

Inhalt

1.0	Anlass	4
2.0	Aufgabenstellung	4
3.0	Unterlagen	5
3.1	Gesetzliche Vorgaben	5
3.2	Normative Hinweise	5
3.3	Unterlagen	6
3.4	Literatur	6
4.0	Methodik	8
4.1	Gesetzliche Anforderungen	8
4.2	Normative Anforderungen	8
4.3	DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“	9
4.3 .1	Teil 1 "Vorermittlung von Schwingungsgrößen", Juni 2001	9
4.3.2	Teil 2 "Einwirkung auf Menschen in Gebäuden", Juni 1999	9
4.3 .3	Teil 3 "Einwirkung auf bauliche Anlagen", Dezember 2016	9
4.3.4	DIN 4150 „Begriffe“ 12/2016	9
4.4	Bester Stand der Technik	10
5.0	Umgebungsverhältnisse	11
6.0	Schutzobjekte im Untersuchungsgebiet	12
6.1	Bauwerke/Anrainer	12
6.2	Industriebauten	12
6.3	Kulturgüter	12
6.4	Naturschutz	13
6.5	Sprengrückstände	13
7.0	Geotechnische Verhältnisse	15
8.0	Tunnelbautechnische Bedingungen	16
8.1	Tunnelparameter	16
9.0	Sprengvortrieb	18
9.1	Sprengbarkeit des Gesteins im Tunnelvortrieb	18
9.2	Gebirgsschonendes Sprengen	18
9.3	Bohren und Besetzen	20
9.4	Vorgabe	20
9.5	Verspannung	20
9.6	Einbruch	21
9.7	Sprengtechnische Parameter	21
9.8	Abschlagtiefe	22
9.8	Sprengstoff	22
9.9	Zündmittel	23

9.10	Abstimmung der Lademengen auf das Gestein	24
9.11	Vorabschätzung der Bohrlochanzahl	25
9.12	Sprengergebnis	26
9.13	Sicherheitstechnische Überlegungen	26
9.14	Besatz	26
9.15	Leitsprengbilder	26
9.16	Sicherungsmaßnahmen zum Schutz der Beschäftigten	28
9.17	Sicherungsmaßnahmen zum Schutz der Umgebung	28
9.18	Sprengschwaden an der Sprengstelle	29
10.0	Sprengerschütterungen	30
10.1	Prognose von Sprengerschütterungen	31
10.2	Prognose für den Fahrradtunnel Georgsberg	32
10.3	Beurteilung von Sprengerschütterungen auf die Umgebung	37
10.4	<i>KB</i> Wert DIN 4150, Teil 2	38
10.5	Ermittlung des <i>KB</i> Wertes	39
10.5	Subjektive Einschätzung von Anrainern	40
10.6	Beurteilung von Sprengerschütterungen auf das Tunnelbauwerk	41
11.0	Beurteilung der Schallimmission	43
12.0	Empfehlungen und Schlussfolgerungen	45
13.0	Anlagen	48
	Tunnel Querschnitt	49
	Tunnel Längsschnitt	50

1.0 Anlass

Die Rad- und Fußwegverbindung zwischen der Altstadt von Passau und der nordöstlich liegenden Ilzstadt führt derzeit über die Prinzregent - Luitpold - Brücke, die Angerstraße sowie dem östlich liegende Ferdinand-Wagner-Straßentunnel. In beiden Fahrtrichtungen ist für den Radverkehr in diesem Teilabschnitt kein separater Radweg vorhanden, sodass eine Mitbenutzung des bestehenden Gehweges oder der Fahrspur erforderlich ist. Durch diese bauliche Vorgabe besteht sowohl für Radfahrer als auch für Fußgänger auf dem Fußweg ein erhöhtes Unfall- und Konfliktpotential. Ziel ist es durch bauliche Maßnahmen diese Konflikte zu lösen und gleichzeitig eine optimierte und attraktive Verbindung zwischen den Stadtteilen zu schaffen.

2.0 Aufgabenstellung

Im Verlauf der gegenständlichen Ausführungen wird die Sprengtechnik für den Fahrradtunnel Georgsberg unter dem Gesichtspunkt sicherheits- und umweltrelevanter Grundlagen analysiert und beurteilt. Ergänzt werden die Ausführungen mit der theoretischen Ermittlung der Größenordnung von Erschütterungen und deren Auswirkungen auf Menschen und Bauwerke sowie der Bewertung von einwirkendem Schalldruck.

Fachbearbeiter: Rolf R. Schillinger, CTO
Burgfriedenstraße 19
86159 Augsburg
rolf.schillinger@icem-consulting.de

Sachverständiger für das Sprengwesen und Sprengerschütterungen über und unter Tage. Anerkannter Sachverständiger des BMLRT, Abt. Energie und Bergbau, Wien.

Der Vortrieb wird auf Grund der hohen Gesteinsfestigkeit des Felsen, im gegenständlichen Falle Gneis, im Sprengvortrieb aufgeföhren. Dabei soll ein möglichst gebirgsschonendes Sprengen durchgeführt werden. Der Ausbruch der Voreinschnitte und des Tunnels werden ebenfalls im Bohr- und Sprengverfahren ausgeführt. Die möglichen Abschlagslängen, Sprengstofflademengen und zulässigen Erschütterungswerte werden in diesem Gutachten dargelegt. Ziel des gegenständlichen Gutachtens ist es die Auswirkungen des Bauvorhabens und die damit verbundene, von den Sprengungen ggf. ausgehende Erschütterungsimmission zu untersuchen, und durch geeignete Maßnahmen auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren. Die Aufgabenstellung erfordert weitergehend eine Beurteilung der Sprengtechnik nach der Regel der Technik, inklusive der sicherheitlichen Grundlagen. Ergänzend erfolgt eine Abschätzung der Sprengstofflademengen pro Zündzeitstufe für den geforderten gebirgsschonenden Tunnelvortrieb im anliegenden Gneis.

3.0 Unterlagen

3.1 Gesetzliche Vorgaben

- [I] Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (SprengG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. SEP 2002 (BGBl. I S. 3518), das zuletzt durch das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. Juni 2017 (BGBl. I S. 1586) geändert worden ist.
- [II] Erste Verordnung zum Sprengstoffgesetz (1. SprengV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. JAN 1991 (BGBl. I S. 169), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 11. Juni 2017 (BGBl. I S. 1617) geändert worden ist.
- [III] Zweite Verordnung zum Sprengstoffgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. SEP 2002 (BGBl. I S. 3543), die zuletzt geändert durch Artikel 111 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I Nr. 16, S. 626) geändert worden ist.
- [IV] Dritte Verordnung zum Sprengstoffgesetz vom 23. JUN 1978 (BGBl. I S. 783), die durch Artikel 21 des Gesetzes vom 25. JUL 2013 (BGBl. I S. 2749) geändert worden ist
- [V] Arbeitsschutzgesetz-ArbSchG vom 7. AUG 1996 (BGBl. I S. 1246) zuletzt geändert durch Artikel 8 Nr. 4 Buchstabe c des Gesetzes vom 19. Oktober 2013 (BGBl. I Nr. 63, S. 3836) in Kraft getreten am 1. Januar 2016
- [VI] Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV vom 12. AUG 2004 (BGBl. I S. 2179) zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 1 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I Nr. 69, S. 3584) in Kraft getreten am 24. Oktober 2017
- [VII] Technische Regel TR 310 Sprengarbeiten vom 05. OKT 2016;
- [VIII] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Lärm), Ausgabe: August 2017
- [IX] Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), LASI Veröffentlichung, Stand 06.03.2018;
- [X] Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen (Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 10. MAI 2000), Vers.2003;
- [XI] Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), MAR 1999
- [XII] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), AUG 2015
- [XIII] Chemikaliengesetz (ChemG), JUL 2016
- [XIV] Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm, vom 28. August 1998 (GMBl Nr. 26/1998 S. 503) zuletzt geändert durch Bekanntmachung des BMUB vom 1. Juni 2017 (BANz AT 08.06.2017 B5) in Kraft getreten am 9. Juni 2017

