirge wird in vielen Fällen baupraktisch, ökonomisch und technisch unzweckmäßig sein. „Homogenisierungen“ in der Vortriebsklassenverteilung sind zu erläutern.

4.7 Geotechnischer Bericht

Die Ergebnisse der geotechnischen Planung sind in einem gesonderten geotechnischen Bericht zusammenzufassen, in welchem die einzelnen, in dieser Richtlinie dargestellten Schritte übersichtlich und nachvollziehbar zu beschreiben sind.

Der Geotechnische Bericht soll vom Tunnelplaner in enger Abstimmung mit Geologen und Geomechanikern erstellt werden.

4.7.1 Inhalt des Geotechnischen Berichtes:

- Kurzdarstellung der Ergebnisse der Baugrunderkundung und deren Interpretation
- Beschreibung der Gebirgsarten sowie der hierfür maßgebenden Parameter
- Beschreibung der prognostizierten Gebirgsverhaltenstypen sowie die Darlegung der hierfür maßgebenden Einflussfaktoren, der durchgeführten Untersuchungen und zu Grunde gelegten geotechnischen Modellvorstellungen
- Bericht über die Festlegung von Ausbruch und Stützung, die Darlegung der hierfür maßgebenden Kriterien (wie Stabilität von Ortsbrust und ungestütztem Bereich), der angewandten Berechnungsmethoden, sowie der durchgeführten Nachweise
- Beschreibung und skizzenhafte Darstellung des Systemverhaltens in allen Bereichen
- Definition der Kriterien zur Zuordnung der Baumaßnahmen zum Systemverhalten im Ausbruchsbereich
- Tunnelbautechnischer Rahmenplan
- Verteilung der Vortriebsklassen über die Länge des aufzufahrenden Hohlraumes.

4.7.2 Inhalt des Tunnelbautechnischen Rahmenplanes

Der Tunnelbautechnische Rahmenplan soll in Kurzform folgende Angaben enthalten:

- Geologisches Modell mit Verteilung der erwarteten Gebirgsarten im Längsschnitt
- Darstellung des erwarteten Systemverhaltens im Ausbruchsbereich für die jeweiligen Gebirgsarten und Einflussfaktoren (z.B. Überlagerung, Orientierung der Strukturen zum Untertagebauwerk)
- Vorgaben für die Festlegung der Baumaßnahmen vor Ort, bezogen auf das Systemverhalten im Ausbruchsbereich
- Kriterien für die Zuordnung der bautechnischen Maßnahmen
- Vorgaben für Ausbruch und Stützung (z. B. Abschlagslängen, Abbaufolgen, Übermaß, Vortriebsgeschwindigkeiten, Sohlschlussbedingungen, Stütz- und Sicherungsmaßnahmen, etc.)
- Anwendungskriterien für die bautechnischen Maßnahmen
- Angabe jener Maßnahmen, die vor Ort festzulegen sind (z. B. vorseilende Stützmaßnahmen, Ortsbruststützung, Entwässerungsmaßnahmen, etc.)
- Angaben zum erwarteten Systemverhalten in den gesicherten Bereichen (Verformungsverhalten, Auslastungsgrad der Stützmittel, etc.)
- Warnkriterien und Alarmwerte, sowie Angabe der durchzuführenden Maßnahmen entsprechend dem geotechnischen Sicherheitsmanagementplan

5 PHASE 2 - BAUAUSFÜHRUNG

5.1 Grundsätzlicher Ablauf

Da die Gebirgsverhältnisse vor Baubeginn meist nicht vollständig bekannt sein können, ist in der Regel eine Fortschreibung und Verfeinerung des geotechnischen Modells sowie eine Anpassung der bautechnischen Maßnahmen an die tatsächlich angetroffenen Gebirgsverhältnisse während des Baues erforderlich.

Die vor Ort erstellten geotechnischen Detailanalysen des Systemverhaltens dienen unter anderem der Verfeinerung des Prognosemodells. Daraus abgeleitete Erkenntnisse sollen in die Festlegung der bautechnischen Maßnahmen entsprechend Eingang finden. Bei geotechnisch anspruchsvollen Hohlraumbauwerken soll hierfür jedenfalls ein Geotechniker vor Ort (geotechnisch erfahrener Tunnelbauingenieur) eingesetzt werden.

Eine endgültige Zuordnung der bautechnischen Maßnahmen für Ausbruch und Stützung ist meist erst vor Ort möglich. Um bei dieser Vorgangsweise die erforderliche Sicherheit gewährleisten zu können, ist ein entsprechendes Sicherheitsmanagement vorzusehen.

Abbildung 3 zeigt schematisch den grundsätzlichen Ablauf.

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

Die geologische Dokumentation soll die in der Planung genannten Eigenschaften der Gebirgsarten erfassen. Zusätzliche Beobachtungen im bereits ausgebrochenen Bereich, wie Zeichen von Überbeanspruchung, Verformungs- und Bruchmechanismen sowie eventuelle Vorauskundungsmaßnahmen und Auswertungen der geotechnischen Messungen werden benützt, um das Baugrundmodell ständig zu aktualisieren und eine kurzfristige Prognose der Gebirgsverhältnisse im anstehenden Ausbruchsbereich zu erstellen.

2. Schritt – Abschätzung des Systemverhaltens im Ausbruchsbereich

Auf Basis der prognostizierten Gebirgsverhältnisse ist unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren im nächsten Ausbruchsabschnitt das Systemverhalten zu analysieren und mit den Angaben im tunnelbautechnischen Rahmenplan zu vergleichen. Dabei ist insbesondere auf potenzielle Versagensmechanismen zu achten.