3.2 Normative Hinweise

- [1] DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“
- [2] DIN 4150-Teil 1 "Vorermittlung von Schwingungsgrößen", JUN 2001
- [3] DIN 4150- Teil 2 "Einwirkung auf Menschen in Gebäuden", JUN 1999

- [4] DIN 4150- Teil 3 "Einwirkung auf bauliche Anlagen", DEZ 2016
- [5] Prognoseermittlungen, BA für Geowissenschaften u. Rohstoffe, Hannover, 1994
- [6] Richtlinie 2014/28/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung auf dem Markt und die Kontrolle von Explosivstoffen für zivile Zwecke (Neufassung) vom 26.02.2014
- [7] Normenserie EN-13631, Liste der europäischen harmonisierten Normen für die Prüfung von Explosivstoffen, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Spreng- und Treibmittel, Fachbereich 2.3 Explosivstoffe, D -12200 Berlin, JUL 2016
- [8] DIN 20163 Sprengtechnik, Begriffe, Einheiten, Formelzeichen, NOV 1994
- [9] Der anerkannten Regel der Technik

3.3 Unterlagen

- [10] Fuß- und Radwegstollen Georgsberg, Erläuterungsbericht zum Bauwerksentwurf, EDR GmbH, Dillwächterstr.5, 80686 München vom 07.12.2012 und EDR GmbH, Stand der Planung, 01.10.2020 und 05.08.2021;
- [11] Bericht Nr. 10.06.1493, IFB Eigenschenk GmbH, Dipl.-Geol. Eduard Eigenschenk vom 06.03.2007; Homogenbereiche vom 03.09.2021;
- [12] ifb, Auftrag Nr. 3210138 Projekt Nr. 2021-0319 Fahrradunnel durch den Oberhausberg Passau Untersuchung Felsausbruch, vom 09.02.2021;

3.4 Literatur

- (A) Dowding, Ch.: Blast Vibration, Monitoring and Control, Prentice-Hall, 1985
- (B) Lüdelig R.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover in: Erschütterungsprognose und Erschütterungskataster - Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Sprengerschütterung Nobel-Heft 52, 1986
- (C) Schillinger, R und Veress, Ch: Der Beste Stand der Technik und seine Bedeutung für die Gewinnung von Mineralischen Rohstoffen, Verlag Springer Wien: BHM, 159. Jg. (2014), Heft 10
- (D) Schillinger, R.: Sicherheit bei Sprengarbeiten, Sprengtechnik 1999, Heft 2
- (E) Schillinger, R.: Sprengtechnik und Umwelt in der Praxis, Hanser Verlag, 2009
- (F) Schillinger, R.: Der Einfluss von Schalldruck und Schallintensität bei Sprengarbeiten, Spreng Info, DSV, Heft 1, S. 40-48, 2005
- (G) Schillinger, R: Die Evaluierung als hohes Sicherheitskriterium beim Sprengen im Bergbau, Jahrestagung für Sicherheit im Bergbau, Mittersill, JUN 2009
- (H) Schillinger, R.: Die bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke von Erschütterungen und ihre Bedeutung für die Sprengarbeit, Sprenginfo 36, Heft 3, 2014
- (I) Schillinger, R., Stadlober, K.: Prognose von Sprengerschütterungen, BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Volume 159, OKT 2014

- (J) Steinhauser, P.: Zur Bedeutung der Sprengerschütterungen für die Rissbildung an Gebäuden, BHM, 142. Jg. (1997) Heft 2
- (K) Steinhauser, P.: (Spreng-)Erschütterungen - Wirkung auf Menschen und Bauwerke
ÖIAZ, 150 Jg., Heft 1/2005
- (L) H. Wagner, R. Schillinger, P. Moser: Skriptum Sprengingenieurwesen, Sprengerschütterungen, Sprengimmissionen, Sprengvortrieb, Montanuniversität Leoben, FEB 2010
- (M) Langefors U and Kihlström B, The modern technique of rock blasting, 3rd Ed., John Wiley & Sons, ISBN 0-470-99282-4, 438 pp, 1978
- (N) Müller. B: Empfehlungen von geotechnisch-felsmechanischen Klassifikationen des Festgesteines und Festgebirges für den Felsbau, TU Bergakademie Freiberg, 17.11.2006
- (O) Tunnelbau Sprengvortrieb, Skriptum: TMU, Zentrum für Geotechnik, Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau, S5.1-5.18, 2012

4.0 Methodik

4.1 Gesetzliche Anforderungen

Der nicht mechanische Vortrieb im Berg- bzw. Tunnelbau, mit einhergehend verbundenen Abbauhindernissen beim Lösen von festem Gestein aus dem Gebirgsverband, im gegebenen Fall von sedimentärem Gestein, erfolgt vielfach durch Sprengarbeit. Diese wiederum ist mit unvermeidbaren Emissionen verbunden. Neben Lärm, Staub und Schwaden zählen die durch Sprengen hervorgerufenen Erschütterungen und Schallereignisse zu jenen Begleiterscheinungen, die u.U. zu Beeinträchtigungen von Nachbarn (Anrainern) sowie an Bauwerken und fremden Sachen führen können. Die maßgeblichen Vorgaben und Hinweise sind unter Pkt. 3.0 dargestellt.

Um solche Beeinträchtigungen möglichst gering zu halten ist bei Sprengarbeiten darauf zu achten, dass die durch Sprengungen hervorgerufenen Emissionen ein bestimmtes Ausmaß nicht überschreiten. Im Bergrecht wie auch im Gewerberecht - beide enthalten keine absoluten Grenzwerte für Sprengemissionen – ist der Umweltschutz für Sprengarbeiten nicht gänzlich erfasst. Die einschlägigen Verordnungen enthalten ebenfalls keine absoluten Grenzwerte für solche Emissionen.

Allerdings ist in allen Verordnungen auf Seite 4 festgelegt, dass die Tätigkeiten grundsätzlich so auszuüben sind, dass nach dem Stand der Technik vermeidbare Emissionen unterbleiben. Hierbei ist auf den „besten Stand der Technik“ zu verweisen, der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhenden Entwicklungsstand fortschrittlicher technologischer Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen besteht, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist. Bei der Bestimmung des besten Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen. Die Zielsetzungen aller Verordnungen sind auf Inhalte fokussiert, wie

- den Schutz von Personen vor einer Gefährdung des Lebens und der Gesundheit sowie vor einer unzumutbaren Belästigung,
- den Schutz von fremden nicht zur Benützung überlassenen Sachen (Sachgüter Dritter) vor einer Gefährdung,
- den Schutz der Umwelt und von Gewässern vor einer über das zumutbare Maß hinausgehenden Beeinträchtigung, [IX]

4.2 Normative Anforderungen

Die für eine Beurteilung nach der Regel der Technik notwendigen technischen Grundlagen und normativen Anforderungen, die für eine Ausführung von Sprengarbeiten und deren Auswirkungen auf die Umwelt maßgeblich sind, werden im Nachfolgenden ausführlich dargestellt. Für die Vorausermittlung der Einwirkungen von Sprengerschütterungen werden die Prognoseermittlungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover in: „Erschütterungsprognose und Erschütterungskataster - Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Sprengerschütterung“, herangezogen [5].

4.3 DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“

In der DIN 4150 vom Februar 1999, die als Ersatz für die Ausgabe 1986-05 gilt, wurden letzte Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Praxis berücksichtigt, zumal sich diese als grundlegend und genügend abgesichert erwiesen haben. Die DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ besteht aus:

4.3.1 Teil 1 "Vorermittlung von Schwingungsgrößen", Juni 2001

Die Norm enthält Angaben für die Vorermittlung von Erschütterungen, beschreibt Verfahren und gibt Hinweise, auf deren Grundlage die Werte von Erschütterungsgrößen vorermittelt werden können. Mit diesen Werten kann eine Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen nach DIN 4150 Teil 2 und DIN 4150 Teil 3 erfolgen.