3. Schritt – Festlegung von Ausbruch und Stützung und Prognose des Systemverhaltens im gesicherten Bereich

Die Festlegung von Ausbruch und Stützung hat nach den im tunnelbautechnischen Rahmenplan definierten Kriterien zu erfolgen. Es ist daher vorerst zu überprüfen, inwieweit die angetroffenen Gebirgsverhältnisse (Gebirgsart, Systemverhalten) den darin 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 wirtschaftlicher wie auch ein sicherer Vortrieb gewährleistet ist.

Das Systemverhalten ist unter Berücksichtigung der Gebirgsverhältnisse und der gewählten Baumaßnahmen für den jeweils anstehenden Ausbruchsbereich zu prognostizieren und festzuhalten.

Anmerkung: Die bautechnischen Maßnahmen müssen zum größten Teil vor dem Ausbruch festgelegt werden. Nach dem Ausbruch sind in der Regel nur mehr geringfügige Anpassungen (z. B. Nachankerungen, Ankerdichte und -länge) möglich. Die Entscheidung basiert daher auch in dieser Phase zum größten Teil auf einer Prognose. Dies unterstreicht die Bedeutung der kontinuierlichen Kurzzeitprognose.

4. Schritt – Überprüfung des Systemverhaltens:

Die Überprüfung, ob das prognostizierte Systemverhalten den definierten Anforderungen und den Kriterien des geotechnischen Sicherheitsmanagementplanes entspricht, erfolgt durch Beobachtung während und nach dem Ausbruch des betreffenden Bereiches (visuell und messtechnisch). Sind z.B. die Deformationen oder Beanspruchungen im Ausbau wesentlich größer oder kleiner als die jeweils erwarteten, sind die für die Beurteilung verwendeten Parameter und Annahmen zur Bestimmung von Gebirgsart und das angenommene Verhalten des ungestützten Bereiches und der Ortsbrust sowie die Kriterien für die Zuordnung der Baumaßnahmen 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. Damit wird eine laufende Verbesserung und Verfeinerung der Ausbau- bzw. Vortriebsfestlegung erzielt.

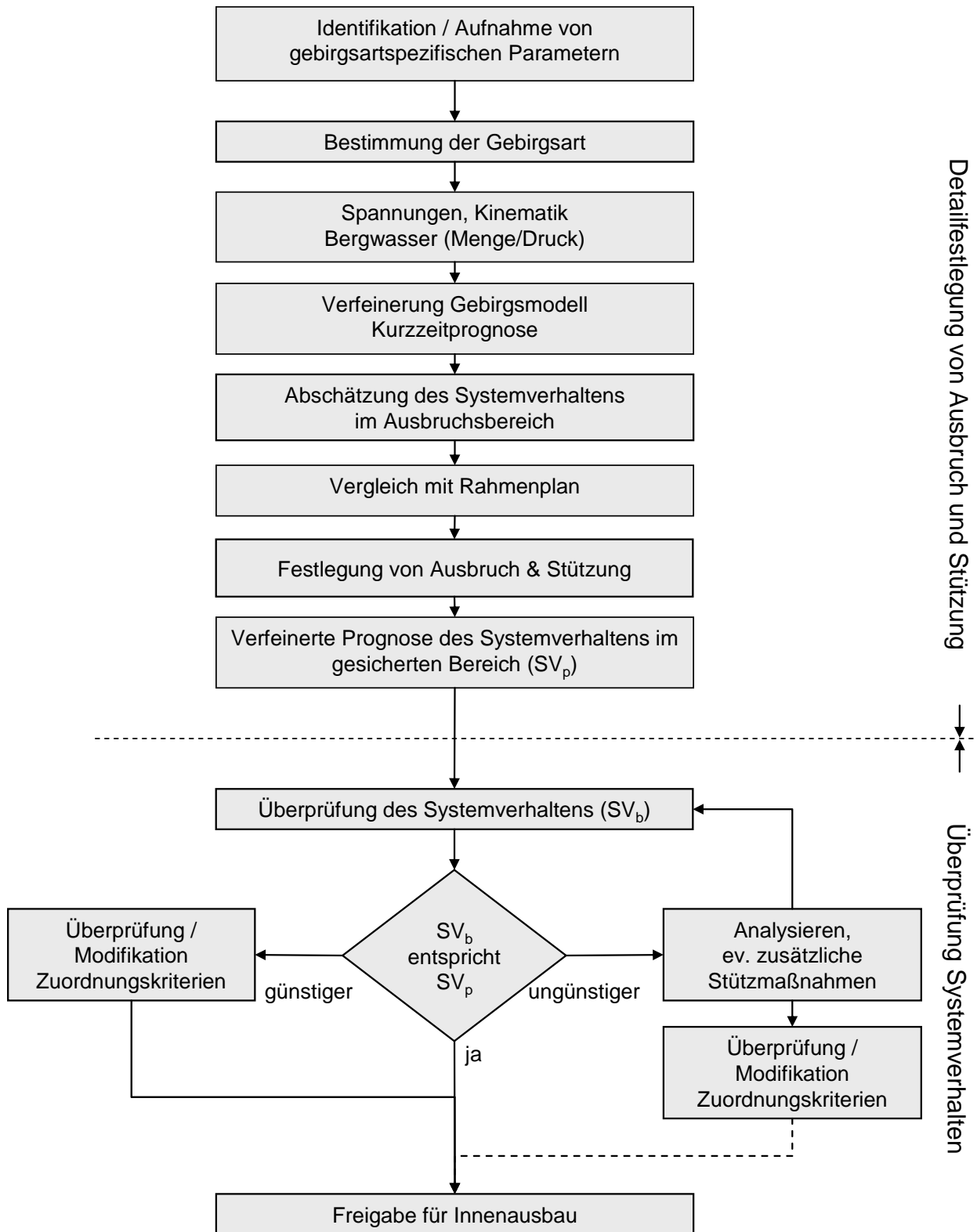


Abbildung 3: Grundsätzlicher Ablauf der Festlegung und Überprüfung von Baumaßnahmen während der Ausführung (SV_p = prognostiziertes Systemverhalten, SV_b = beobachtetes Systemverhalten)