4.3.2 Teil 2 "Einwirkung auf Menschen in Gebäuden", Juni 1999

Zweck der Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz. Es werden Anforderungen und Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen durch Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden.

4.3.3 Teil 3 "Einwirkung auf bauliche Anlagen", Dezember 2016

Die Norm legt ein Ermittlungs- und Beurteilungsverfahren für Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen fest. Bei Einhaltung der Anhaltswerte treten Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Bauwerken nicht ein. Für einige Erschütterungseinwirkungen werden Anhaltswerte für eine vereinfachte, annäherungsweise Beurteilung angegeben.

4.3.4 DIN 4150 „Begriffe“ 12/2016

1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 1311 (alle Teile) und die folgenden Begriffe.

2 Erschütterungen

mechanische Schwingungen fester Körper mit potentiell belästigender Wirkung für den Menschen oder schädigender Wirkung für bauliche Anlagen

3 Schaden

bleibende Folge einer Einwirkung, die eine Verminderung des Gebrauchswertes des betroffenen Bauwerks oder Bauteils im Hinblick auf seine Nutzung bedeutet

4 Anhaltswert

ein aus Erfahrung festgelegter Wert, bei dessen Einhaltung ein Schaden nicht eintritt

5 Betragsmaximalwert

V_i , max, betragsmäßig größter Wert des Signals $v(t)$ in der Messrichtung i ($i = x, y, z$)

6 kurzzeitige Erschütterungen

Erschütterungen, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge und Dauer nicht geeignet sind, um in

der betroffenen Struktur eine wesentliche Vergrößerung der Schwingungen durch Resonanzerscheinungen zu erzeugen

7 Dauererschütterungen

alle Erschütterungen, auf die die Definition der kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft

8 oberste Deckenebene

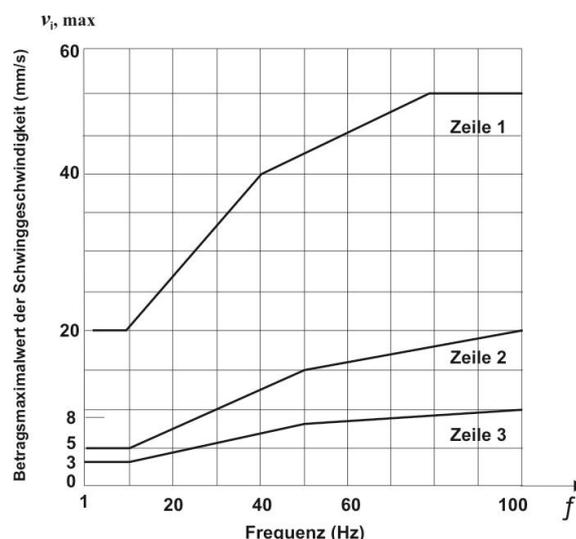
oberste Geschossdecke, die auf tragenden Wänden aufliegt und die in der Regel eine aussteifende Wirkung in den beiden horizontalen Richtungen übernimmt

4.4 Bester Stand der Technik

Der Begriff „bester Stand der Technik“ spielt eine erhebliche Rolle in der Nachhaltigkeit der Rohstoffgewinnung. Die daraus entstandene Formulierung „beste verfügbare Techniken“ (BVT) bezeichnet eine europäische Technik Klausel die auch international, zum Beispiel vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen als Best Available Technology (BAT), verwendet wird. Die Begriffsklärung von „bester Stand der Technik“ kann als Stufenbau dargestellt werden:

- Stand der Wissenschaft
- Stand der Technik
- Anerkannte Regeln der Technik

(Siehe auch in: Schillinger, R., Veress, Ch.: „Der beste Stand der Technik und seine Bedeutung für die Gewinnung von mineralischen Rohstoffen“, BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. Volume 159, Oktober 2014 (C). Die DIN 4150 ist eine an die Immissionen gebundene Normen-Typ der auf Schwingungen im Boden und deren frequenzbezogenen Geschwindigkeitsmessungen an Objekten ausgerichtet ist (d.h. je höher die begleitende Frequenz desto höher darf die Einwirkung am Objekt sein). Dabei wird der größte Schwinggeschwindigkeitswert v_i (Betragsmaximalwert $v_{i, \max}$) aus einer der drei Einzelkomponenten in der Messrichtung x, y, z am Fundament beurteilt. Einhergehend sind die begleitenden Frequenzen [Hz] zu den Schwinggeschwindigkeiten [mm/s] zu beachten.



Grafik 1: Grafische Darstellung der frequenzbezogenen Anhaltswerte

5.0 Umgebungsverhältnisse

Im Zuge einer weiträumigen Radwegnetzoptimierung wird die Stadt Passau, insbesondere den gegenständlichen Teilbereich baulich neugestalten, so dass eine sicherere und nutzerfreundliche Verbindung zwischen der Altstadt und der Ilzstadt geschaffen werden kann. Als wesentliches bauliches Element soll hierfür zwischen der Ferdinand-Wagner-Straße und der Angerstraße ein selbstständig geführter Fuß- und Radwegtunnel errichtet werden. Ergänzend findet eine Anpassung der bestehenden Vorplätze vor dem Tunnel statt, um eine verkehrssichere und verkehrsoptimierte Führung von Fußgängern und Radfahrern zu ermöglichen.



Abb. 1: Fahrradunnel Georgsberg, Projektbereich (Google earth, 2021)

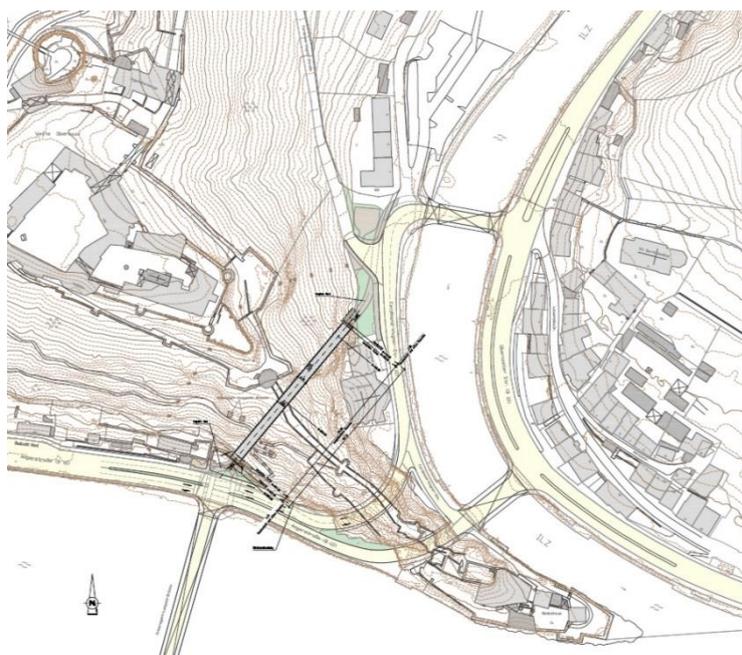


Abb. 2: Fahrradunnel Georgsberg, Lageplan (Entwurf EDR, NOV 2012)

6.0 Schutzobjekte im Untersuchungsgebiet

6.1 Bauwerke/Anrainer

Für die Umgebung des geplanten Tunnelvortriebs sind besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen und Bauwerke mit vergleichbar genutzten Räumen zu erfassen und zu unterteilen. Im Nahbereich des Tunnelbauwerks sind einige der genannten schutzwürdigen Objekte vorhanden. Diese sind als Schutzobjekte in Einwirkungsorten, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete §4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete §2 BauNVO), zu erfassen:

An den, im Einwirkungsbereich der Vortriebsarbeiten im Tunnel liegenden Gebäuden, ist eine Beweissicherung durchzuführen. Die Gebäude westlich des Südportals, auf den Anwesen Flurstück 282/3 und 283/3 sind in der Annäherung sowie während des gesamten Vortriebs und dessen Einwirkungen, messtechnisch überwachen.