5.2 Bestimmung der aktuellen Gebirgsart

5.2.1 Vorbereitung und Methodik

Vorbereitend zum Bau wurden in der Planung für die einzelnen erwarteten Gebirgsarten Schlüsselparameter festgelegt. Bei der Festlegung der für die Zuordnung vor Ort verwendeten Parameter ist darauf zu achten, dass diese routinemäßig erhoben werden können. In einigen Fällen kann die Erhebung zusätzlicher Parameter, welche das Systemverhalten maßgeblich beeinflussen, erforderlich werden.

Zur Differenzierung der einzelnen Gebirgsarten werden die in der Prognose erhobenen Daten bei Bedarf durch zusätzliche Parameter ergänzt. Die Einführung von zusätzlichen Parametern ist zu begründen und zwischen den Beteiligten abzustimmen. Die einzelnen Schlüsselparameter werden in Kategorien unterteilt. Wo immer möglich, sollten numerische Werte verwendet werden (z. B. Trennflächenabstand, Kluftöffnung, Festigkeit, etc.). Aus praktischen Gründen können einige Parameter vor Ort nur qualitativ beschrieben werden (z. B. Rauigkeit).

Die vor Ort erhobenen Parameter sind so zu kombinieren und zu gewichten, dass die in der Planung definierten Gebirgsarten zuordenbar sind.

Die Zuordnung der einzelnen Gebirgsarten zu den Parameterkombinationen soll in Form einer Matrix erfolgen.

5.2.2 Erhebung der Parameter vor Ort und Zuordnung der Gebirgsart

Die Aufnahme vor Ort konzentriert sich auf die Erfassung der relevanten geologischen und geotechnischen Daten und des Gebirgsgefüges. Die erhobenen Parameter werden in Formblätter eingetragen, woraus sich die zutreffende Gebirgsart nach den in der Planung definierten Kriterien ergibt. Bei heterogenen Gebirgsverhältnissen ist die Ortsbrust in Bereiche zu unterteilen, für die die jeweiligen Parameter getrennt zu erheben sind.

Um die geologisch-geotechnischen Verhältnisse in jenem Gebirgsvolumen zu erfassen, das maßgeblich ist für das Verhalten des Gebirges, ist es erforderlich, nicht nur die Ortsbrust zu dokumentieren, sondern auch die darüber hinausreichenden räumlichen Verhältnisse zu prognostizieren.

5.3 Abschätzung des Systemverhaltens im Ausbruchsbereich

5.3.1 Methodik

Zusätzlich zu den Parametern zur Ermittlung der Gebirgsart(en) sind die einzelnen Einflussfaktoren, wie z. B. Bergwasserverhältnisse, Gefügeverhältnisse, Spannungssituation, kinematische Gegebenheiten sowie Beobachtungen zum Systemverhalten im Ausbruchsbereich zu erheben und aufzuzeichnen.

Eine laufende Analyse der gebirgsmechanischen Vorgänge im bereits ausgebrochenen Bereich erlaubt eine Einschätzung der Gebirgsverhältnisse außerhalb des aufgeschlossenen Bereiches. Neben der geologischen Prognose kann die erwei-

terte Auswertung der geotechnischen Messungen wertvolle Hinweise auf vorausliegende Gebirgsverhältnisse geben.

Geeignete Methoden der Messdatenanalyse zur Verbesserung der Kurzzeitprognose sind:

- Beobachtung der räumlichen Spannungsumlagerung durch die Verwendung von Zustandslinien (Einflusslinien) [25, 26]
- Extrapolation von Verschiebungstrends [27]
- Analyse von Verschiebungsvektororientierung und/oder Verhältnisse von Verschiebungskomponenten unterschiedlicher Messpunkte [28, 29, 30, 31, 32]
- Analyse von zusätzlichen Messergebnissen von z.B. Extensometern oder Inclinometern [33]

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

5.4 Festlegung von Ausbruch und Stützung

5.4.1 Vergleich mit tunnelbautechnischem Rahmenplan

Um die Maßnahmen für Ausbruch und Stützung endgültig 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 Ausbruchsbereich gemäß tunnelbautechnischem Rahmenplan übereinstimmen. Werden die vor Ort anstehenden Baugrundverhältnisse mit den Annahmen und Grundlagen des gültigen Rahmenplanes erfasst, so sind bei der vor Ort vorzunehmenden Detailfestlegung der bautechnischen Maßnahmen die Vorgaben, Festlegungen und sonstigen Angaben des Rahmenplanes zu berücksichtigen. Örtlich zusätzlich erforderliche Maßnahmen sind auch dann zu setzen, wenn sie im Rahmenplan nicht ausdrücklich gefordert sind.

Sollten Abweichungen festgestellt werden, welche die im tunnelbautechnischen Rahmenplan festgelegte Variationsbreite überschreiten, ist der Planer zu informieren, um sein Prognosemodell zu überprüfen, neuen Erkenntnissen anzupassen und den Maßnahmen kurzfristig zuzustimmen und gegebenenfalls eine entsprechende Fortschreibung des Rahmenplanes durchzuführen.