6.2 Industriebauten

In der Umgebung des geplanten Tunnelvortriebs befindet sich der Ferdinand-Wagner Straßentunnel, der derzeit die Verbindungsmöglichkeit zwischen der Altstadt und der Ilzstadt darstellt. Das Tunnelportal befindet sich ca. 75m östlich des Südportals. Der Straßentunnel ist in zwei Rohren unterteilt, hat je Richtung zwei Fahrspuren. Die lichte Breite des Tunnels beträgt ca. 12m. Auf Grund der Baumaßnahme werden keine Einflüsse auf das Tunnelbauwerk erwartet. Zusätzlich befindet sich das Brückenbauwerk der Prinzregent-Luitpold-Brücke in einem Abstand von ca. 25 m zum Südportal. Während der Ausführung wird empfohlen, dass die Seilkammern der Brücke, welche sich am Georgsberg in der Achse des Tunnels, ca. 30 m über der Tunnelfirste befinden, messtechnisch zu überwacht werden. Da der Vortrieb von Nord nach Süd erfolgt, sind Erschütterungen durch den Sprengvortrieb frühzeitig erkennbar sodass einhergehend das Sprengschema entsprechend angepasst werden kann. Daneben befinden sich nachfolgende erdverlegte Leitungen in der Umgebung des Tunnelvortriebs:

- Deutsche Telekom AG, Telekommunikation
- Kabel Deutschland AG, Telekommunikation
- Stadtwerke Passau, Strom
- Stadtwerke Passau, Gas
- Stadtwerke Passau, Wasser
- Straßenbauamt, Strom (Lichtsignalsteuerung)

Vor dem Südportal befinden sich derzeit fünf Sicherungs- bzw. Schaltkasten, zwei kreisförmige Schachtabdeckungen für Abwasser sowie zwei rechteckige Kabelschachtabdeckungen.

6.3 Kulturgüter

In der näheren Umgebung des geplanten Tunnelvortriebs sind Kulturgüter wie die St. Salvator Kirche mit Propstei vorhanden. Die St. Salvator Kirche befindet sich im Bereich des Nordportals in unmittelbarer Nähe zum Tunnelbauwerk. Dabei besteht der Kirchenbau aus einem

Kirchenteil und einer nördlich angebauten Propstei. Es wird eine Beweissicherung am Bauwerk durchgeführt, um eventuelle Vorschäden und kritische Bereiche feststellen zu können.

6.4 Naturschutz

Der Georgsberg befindet sich in einem Naturschutzgebiet, wobei der nördliche Bereich die Gebietsgrenze des Landschaftsschutzgebietes „Ilztal“ darstellt. Der südliche Bereich unterliegt der Verordnung der Stadt Passau über das Naturdenkmal „Oberhaus Leite“.

6.5 Sprengrückstände

Gelatinöse oder Emulsions- Sprengstoffe die nach der Regel der Technik in Bohrlöcher eingebracht werden, können nach Ihrer Umsetzung das Grundwasser nicht beeinträchtigen. Gleiches gilt für die bei der Umsetzung entstandenen Sprengschwaden (CO, NO_x und NO₂).

Werden trotz ordnungsgemäßer Vorbereitung und Durchführung der Sprengungen, Sprengstoffrückstände aufgefunden, so werden diese nach der Technische Regel TR 310 Sprengarbeiten (VII) bestimmungsgerecht entsorgt.

a) Anmerkung zu Sprengrückständen

Bei der Wirkung ziviler Sprengstoffe und ihrer Zusammensetzung ist grundsätzlich zu unterscheiden hinsichtlich der

- Wirkung auf die Umwelt aus chemischer Sicht der Sprengschwaden mit toxischen Gasen und Feinstaub und
- Sprengstoffreste wie Explosionsrückstände und nicht umgesetzter Sprengstoff.

Die genannten Sprengstoffe sind wasserresistent, besitzen aber trotzdem eine gewisse Wasserlöslichkeit (Zeitfaktor und Geometrie). Durch Randeffekte wird sich ein sehr geringer Teil nicht immer umsetzen. Die Umweltbeeinflussung ist bei ordnungsgemäßer Sprengarbeit jedoch vernachlässigbar.

b) Erkenntnisse und gesetzliche Regelungen

Nach den Erkenntnissen aus Messungen in den letzten Jahren, sind die Feststoffrückstände einer vollständigen Sprengstoffumsetzung, aus Sicht der Umweltverträglichkeit vernachlässigbar gering. Aufgrund dieser Erkenntnisse ist für zivile Sprengstoffe die Gefährdungsanalyse des Schadstoffeintrags in den Boden nicht gefordert. Im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) bzw. in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), AUG 2015 ist kein dementsprechender Hinweis vorhanden. Auch im Chemikaliengesetz (ChemG), JUL 2016, sind explosionsgefährliche Stoffe von bestimmten Forderungen/Bewertungen explizit ausgenommen, wobei die Normenserie EN-13631 dazu ebenfalls keine Informationspflicht vorschreibt. (XI, XII, XIII)

Die Vernichtung bei Auffinden von Sprengstoffresten ist in der „Technische Regel zum Sprengstoffrecht, Sprengarbeiten (SprengTR 310 - Sprengarbeiten)“ vom 5. Oktober 2016 im Anhang A-1, „Verfahren zum sachgemäßen Vernichten“, dargelegt. Dort ist die Entsorgung nur durch Rückgabe oder Sprengen (Mitsprengen oder Wegsprengen) zulässig. (VII) Der offene Abbrand oder das Auflösen in Wasser sind demnach nicht mehr zulässig. Diese beiden Vernichtungsmethoden

waren stark umweltbelastend. Die SprengTR 310 stellt damit die Entsorgung von Sprengstoffen auf eine neue Basis maximal möglicher Umweltverträglichkeit.

c) Umweltrelevanz

Da Arbeitnehmerschutz und Nachbarschaftsschutz (Anrainerschutz) primärer Fokus sind, folgt daraus, dass die Interessen des Umweltschutzes in der Regel automatisch gewahrt werden. Es gilt die Grundregel, dass ein Sprengstoff dann die geringste Schadstoffmenge freisetzt, wenn er mit bestmöglicher Wirkung zur Umsetzung gebracht wird. Auch wirtschaftliche Optimierung des Sprengerfolgs trägt zum Umweltschutz bei.

Dabei war die Entwicklung von sog. „grünen“, von Nitroaromaten (Sammelbezeichnung für eine oder mehrere Nitrogruppen tragende aromatische Kohlenwasserstoffe, wie z. B. Nitrotoluole wie DNT oder TNT) - freien Sprengstoffrezepturen, vom ökologischen Standpunkt prinzipiell begrüßenswert. Bei den vorangegangenen Darlegungen ist zu beachten, dass eine Umweltrelevanz nur bei nicht umgesetzten Sprengstoffresten entsteht. Wobei auch aus der erhöhten Verfügbarkeit z.B. von TNT aus der weltweiten Demilitarisierung von Artilleriemunition, die bei Bedarf als Zumischung zu zivilen Sprengstoffen als Entsorgungsweg dienen, eine Umweltrelevanz entsteht.

d) Werkzeuge zur Umweltverträglichkeitsprüfung von Sprengstoffen

Grundsätzlich sind 3 Mechanismen bekannt: Kontakt von Sprengstoff mit Wasser, Sprengstoffreste mit Wasser nach der Detonation und die Schwadenreaktion (Hydrolyse). Bei patronierten Sprengstoffen wird die Wasserresistenz bei geschlitzter Patronenhülle getestet, wobei der Nachweis der Funktion nach gewisser Zeit erfolgt.

e) Schwaden

Die EN-Normenserie EN13631 „Explosivstoffe für zivile Zwecke“ enthält eine Prüfnorm zur Bestimmung des Kohlenmonoxid- und Stickstoffoxidgehalts in den Sprengschwaden. Eine Beurteilung ist möglich über

- Emissionsschätzfaktoren (z.B. AP-42) (Air Pollutant Emission Factors);
- Schwadenberechnungen (Richtwerte aus Schwadenkammerversuchen);
- Schwadenmessungen (EN 13631-16);
- Eluatanalysen.

f) Bodeneintrag

Eine Umweltrelevanz entsteht nur bei größeren Mengen an nicht umgesetzten Sprengstoffresten, ähnlich wie z.B. bei größeren Mengen Gülleeintrag durch die Landwirtschaft oder bei größeren Mengen rüstungsaltenrelevanter Substanzen;

Der Einsatz von nitroaromatenfreien Sprengstoffen ist von Vorteil, da Nitroaromaten für die Umweltbelastung als extrem bedenklich einzustufen sind.

g) Fazit

Einhergehend ist nach den o.a. umweltrelevanten Erkenntnissen, eine erhebliche Belästigung bzw. Belastung des Umfeldes nicht gegeben. Die genannten Emissionen sind unter Beachtung der gesetzlichen und normativen Vorgaben sowie der sprengtechnischen Vorgaben begrenzt.

7.0 Geotechnische Verhältnisse

Das Gestein des Georgsbergs kann im Allgemeinen als sehr hart eingestuft werden, mit Druckfestigkeiten über 100 MPa. Auf Grund der steil stehenden Schieferung von ca. 80 Grad ist jedoch tendenziell von unteren Kennwerten auszugehen, da eine Belastung nahezu parallel zur Schieferung auftreten wird. (ifb- Bericht vom, 06.03.2007 und EDR GmbH, vom 07.12.2012) Auf Grund der oben genannten, tunnelbautechnisch Verhältnisse werden für den Vortrieb die Ausbruchsklassen 1, 3 und 4 nach DIN 18312 berücksichtigt. Die hauptsächlichen Anteile werden in den Klassen 1 und 3 erwartet. Es sollten aber auch höhere Ausbruchsklassen aufgenommen werden, um im Falle ungünstiger Bodenverhältnisse eine Abrechnung über Nachträge vermeiden zu können. Der tatsächliche Ausbau des Tunnels soll im Zuge des Vortriebs und den angetroffenen Gebirgsverhältnissen bestimmt werden (Beobachtungsmethode). Das im Rahmen der Entwurfsplanung vorgesezte Baukonzept entspricht der Annahme ungünstigere Verhältnisse. Werden jedoch beim Vortrieb dabei deutlich günstigere Verhältnisse angetroffen, so müssen die Vortriebsparameter dahingehend abgeändert werden. Bei der Einordnung in die Homogenbereiche der aufgeführten Festgesteine sind nachfolgend die möglichen Ausbruchsklassen für einen Sprengvortrieb dargestellt.

Tabellenwerte		
Homogenbereich	X1. Gneise kompakt	X2. Gneise zerlegt
Ortsübliche Bezeichnung gem. geologischer Karte	Schiefriger Perlgneis	Schiefriger Perlgneis
Verwitterung / Veränderlichkeit gem. DIN 14689, Tab. 15 und Tab. 5 [qualitativ]	frisch / nicht veränderlich	frisch bis schwach verwittert / nicht veränderlich
Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins gem. DIN 14689, Tab. 2 [MN/m ²]	100 - 250	50 - 100
Spaltzugfestigkeit nach DGGT-Empfehlung Nr. 10, AK 3. [MN/m ²]	12 - 20	10 - 15
Benennung nach DIN EN ISO 14 689-1 a) genetische Einheit b) geologische Struktur c) Korngröße d) mineralogische Zusammensetzung e) Poren- und Hohlraumanteil	a) metamorph b) geschiefert c) mittel- bis grobkörnig d) Silikate; Quarz, Feldspat, Glimmer e) < 1 %	a) metamorph b) geschiefert c) mittel- bis grobkörnig d) Silikate; Quarz, Feldspat, Glimmer e) < 1 %
Dichte ρ [mg/m ³]	2,6 - 2,8	2,6 - 2,8
Form des Gesteins [qualitativ]	vielflächig bis prismatisch, teils tafelförmig	vielflächig bis prismatisch, teils tafelförmig
Trennflächenabstand [qualitativ]	mittelständig bis weitständig	sehr engständig bis mittelständig
Reibungswinkel, intaktes Gestein ϕ [°]	30 - 40	30 - 40
mittlere Fallrichtung / Fallwinkel von Schichtung (S_s), Schieferung (S_s) und Klüftung (K)	K1: 137/06 K2: 262/84 K3: 150/82 Sr: 010/86	K1: 137/06 K2: 262/84 K3: 150/82 Sr: 010/86
Klaffweiten von Trennfläche [qualitativ]	sehr eng bis eng	sehr eng bis offen
Kluffüllungen [qualitativ]	teils bräunliche Verfärbungen (Eisenoxid)	teils tonig-sandige Klufflitten
Abrasivität CAI nach KÄSLING & THURO (2010)[0,1 mm]	4,0 – 6,0 (extrem abrasiv)	4,0 – 6,0 (extrem abrasiv)
Gebirgsdurchlässigkeit nach DIN EN ISO 14689-1	1 · 10 ⁻⁶ - 1 · 10 ⁻⁹	1 · 10 ⁻⁶ - 1 · 10 ⁻⁹
Wichte γ [kN/m ³]	26 - 28	26 - 28
Reibungswinkel auf Trennflächen ϕ [°]	30 - 35	25 - 35

Tabelle 1: Homogenbereiche, (X 1, e kompakt, X 2 e zerlegt) Übersicht

Im Allgemeinen kann Gneis als schweres, starkes und raues Gestein mit einer hohen Dichte und einer deutlich geschichteten Struktur charakterisiert werden, die gegen Spaltung beständig ist. Die Härte dieses Steins ist in etwa vergleichbar mit Stahl.

8.0 Tunnelbautechnische Bedingungen

8.1 Tunnelparameter

Das Tunnelbauwerk wird (EDR GmbH, Stand 05.08.2021) eine Länge von ca. 107,10 m aufweisen. Die lichte Breite des Querschnitts beträgt maximal 6,45 m, die lichte Höhe max. 4,02 m. Der Ausbruch erfolgt im Sprengvortrieb, mit bedarfsweiser Sicherung durch Felsanker und/oder Spritzbeton. Die Ausbruchlinie ist durch einen Kreisbogen mit einem Winkel von ca. 224 Grad beschrieben, die Ausbruchsfläche beträgt ca. 31,8 m². Für die dauerhafte Sicherung und Abdichtung ist eine 30 cm Betoninnenschale vorgesehen. Auf den Einbau einer statisch wirksamen Sohle kann verzichtet werden.

Das Südportal befindet sich in Verlängerung der Prinzregent-Luitpold-Brücke im Zustieg zum Ludwigssteig am Südwesthang des Georgsberges. Das Nordportal befindet sich nördlich der Salvatorkirche im Bereich des Parkplatzes am Nordosthang des Georgsberges.

Neben dem Tunnel- und den Portalbauwerken ist eine Neugestaltung der Vor- bzw. Portalplätze zur Anbindung des Rad- und Fußverkehrs erforderlich. Zusätzlich soll im Rahmen der Baumaßnahme eine Aufweitung der B12 westlich des Ferdinand-Wagner-Tunnels erfolgen.

Zur Ausführung wurde von der Stadt Passau das Baukonzept von Variante 4 als Vorzugsvariante im Jahre 2000 gewählt (Bericht EDR GmbH, vom 07.12.2012). Dies bedeutet, dass das Ostportal des Fußgängers- und Radweg Tunnels nördlich der St.-Salvator-Kirche angeordnet wird und im Bereich des vorhandenen Parkplatzes zu liegen kommt. Das Westportal befindet sich dann gegenüber der Einmündung der Prinzregent-Luitpold-Brücke in einer kleinen Einbuchtung des Felshanges.