5.4.2 Entscheidungen vor Ort

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

5.4.3 Verfeinerung der Zuordnungskriterien

Während der Planung werden jedem Gebirgsverhalten eine oder mehrere Baumaßnahmen zugeordnet. Der Zugewinn an Kenntnis während der Bauausführung

erlaubt eine Verfeinerung der Zuordnungskriterien. Zur Erhöhung der Zielgenauigkeit kann es zweckmäßig sein die Anzahl der Parameterkategorien zu erhöhen oder zusätzliche Parameter einzuführen. Änderungen in den Zuordnungskriterien oder Parameterkategorien müssen mit Baustellendaten belegt werden und erfordern eine Fortschreibung des Tunnelbautechnischen Rahmenplanes.

5.4.4 Verfeinerung der Prognose des Systemverhaltens

Der erhöhte Kenntnisstand erlaubt neben der genaueren Bestimmung von Gebirgsverhalten eine präzisere Prognose des Systemverhaltens. Üblicherweise wird die Prognose des Gebirgs- und Systemverhaltens für einen Bereich von 10 m bis 20 m vor der aktuellen Ortsbrust erstellt.

Die Prognose des Systemverhaltens sollte zumindest beinhalten:

- Erwartete Größe und Richtung der Verschiebungen des Hohlraumes und gegebenenfalls der Oberfläche sowie der zeitliche Verlauf und die räumliche Verteilung der Verschiebungen [32, 34, 35]
- Erwartete Auslastung der Stützmittel

5.5 Überprüfung des Systemverhaltens

Mit Hilfe der Beobachtung des Systemverhaltens im Ausbruchsbereich, eventueller Brucherscheinungen und der Auswertung und Analyse der Messdaten wird das angetroffene Systemverhalten im gesicherten Bereich und im Endzustand beurteilt und mit dem prognostizierten Systemverhalten verglichen und überprüft, ob das Systemverhalten innerhalb der für den Bereich gültigen Warnkriterien liegt. Zusätzliche Messungen und Auswertungen können eingesetzt werden, um z. B. den Auslastungsgrad der Stützmittel größenordnungsmäßig abzuschätzen [36, 37].

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

Beobachtetes Systemverhalten anders als prognostiziert

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

- unzutreffende geologische / geotechnische Verhältnisse
- ein von der Prognose abweichendes Gebirgsverhalten
- eine nicht zutreffende Parameterzuordnung
- nicht zutreffende Annahmen der Einflussfaktoren

zurückzuführen sein.

Die Ursachen für die Abweichung sind zu analysieren. Sollte eine nicht zutreffende Bewertung der Einflussfaktoren (z.B. Spannungssituation) vorliegen, sind die Parameter entsprechend zu modifizieren und die Modifikation nachvollziehbar zu begründen sowie im Rahmen der Fortschreibung der geotechnischen Planung zu dokumentieren.

Ist die Ursache in einer unerwartet **höheren** Gebirgsqualität begründet, ist jedenfalls das Prognosemodell zu überarbeiten und sind, bei entsprechend signifikanter Abweichung, die Vorgaben für Ausbau und Stützmaßnahmen für künftige Abschlüsse zu modifizieren.

Sollte die Ursache in einer unerwartet **geringeren** Gebirgsqualität begründet sein oder werden Warnstufen erreicht, sind die im Sicherheitsmanagementplan festgelegten Maßnahmen auszuführen und Vortrieb und Ausbau entsprechend anzupassen. Dies kann einerseits nachträglich erfolgen (z. B. Nachankerung, Einbau eines Kalottensohlgewölbes, etc.), andererseits kann auch eine Verstärkung des Ausbaues im nächstfolgenden Ausbruchsbereich die angestrebten Auswirkungen im zurückliegenden Vortriebsbereich nach sich ziehen.

Bei wesentlichen Abweichungen sind das Prognosemodell und der tunnelbautechnische Rahmenplan hinsichtlich der Vorgaben für Ausbau und Stützmaßnahmen für die noch nicht aufgefahrenen Vortriebsbereiche zu überarbeiten.

5.6 Fortschreibung der Planung

Im Rahmen der Planung eines Hohlraumbauwerkes sind auf der Basis der vorliegenden Erkundungsergebnisse eine Vielzahl von Annahmen und Prognosen zu treffen, welche in die geotechnische Planung Eingang finden und mitbestimmend sind für die Festlegungen im tunnelbautechnischen Rahmenplan und in den Ausschreibungsunterlagen (z. B. Verteilung der Vortriebsklassen, etc.).

Zur Erreichung einer sicheren und wirtschaftlichen Bauausführung soll daher im Zuge des Baues und der damit verbundenen Zunahme der Erkundungsdichte in der Regel die geotechnische Planung verfeinert werden.

Dies gilt sowohl für die Bestimmung der Gebirgsarten, deren Zuordnung und Kalibrierung von Schlüsselparametern, als auch für die Bestimmung des Systemverhaltens und eine gegebenenfalls zweckmäßige Verfeinerung oder Neuordnung von Parameterkategorien. Sämtliche dieser Schritte dienen der Verbesserung des geologisch-geotechnischen Prognosemodells.

Der Geotechniker vor Ort oder jener Tunnelbauingenieur, dem die geotechnische Betreuung übertragen wurde, hat dem Planer signifikante Abweichungen der aktuellen geologisch-geotechnischen Verhältnisse (insbesondere hinsichtlich Gebirgsart und Systemverhalten) gegenüber dem gültigen Rahmenplan umgehend mitzuteilen und ihm, nach Abstimmung mit dem örtlichen Geologen und den Baustellenverantwortlichen, einen detaillierten schriftlichen Bericht mit Darstellung aller relevanten Informationen zu übermitteln. Der Planer hat daraufhin den tunnelbautechnischen Rahmenplan nach Abklärung der Gegebenheiten in geeigneter Weise fortzuschreiben und dies entsprechend zu dokumentieren.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ÖNORM B 2203-1. Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm. Teil 1: Zyklischer Vortrieb. Österreichisches Normungsinstitut. 2001
- [2] EN 1997; EUROCODE 7 Geotechnical design – Part 1: General rules
- [3] Vavrovsky, G.M., Schubert, P., Ayaydin, N., (2001). Geotechnisches Sicherheitsmanagement im oberflächennahen Tunnelbau, Felsbau 19, Nr. 5
- [4] Riedmüller, G., Schubert, W. (1999). Critical comments on quantitative rock mass classifications. Felsbau 17(3): 164-167
- [5] Schubert, W., Goricki, A., Button, E., Riedmüller, G., Pölsler, P., Steindorfer, A., Vanek, R. (2001). Excavation and Support Determination for the Design and Construction of Tunnels. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 383-388. Rotterdam: Balkema
- [6] Riedmüller, G., Schubert, W. (2001). Project and Rock Mass Specific Investigation for Tunnels. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 369-376. Rotterdam: Balkema
- [7] Liu, Q., Brosch, F.-J., Klima, K., Riedmüller, G., Schubert, W. (1999). Application of a Data Base System During Tunnelling. Felsbau 17(1): 47-50
- [8] Liu, Q., Riedmüller, G., Klima, K., (2001). Quantification of Parameter Relationship in Tunnelling. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 357-362. Rotterdam: Balkema
- [9] Harer, G., Riedmüller, G. (1999). Assessment of ground conditions for the Koralm tunnel during the early stages of planning. Felsbau 17 (5), 374 – 380
- [10] Goricki, A., Schubert, W., Fuchs, R., Steidl, A. (2001). Geotechnical Assessment of the Route Corridor for the Koralm Base Tunnel. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 77-82. Rotterdam: Balkema
- [11] Hoek, E. (1999). Putting numbers to geology – an engineer’s viewpoint. Felsbau 17 (3), 139 - 151
- [12] Marinos, P. Hoek, E. (2000). GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proceedings GeoEng 2000
- [13] Cai, M., Kaiser, P.K., Tasaska, Y., Minami, M. (2007). Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 44, Issue 2, 247-265. Elsevier
- [14] Hoek, E., Diederichs, M.S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 43, 203-215. Elsevier
- [15] Amadei, B., Savage, W. Z. (1993). Effects of Joints on Rock Mass Strength and Deformability. Comprehensive Rock Engineering, Volume 1, 331 – 365. Hsg. Hudson J. A. et al. Pergamon Press, Oxford
- [16] Bashin, R., Høeg, K. (1998). Numerical modelling of block size effects and influence of joint properties in multiply jointed rock. Tunnelling and Underground Space Technology, 13, 181 - 188
- [17] Blümel, M., Brosch, F.-J. , Fasching, A. (1999). Investigations on fabrics and related mechanical properties of a highly anisotropic gneiss. In G. Vouille, P.

- Berest (eds.), International Congress on Rock Mechanics; Proc. intern. symp., Paris: 1001-1005. Rotterdam: Balkema
- [18] Goodman, R.E., Shi, G.H. (1985). Block theory and its application to rock engineering. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
- [19] John, K.W., Deutsch, R. (1974). Die Anwendung der Lagenkugel in der Geotechnik. Festschrift Leopold Müller-Salzburg, Karlsruhe
- [20] Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F. (1995). Support of underground excavations in hard rock. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield
- [21] Feder, G. (1977). Zum Stabilitätsnachweis für Hohlräume in festem Gebirge bei richtungsbetontem Primärdruck. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 122 (4), 131 -140
- [22] Feder, G. (1978). Versuchsergebnisse und analytische Ansätze zum Scherbruchmechanismus im Bereich tiefliegender Tunnel. Rock Mechanics 6, 71 -102
- [23] Sulem, J., Panet, M., Guenot, A. (1987). Closure analysis in deep tunnels. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Science (24), 145 -154
- [24] Brown, E.T., Bray, J.W., Ladanyi, B., Hoek, E. (1983). Ground response curves for rock tunnels. J. Geotech. Engrg., ASCE, 109(1), 15-39
- [25] Vavrovsky, G.M., (1987) Entspannung, Belastungsentwicklung und Versagensmechanismen bei Tunnelvortrieben mit geringer Überlagerung, Dissertation Montanuniversität Leoben
- [26] Vavrovsky, G.M., Ayaydin N., Bedeutung der vortriebsorientierten Auswertung geotechnischer Messungen im oberflächennahen Tunnelbau. Forschung und Praxis, Band 32
- [27] 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
- [28] 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
- [29] 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
- [30] Steindorfer A. (1997). Short Term Prediction of Rock Mass Behaviour in Tunneling by Advanced Analysis of Displacement Monitoring Data. In Riedmüller, Schubert, Semprich (eds.), Gruppe Geotechnik Graz, Heft 1
- [31] Vavrovsky, G.M., (1994). Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung. In Felsbau 12 (5), 312-329
- [32] Grossauer K., Lenz G. (2007). Is it possible to automate the interpretation of Displacement Monitoring Data? In Felsbau 25 (2007), No. 5: 99-106. Essen: VGE
- [33] 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

- [34] Sellner, P. (1999) Prediction of displacements in tunnelling. In Riedmüller, Schubert, Semprich (eds) Schriftenreihe Gruppe Geotechnik Graz, Heft 9
- [35] Sellner, P. Grossauer, K. (2002). Prediction of Displacements for Tunnels. In Felsbau 20 (2002), No. 2: 24-30. Essen: VGE
- [36] Rokahr, R., Zachow, R. (1997) Ein neues Verfahren zur täglichen Kontrolle der Auslastung einer Spritzbetonschale, Felsbau 15 (6), 430-434
- [37] Lackner, R., Macht, J., Hellmich, C., Mang, H.A. (2002). Hybrid method for analysis of segmented shotcrete tunnel linings. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE), 128(4): 298 - 308