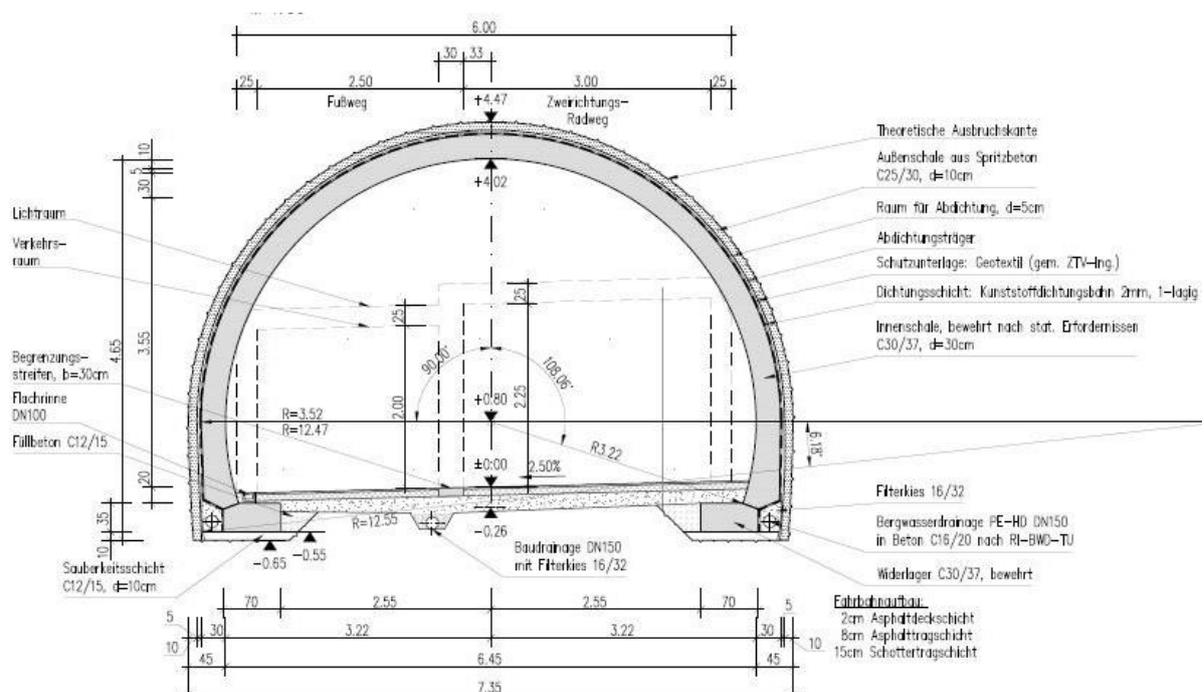


Abb. 3: Tunnelbautechnische Details



Abb. 4: Südportal (Fotomontage nicht maßstäblich)



Abb. 5: Nordportal (Fotomontage nicht maßstäblich)

Der Ablauf des Vortriebs kann wie folgt beschrieben werden:

- Tunnelanschlag Ost mit Sicherung des Portalbereichs
- Sprengvortrieb in Abschnitten mit sofortiger Sicherung des Gebirges
- Tunnelanschlag West mit Sicherung des Portalbereichs mit Treppenaufgang
- Einbau der Innenschale und Errichtung der Portale
- Einbau der Beleuchtung und Beschilderung

9.0 Sprengvortrieb

9.1 Sprengbarkeit des Gesteins im Tunnelvortrieb

Als Grundlage der Entwurfsplanung wird der geotechnische Bericht Nr. 10.06.1493, von ifb Eigenschenk, zur Baumaßnahme „Straßenverbreiterung Angerstraße, Passau“ [U03] vom 06.03.2007 herangezogen. Das Gutachten umfasst dabei im Rahmen einer Machbarkeitsstudie anstehenden, südlichen Felshang des Georgsbergs zwischen der Prinzregent-Luitpold-Brücke und des westlich liegenden Ferdinand-Wagner-Tunnels. Im Rahmen der Studie wurden großräumige geologische und topographische Verhältnisse zusammengetragen, eine geologische und gefügekundliche Aufnahme erstellt, eine Vermessung des Hangs in repräsentativen Schnitten erstellt und eine grundsätzliche Machbarkeit eines Hangeinschnitts mit den erforderlichen Sicherungsmaßnahmen geprüft.

Das Gestein des Hangs kann als straff geschieferte, angewitterte Perle beschrieben werden. Die Festigkeit wird trotz des Verwitterungsgrades mit „sehr fest“ angegeben, mit geschätzten einaxialen Druckfestigkeiten von > 100 MPa. Dabei beeinflusst die interne Schieferung im großmaßstäblichen Rahmen meist nur untergeordnet, da die e eine massige Ausprägung haben. Zudem wird der Fels durch Klufflächen beeinflusst, deren Erstreckung von wenigen cm bis dm großen Kleinklüften bis hin zu über Meter bis Dekameter großen Großklüften und Störzonen reicht.

Im Allgemeinen wird dem anstehenden Felsen ein kompaktes und weitständig geklüftetes Gebirge zugesprochen, welches nur Bereichsweise von engeren Kluftabständen beeinflusst wird. Eine Wasserführung entlang von Klüften oder Schieferungsflächen wurde trotz starker Regenerenisse im Bearbeitungszeitraum nicht festgestellt. Die beschriebenen Verhältnisse werden auch für das Südportal des Stollens angenommen. Für das Nordportal bzw. für den Stollenbau an sich wird auf Grund der geologischen Erfahrungen in diesem Bereich von gleichen Verhältnissen ausgegangen.

9.2 Gebirgsschonendes Sprengen

Prinzip des schonenden Sprengens

Durch Verringerung der Bohrlochabstände und Pufferung der Sprengladung wird ein Spalt in der vorgegebenen Profilebene der Kranzlöcher erzeugt. Grund hierfür ist, dass nur ein möglichst geringer Teil der Sprengenergie in das anstehende Gebirge eingeleitet werden soll. Ziel des Verfahrens ist es, dass genaue Konturen, wenig Mehrausbruch, eine weitgehende Reduzierung der Rissbildung im anstehenden Gebirge und eine Reduzierung von Erschütterungen erreicht werden. Durch das schonende Sprengen ergeben sich folgende Vorteile: Es werden maßgenaue Profile hergestellt, ein Mehrausbruch mit erhöhten Verfüllungskosten bleibt ebenso erspart wie die Nachbearbeitungskosten bei einem Minderausbruch. Das stehenbleibende Gebirge wird geschont und Risse oder eine Auflockerung vermieden. Einhergehend wird die Erschütterung auf die Umgebung stark verringert.

Allerdings besteht ein erhöhter Aufwand hinsichtlich einer größeren Bohrlochzahl und Richtungsgenauigkeit und ein erhöhter Zeitbedarf für die Herstellung und das Einbringen für die gestreckten, gepufferten Ladungen.

Wie bereits angeführt, soll beim schonenden Sprengverfahren das Gebirge möglichst wenig zerstört und seine Struktur weitgehend geschont werden. Es ist bei diesem Verfahren anzustreben, dass in die First-(Kranz)-bohrlöcher wenig Sprengstoff geladen und diese möglichst gleichzeitig gezündet werden. Der Bohrlochabstand kann bei dünnkalibrigen Patronen um ca. < 60 cm, bei Verwendung von Sprengschnüren geringer (ca. um 30 – 50 cm) gewählt werden. Das Ergebnis ist durch Probesprengungen zu bestätigen und ggfls. abzuändern.