Anhang

Boden- Gesteins- und Gebirgsparameter

Inhaltsverzeichnis

1	Festgestein	A-2
1.1	Beschreibung des Gesteins	A-2
1.2	Korngefüge	A-2
1.3	Gesteins-, Gebirgszustand.....	A-2
1.4	Trennflächentypen, Makrogefüge	A-2
1.5	Trennflächeneigenschaften.....	A-3
1.6	Festigkeitskennwerte Gestein – Gebirge	A-3
2	Lockergestein.....	A-3
2.1	Bodenklassifizierung.....	A-3
2.2	Parameter des Korngemisches.....	A-3
2.3	Parameter der Komponenten.....	A-4
2.4	Parameter der Matrix	A-4
2.5	Durchlässigkeit.....	A-4
3	Literaturverzeichnis.....	A-5

Die nachfolgende Aufzählung der Parameter und der weiterführenden Literaturverweise erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Ausschließlichkeit. Tatsächlich maßgebende Parameter und Gebirgsarten sind nach projektspezifischen Gegebenheiten auszuwählen, bzw. zu ermitteln.

1 FESTGESTEIN

1.1 Beschreibung des Gesteins

- Bezeichnung
Angabe der verwendeten Nomenklatur: [1], [2], [3], [4], [5], ÖNORM B 4401/3
- Geotechnisch bedeutsame Einschaltungen
Wechselagerungen/Variationen in Volumsprozent (Vol.-%) und Frequenz
- Mineralbestand
Haupt-, Nebengemengteile (Vol.-%), Akzessorien; Zementation, Zusammensetzung von Komponenten und Matrix, Tonmineral - Zusammensetzung qualitativ/quantitativ; (EN 12407, EN 12470, EN 12440, EN ISO 14689, [1], [2], [6], [7], [8], [9])
- Quell- oder aggressives Potenzial: [9], [10], [11]

1.2 Korngefüge

- Textur/Struktur
Korngrößen, Verzahnung
- Mikrorisse [12], [13]
- Matrix-Komponentenverhältnis, Porosität, quantitative Gefügeindizes ([2], [4], [5], [14], [15], [16], [17])

1.3 Gesteins-, Gebirgszustand

- Tektonische bzw. hydrothermale Alteration/Desintegration
(Kataklase: [18], [19])
- Verwitterungstyp
(Angabe der Systematik); Verfärbung, (Penetration), Einfluss auf Materialfestigkeit/Kornbindung, Effekt auf Trennflächeneigenschaften. ([1], [2], [6], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26])
- Lösung/Umwandlung/Neubildung v. Gemengteilen, bzw. Gesteinspartien (Subrosion, Karst)

1.4 Trennflächentypen, Makrogefüge

- Makrostruktur
(Faltung, Bankung/Schichtung, Schieferung, integrale Diskontinuitäten), Altersverhältnis, Art (Genese)
- Anzahl, geometrische Beziehung dominanter Trennflächenscharen: Elementarkörperform und -größe. ([1], [2], [6], [17], [22], [26], [27])

1.5 Trennflächeneigenschaften

- Maßzahlen der Trennflächengröße (Spurlänge – Persistence, Fläche) bezogene Abstände, Öffnung, Termination; [26], [28], [29]
- Füllung/Belag/Alteration in Trennflächen [22]
- Rauigkeit/Welligkeit, Scher- und Steifigkeitsparameter der Trennflächen, Dilatationswinkel [22], [28], [30], [31], [32]
- Maßzahlen der Zerlegungsintensität und Gebirgspermeabilität ([6], [17], [29], [33], [34], [35], [36])

1.6 Festigkeitskennwerte Gestein – Gebirge

- Scher-, Druck- Zugfestigkeit (Gestein), [37], [38]
- Elastische Konstanten (z. B.: E, ν , G, V)
- Coulomb/Hoek-Brown Parameter (z. B.: c, ϕ , mi, s, GSI): [32], [35], [39], [40], [41], [42], [43], [44]
- Pointload, Brazilian-, Rückprall- Indexwerte, [26], [45], [46], [47], [48], [49], [50]
- Anisotropien der Gesteins-/Gebirgsfestigkeit und –verformbarkeit [22], [31], [51], [52], [53]
- Bohrbarkeit, Lösbarkeit, Abrasivität ([15], [26], [54], [55], [56], [57], [58], [59], [60])
- Verschleiß-, Abrasions-, Temperaturwechsel- Verwitterungs- und Immersionsbeständigkeit ([11], [61], [62], [63], EN 1367/1, ÖNORM B3126/1-2, B 3128)

2 LOCKERGESTEIN

2.1 Bodenklassifizierung

- Korngrößenbereiche
- Korngrößenverteilung
- Plastische Eigenschaften
- Organische Bestandteile
[64], [65]

2.2 Parameter des Korngemisches

- Spezifisches Gewicht/Dichte (ÖNORM B 4413, B 4414/1/2, DIN 18124, DIN 18125 T1/T2, DIN 18126, ASTM D 854)
- Kornverteilung (ÖNORM B 4412/1/2, B4401/3, B 3120, DIN 8196, DIN18123, DIN 4021 T1, ASTM D 2487, ASTM D 3282, ASTM D 422, EN 932/3/4, EN 933/1-6, [2], [5], EN ISO 14688)
- Porenanteil, Struktur/Textur (Komp.- Matrixverhältnis, Art und Regelung des Komponentengerüsts, EN 1097/3-4, [5])
- Festigkeits- und Verformungseigenschaften und deren Richtungsabhängigkeit (ÖNORM B 4420, B 4416, B 4415, B 4411, DIN 18122 T1/T2, DIN 18127, ASTM 4318, ASTM 2435, ASTM D 2166, ASTM D 2850, ASTM D 3080)

2.3 Parameter der Komponenten

- Mineralogische Zusammensetzung der Hauptgemengteile, Kornform siehe 1.1, 1.2, ÖNORM B4401/3, ASTM 2488, [5], [66]
- Zustand der Komponenten (z. B. Mürbkornanteil, Verwitterung, Alteration): siehe 1.3, EN 1097/1-2, [6], ÖNORM B 3128

2.4 Parameter der Matrix

- Mineralogische Zusammensetzung, Tonmineralgehalt, organischer Gehalt, Verkitung [5], [9], EN 933/8-10

2.5 Durchlässigkeit

ÖNORM B 4410, B4422/1/2, DIN18130 T1, ASTM: D 4643, D 4944, D 2434

3 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Geol. Society Engin. Group Working Party: The description of rock masses for engineering purposes.- Q. J. Engng. Geol. 10: 355 – 388; 1977
- [2] IAEG Commission on Engin. Geol. Mapping (Matula, M. Chairman): Rock and soil description and classification for engineering geological mapping.- Bull. IAEG 24: 235 – 274; Aachen/Essen 1981
- [3] Buchner, K., Frey, M.: Petrogenesis of metamorphic rocks.- Springer 1994
- [4] Wimmenauer, W., Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine.- Enke 1985
- [5] Müller, G.; Füchtbauer, H., & Müller, G: Sedimentpetrologie I (1964), II(1970).- Stuttgart (E. Schweizerbart)
- [6] British Standards Institution: BS 5930 Code of practice for site investigations.- BSI 1999
- [7] DIN 4022, T1/T2: Benennen und Beschreiben von Boden und Fels (1981)
- [8] ISRM Commission of Standardisation: Suggested methods of petrographic description of rocks.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 15/2: 41 – 45; 1978
- [9] Jasmund, K., Lagaly G. (Hg.):Tonminerale und Tone. Struktur, Eigenschaften, Anwendungen und Einsatz in Industrie und Umwelt.- Steinkopff (Darmstadt) 1993
- [10] ISRM Commission on testing methods: Suggested methods for laboratory testing of argillaceous swelling rocks.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 26/5: 415 – 426; 1989
- [11] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties.-Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 16/2: 141 – 156; 1997
- [12] Kranz, R. L., Microcracks in rock – a review.- Tectonophysics 100: 449 – 480; 1983
- [13] Simmons, G, Richter, D.: Microcracks in rocks.- In: Strens, R. G. J. (ed.): The physics and chemistry of minerals and rocks.- London (Wiley & Sons); 1976
- [14] Tsidsi, K. E. N.: A quantitative petrofabric characterisation of metamorphic rocks.- Bull. IAEG 33: 2 – 12; 1986
- [15] Howarth, D. F., Rowlands, J.C.: Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties.- Rock Mech. Rock Engin. 20: 57 – 85; 1987
- [16] Montoto, M.: Petrophysics – the petrographic interpretation of the physical properties of rocks.- Proc. 5th Int. Cong. ISRM Melbourne B93 – B98; 1983
- [17] Fecker, E, Reik, G.: Baugeologie.- Stuttgart (Enke), 2. Auflage 1996
- [18] Heitzmann, P.: Kakirite, Kataklasite, Mylonite – Zur Nomenklatur der Metamorphite mit Verformungsgefügen.- Ecl. Helv. 78: 273 – 286; 1985
- [19] Wise, D. U., Dunn, D. E., Engelder, J. T., Geiser, P. A., Hatcher, R. D. Kish, S. A. , Odom, A. L., Schamel, S.: Fault-related rocks: Suggestions for terminology.- Geology 12: 391 –394; 1984

- [20] Geol. Soc. Engin. Group Working Party: The description and classification of weathered rocks for engineering purposes.- Q. J. Engng. Geol. 28: 207 – 242; 1995
- [21] Forschungsgesellschaft f. d. Straßenwesen: Merkblatt über Felsgruppenbeschreibung für bautechnische Zwecke im Straßenbau.- In: DGEG (Hg.) Taschenbuch für den Tunnelbau.- Essen (Glück Auf Verlag) 1981
- [22] ISRM Commission on standardisation: Suggested methods for quantitative description of discontinuities in rock masses.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 15/6: 319 – 368.
- [23] Cragg, D. J., Ingman, J.: Rock weathering descriptions – current difficulties.- Q. J. Engng. Geol. 28: 277 – 286; 1995
- [24] Price, D.G.: A suggested method for the description of rock mass weathering by a rating system.- Q. J. Engng. Geol. 26: 68 – 76; 1993
- [25] Dearman, W. R.: State of weathering: the search for a rational approach.- Geol Soc. Engin. Geol. Spec. Publ. 2: 193 – 198; 1986
- [26] Schwingenschlögl, R., Rockenschaub, M.: Ingenieurgeologische Charakterisierung zur Felsklassifizierung, Straßenforschung, Heft 380; (Hg.: BM f. Wirtschaftliche Angelegenheiten), Wien 1990
- [27] Bridges, M. C.: Identification and characterisation of sets of fractures and faults in rock.- Proc. Int. Symp Rock Joints, Loen, Norway Rotterdam, (Balkema): 19 – 26; 1990
- [28] Priest, S. D. Discontinuity analysis for rock engineering.- London (Chapman & Hall) 1993
- [29] Dershowitz, W.S., Herda, H.H.: Interpretation of fracture spacing and intensity.- Rock Mechanics (Tillerson & Waversik, eds.): 757 – 766; Rotterdam (Balkema) 1992
- [30] Aydan, Ö., Shimizu, Y., Kawamoto, T.: The anisotropy of surface morphology characteristics of rock discontinuities.- Rock Mech. Rock Engin 29/1: 47 – 59; 1996
- [31] Barton, N.: Deformation phenomena in jointed rock.- Geotechnique 36/2: 147 – 167; 1986
- [32] Barton, N., Choubey, V.: The shear strength of rock joints in theory and practice.- Rock Mech (Felsmech. u. Ingenieurgeologie) 10: 1- 54; 1977
- [33] Barton, N., Bandis, S. C., Bakhtar, K.: Strength, deformation and conductivity of rock joints.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 22/3: 121 – 140; 1985
- [34] Bandis, S. C.: Engineering properties and characterisation of rock discontinuities.- In Hudson, J. A. (ed.): Comprehensive rock engineering.- Vol. 1: 155 – 183; Pergamon Press 1993
- [35] Hudson, J. A. (ed): Comprehensive rock engineering, Vol. 3: Rock testing and site characterisation, Oxford (Pergamon Press); 1993
- [36] Anon.: Rock fractures and fluid flow – National Academy Press Washington 1996
- [37] Blümel, M.: Improved procedures for laboratory rock testing.- Proc. ISRM Symp. EUROCK 2000 (Aachen), 573 – 578
- [38] Blümel, M., Bezar, F. A.: Advanced control techniques for direct shear testing of jointed rock specimens.- In: Marr, W. A., Fairhurst, C. E. (eds.): Nondestructive and automated testing for soil and rock properties, ASTM STP 1350; 1998