Die Bohrlöcher werden wie vorher dargelegt, nur schwach und zwar mit Patronen dünnen Kalibers, (bis <25mm) oder mit Sprengschnüren geladen, sodass ein Luftpolster zwischen Sprengstoff und Bohrlochwand vorhanden ist. Dadurch wird das Gebirge nicht ausgeworfen oder zertrümmert, sondern es bildet sich zwischen den Bohrlöchern lediglich ein Trennsplatt, der ein Ablösen des Gesteins gewährleisten soll. Dabei ist zu beachten, dass den Profillöchern keine Patronen (außer Kontur <25 mm) beigeladen werden, ansonsten ist es nicht wirklich gebirgsschonend. Die Profilbohrlöcher verlaufen immer etwas nach außen (ca. 1°). Dieses muss beim Bohrbild beachtet werden.

Die Zündung der First- (Kranz)-schüsse soll möglichst gleichzeitig erfolgen, damit auch eine gleichzeitige und somit gleichmäßige Spaltbildung von jedem Bohrloch ausgehend zum Nachbarbohrloch erfolgen kann. Im Tunnelbau wird dies in vielen Fällen nicht möglich sein, denn bei gleichzeitiger Zündung aller First- (Kranz)-schüsse, kommt es anhand der größeren Sprengstoffmenge, zu einer größeren Erschütterungswirkung. Daher werden die Kranzlöcher auf meistens >2-3 gemeinsame Zündzeitstufen aufgeteilt. Bei der Abschätzung der erwarteten Sprengerschütterungen ist dies zu beachten. Hauptsächlich kommen, speziell für First-(Kranz)-schüsse angefertigte, dünne (Patronen-) Kaliber mit einem um ca. 20 bis 25 mm geringeren Durchmesser als der Bohrlochdurchmesser auf der Ortsbrust, zum Einsatz. Dabei darf ein kritischer Durchmesser, der für ein sicheres Durchdetonieren der Ladesäule erforderlich ist, nicht unterschritten werden. Der kritische Durchmesser liegt bei Emulsionssprengstoffen um ca. 25–35 mm und bei ANC (ANFO) Sprengstoffen bei ca. 32 mm. Genaue Daten sind dazu vom Hersteller oder Lieferanten zu erfragen.

Das Verhältnis 1:1,5 von Bohrlochabstand zur Vorgabe (freie Fläche zum nächsten Bohrloch) ist im Bohrlochtiefsten einzuhalten. Nur dann kann ohne Zuladen von Sprengstoffpatronen profilgerecht und schonend gesprengt werden. Der Bohrlochabstand im Profil (Firste) richtet sich immer nach dem Gebirge und dessen Eigenschaften. In festem großbankigem Gestein das gut spaltbar ist, können Bohrlochabstände von ca. >0,50 m ausreichend sein, um ein gutes Profil zu sprengen. In weniger gut spaltbarem Gestein müssen die Abstände kleiner gewählt werden (ca. >30 cm) und evtl. Leerbohrlöcher eingebracht werden. Aufgrund von unterschiedlichen Gebirgs- bzw. Gesteinseigenschaften, kann eine Optimierung nur über Versuche vor Ort ermittelt und realisiert werden. Es hat sich bewährt, dass eine 100 g/lfm Sprengschnur aufgrund ihres Lademetergewichtes, als Kranzladung eingesetzt werden kann. Nachteile der

Sprengschnüre bestehen aus gesundheitlicher Hinsicht in der negativen Sauerstoffbilanz bei der Umsetzung sowie im relativ großen Schadstoffanteil an Kohlenmonoxid in den Schwaden. Dies wird aber durch die geringe Masse der Sprengschnüre, verglichen mit der für die Einbruch- und Helferschüsse eingesetzten Sprengstoffmenge relativiert, wie auch die höheren Anschaffungskosten für die Sprengschnüre. (E)

9.3 Bohren und Besetzen

Der verantwortliche Leiter der Sprengung hat dafür zu sorgen, dass Ansatzpunkt und Richtung der Bohrlöcher überprüft werden. Abweichungen von der beabsichtigten Richtung und Tiefe der Bohrlöcher sind zu ermitteln. Unzulänglichkeiten während der Bohrarbeiten sind zu beachten (z.B. Hohlräume). Die Lademengenberechnung ist dahingehend zu berichtigen. Die gängigsten Bohrlochdurchmesser unter Tage betragen in der Regel 36 mm bis 45 mm, in Ausnahmefällen wird auch über 50 mm Durchmesser gebohrt.

9.4 Vorgabe

Die zur Verwendung kommenden Sprengstoffe sollen die Vorgabe werfen, wobei die Vorgabe die kürzeste Entfernung zwischen der Sprengladung und der nächstgelegenen freien Fläche ist. Die Größe der Vorgabe ist in Abhängigkeit von

- der Sprengbarkeit des Gesteins und
- der Art (Dichte) und Menge des Sprengstoffs die im Laderaum (Bohrloch) untergebracht werden kann.

Ein richtig ausgeladenes Bohrloch hilft Bohrarbeit sparen. Wobei das Bohren aus wirtschaftlicher Sicht immer teurer ist, als der Sprengstoff. Deshalb sollte das Bohrlochvolumen auch ausgenutzt werden.

9.5 Verspannung

Der oben beschriebene Gebirgsaufbau des festen Gesteines im Tunnelvortrieb, kann zu nicht optimal geworfenen Abschlügen führen, wenn die Kranzbohrlöcher des Profils einen zu großen Abstand haben ($> 0,50$ m) oder der Einbruch, aufgrund einer hohen Verspannung, nicht ausreichenden freien Raum schafft.. Im gegebenen Fall lassen Kranzbohrloch-Abstände von ca. $0,30$ m – $0,50$ m und ein Keileinbruch im Tunnel optimale Abschlüge erwarten. Die genannten Parameter wirken sich nicht nur günstig auf die Vortriebsführung, sondern auch auf die Reduzierung von Sprengerschütterungen aus. Das Gebirge im Vortrieb kann nach oben angeführter tektonischer Beanspruchung als schwer sprengbar eingestuft werden.

Im Übertagebereich stehen beim Sprengen zwei freie Flächen zur Verfügung. Die Verspannung ist dort geringer, wie unter Tage. Beim Vortrieb unter Tage ist meist nur eine freie Fläche vorhanden, die zweite muss durch den Einbruch geschaffen werden, der die Verspannung löst. Die Verspannung wächst mit kleinerem Querschnitt und/oder mit großer Abschlaglänge. Es wird dann mehr Sprengstoff je m^3 zu sprengendem Gestein benötigt. Alle angeführten Sprengparameter im Vortrieb müssen daher, anhand von Analysen aktueller Messergebnisse sorgfältig beobachtet und umweltrelevant festgelegt werden.

9.6 Einbruch

Wie bereits vorher, als wichtiger Faktor beschrieben, welcher maßgeblich am Erfolg der Abschläge beteiligt ist, wird der Einbruch mit seiner Anordnung sein. Dies wird zu Beginn der Sprengarbeiten durch einen, mit brennendem Sprengstoff besetzten Keileinbruch, mit $\varnothing < 45 \text{ mm}$ der Sprengbohrlöcher realisiert. Im anstehenden soll der Einbruch ein leichtes Ausbrechen aus der Ortsbrust garantieren. Daneben ist er in hohem Maße für den Grad der zu überwindenden Verspannung des Gebirgsverbandes an der Ortsbrust beteiligt und ist damit einhergehend auch ausschlaggebend für die begleitenden Sprengerschütterungen sowie für die gewünschte Zerkleinerung der jeweiligen Abschläge. Wie bereits im vorigen Punkt 9.5 beschrieben, können neben dem Keileinbruch auch andere Einbrucharten zur Anwendung kommen, wenn dies die Umgebung zulässt.