- [39] Hawkins, A B.: Aspects of rock strength.- Bull. IAEG 57/1: 17 – 30; 1998
- [40] Hoek, E., Brown, E. T.: Practical estimates of rock mass.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 34/8: 1165 – 1186; 1997
- [41] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods of determining the Uniaxial Compressive Strength and deformability of rock materials.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 16/2: 135 – 140; 1979
- [42] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for determining the strength of rock masses in triaxial compression.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 26/6: 283 – 290; 1983
- [43] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for determining shear strength.- In Brown, E. T. (ed.): Rock characterisation Testing and monitoring: 129 – 140; Pergamon Press 1981
- [44] ÖNORM B 3124/9: Prüfung von Naturstein, mechanische Gesteinseigenschaften.
- [45] ISRM Commission on Testing Methods: Suggested methods for determining point load strength.-Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 22/2: 51 – 60, 1985
- [46] Turk, N., Dearman, W.R.: A new procedure for determination of point load strength in site investigation.- Geol. Soc. Engin. Geol. Spec. Publ. 2: 405 – 411; 1986
- [47] Panek, L. A., Fannon, T. A.: Size and shape effects in point load tests of irregular rock fragments. – Rock Mech. Rock Engin. 25: 109 – 140; 1992
- [48] Chau, K.T., Wong, R.H. C.: Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.33/2, 183 – 188; 1996
- [49] Göktan, R.M., Ayday, C.: A suggested improvement of the Schmidt rebound hardness.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 30/3, 321 – 322; 1993
- [50] Reddish, D. J., Yasar, E.: A new portable rock strength index test based on specific energy of drilling.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 33/5, 543 – 548; 1996
- [51] Shea, W. T., Kronenberg, A. K.: Strength and anisotropy of foliated rocks with varied mica contents.- J. Struct. Geol 15/9-19: 1096 – 1121; 1993
- [52] Gottschalk, R., Kronenberg, A.K., Russel, J. E., Handin, J.: Mechanical anisotropy of gneiss: Failure criterion and textural sources of directional behaviour.- J. Geophys. Res. 95/B13: 613 – 634
- [53] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for large-scale sampling and triaxial testing on jointed rock.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 26/5: 427 – 434; 1989
- [54] Thuro, K., Spaun, G.: Introducing the “destruction work” as a new rock property of toughness referring to drillability in conventional drill-and-blast tunnelling.- EUROCK’96 (Barla, ed.): 707 – 713; Rotterdam (Balkema); 1996
- [55] Univ. of Trondheim, Norwegian Institute of Technology, Division of Construction Engineering (ed.): Drillability, drilling rate index catalogue.- Report 13/88; 1988
- [56] Schimazek, J., Knatz, H.: Die Beurteilung der Bearbeitbarkeit von Gesteinen durch Schneid- und Rollenwerkzeuge.- Erzmetall 29: 113 – 119; 1976
- [57] Lens, W., Thum, W.: Ermittlung und Beurteilung der Sprengbarkeit von Gestein auf der Grundlage des spezifischen Sprengenergieaufwandes.- Forsch.-Ber. d. Landes Nordrhein-Westfalen, 2118; 1970

- [58] Caterpillar Tractor. Co.: Handbook of ripping.- Peoria, Ill.; 1983
- [59] Association Française de Normalisation: Normalisation française P 18 – 579, Essai d'abrasivité et de broyabilité.- Afnor 1990
- [60] West, G.: Rock abrasiveness testing for tunneling.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 36/2: 151 – 160; 1989
- [61] DIN 52 106: Prüfung von Naturstein, Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit (1972)
- [62] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 15/3: 89 – 97; 1978
- [63] ÖNORM B 3120/1/2: Natürliche Gesteine, Probennahme: Grundlagen/Festgesteine
- [64] ÖNORM B 4400: Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke und Methoden zur Erkennung von Bodengruppen.
- [65] DIN 18 196: Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
- [66] American Geological Institute: AGI Data sheets (J. T. Dutro, R.V. Dietrich, R. M. Foose, compilers); 1989