9.7 Sprengtechnische Parameter

Nach der Regel der Technik hat die Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe, d.h. die Sprengladungen die gleichzeitig gezündet werden, den größten Einfluss auf die Höhe der Erschütterungen. Die Sprengladungen sind so zu bemessen, dass der gewünschte Sprengzweck erreicht wird, wobei eine Unterladung der Sprengbohrlöcher generell zu vermeiden ist. Aus sprengtechnischer und umweltrelevanter Sicht (Reduzierung der Einwirkungen) sind, wie vorher bereits dargelegt, neben dem Keileinbruch auch andere Einbrucharten wie z.B. Großbohrloch - Paralleleinbrüche möglich, wobei diese unbedenklich und dem Stand der Technik entsprechend sind. Die Vortriebsparameter stehen zusammen mit der vorgegebenen Vortriebsrichtung, in ständiger Wechselwirkung zueinander. Die notwendigen Sprengparameter für den Beginn sind nachfolgend dargestellt:

Querschnitt	31,8 m ²
Abschlagslänge:	1,0 m - 2,0 m
Streckenbreite:	7,35 m
Sprengstoffbedarf:	ca. 1,4 – 1,6 kg/m ³
Bohrdichte:	ca. 3 Bohrloch je m ²
Dichte des Gneis	2600 – 2800 kg/m ³
Bohrlochdurchmesser	45 mm
Füllungsgrad Einbruch	80%
Füllungsgrad Bohrloch	75%
Ladung Kranzloch	100g Sprengschnur oder Stabladung
Sprengstoff:	Emulsion*, patroniert, oder gelatinöser** Sprengstoff
Sprengstoffdichte:	* $\cong 1,2 \text{ kg/m}^3$ oder ** $\geq 1,4 \text{ kg/m}^3$
Zündung:	Elektronische, elektrische oder nichtelektrische Zünder mit Schlagpatrone
Einbruch:	Keileinbruch

Tabelle 2: Sprengtechnische Parameter

Die Parameter der jeweiligen Sprenganlage mit allen Details, kann sich jedoch ausschließlich aus den jeweils vorgefundenen Gebirgseigenschaften ergeben. Daraus wird sich letztendlich der IST-Zustand der sprengtechnischen Parameter ergeben.

Das bedeutet jedoch, dass kein Arbeitsvorgang für sich allein betrachtet wird, da sonst die Wirtschaftlichkeit des Vortriebes in Frage gestellt würde. Ausgangspunkt aller Überlegungen im Vortrieb ist die ordnungsgemäße Zerkleinerung (auch unter Einhaltung der vorgegebenen Erschütterungswerte) des zu sprengenden Gneis unter Schonung von Firsten und Stößen. Allein dieser Zweck legte die Eigenschaften fest, wie die Parameter der Sprengungen auszusehen haben. Zu vermeiden sind mehr oder weniger unregelmäßige und unebene sowie durch die Sprengladungen angerissene, angeschlagene und aufgelockerte Stöße und auch Firsten, die hinsichtlich Festigkeit und Maßhaltigkeit den Anforderungen nicht gerecht werden. Bei wiederholten nicht optimalen Abschlägen ist die augenblickliche Form des Einbruchs zu überarbeiten. Die Ergebnisse sollten mit den entsprechenden Leitbildern dokumentiert werden.

9.8 Abschlagtiefe

Die Länge eines Abschlages ist vor allem vom Ausbruchquerschnitt des zu sprengenden Ortes sowie den aktuellen Gesteinseigenschaften und den damit notwendigen Sicherungsmaßnahmen abhängig. Die Abschlagtiefe beträgt in etwa von 1,2 bis 2,0 m, größere Abschlagstiefen scheitern zumeist an der zu großen Verspannung des Gebirges und auch auf Grund des unwirtschaftlichen Bohrens.

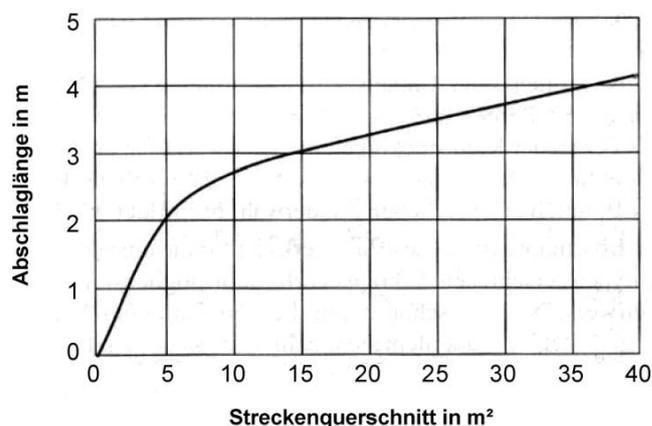


Abb. 4: Richtwerte der möglichen Abschlagtiefe in Abhängigkeit des Ausbruchquerschnitts.

9.8 Sprengstoff

Es gibt zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keinen Universalsprengstoff, der für alle Sprengaufgaben gleich gut geeignet ist. Daher muss die Auswahl der Sprengstoffe gut überlegt sein. Es wird unterschieden in:

- Gelatinöse Sprengstoffe mit der höchsten Dichte (ca. 1,5 g/cm³) und guter Wasserfestigkeit, mit brisanter Wirkung;
- Emulsionssprengstoffe mit geringerer Dichte (ca. 1,2 g/cm³) als Sprengstoffe mit sehr guter Wasserfestigkeit und brisanter Wirkung;

Es ist dabei von Bedeutung, dass die Sprengstoffe eine ausreichende Brisanz aufweisen können. Dabei ist die Brisanz jene, die bei Sprengstoffen das Produkt aus Ladedichte, spezifischer Energie und Detonationsgeschwindigkeit kennzeichnet. Laut Becker, R. (Stoßwelle und Detonationsgeschwindigkeit, Z. Physik 8, 321-368, 1922) ist der Begriff Brisanz identisch mit dem Detonationsdruck p , wobei dieser über die Formel

$$p \approx \frac{\rho D^2}{4}$$

- D = Detonationsdruck
- ρ = Dichte

ermittelt werden kann. Genaue Daten über die Brisanz sind aus den Sprengstoffdatenblättern der zugelassenen Sprengstoffe zu ersehen.

In den Kranzbohrlöchern sollten nur gestreckte Ladungen verwendet werden. Diese können aus einer Stabpatrone (\varnothing ca. 17-20 mm) oder aus einer Sprengschnur (100 g) bestehen. Speziell im Tunnelbau soll jener Sprengstoff gewählt werden, der den gewünschten Sprengerfolg mit sich bringt, darüber hinaus aber mit dem geringsten sicherheitstechnischen Risiko behaftet ist, d.h. der in der Handhabung am sichersten ist und die geringsten gesundheitlichen Beeinträchtigungen mit sich bringt.

9.9 Zündmittel

Seit Jahrzehnten hat sich die elektrische Zündung im untertägigen Sprengvortrieb bewährt. Es kann aber auch die nicht-elektrische Zündschlauch-Zündung (nonel), wie auch die elektronische Zündung zum Einsatz kommen. Durch den Einsatz von elektronischen Zündern bei Kranzschüssen, die exakt zum gewünschten Zeitpunkt zur Zündung gebracht werden, kann folgendes erzielt werden:

- eine Verbesserung der Profilgenauigkeit,
- eine Verringerung der Erschütterungen,
- eine bessere Schonung des stehenbleibenden Gebirges und damit
- geringere Nachbearbeitungskosten.

Voraussetzung für einen sinnvollen Einsatz der elektronischen Zünder, damit der genaue Zündzeitpunkt überhaupt relevant wird, ist eine sorgfältige Verteilung und ein genaues Bohren der Kranzbohrlöcher. Hierbei bietet sich die Kombination mit nichtelektrischen Zündern an, die für die Einbruch- und Helferschüsse eingesetzt werden, während die elektronischen Zünder nur im Kranz zur Anwendung gelangen. Hinsichtlich der Anordnung der Zündmittel, d.h. der Schlagpatrone im Bohrloch, hat sich im Bergbau die Zündung aus dem Bohrlochtiefsten durchgesetzt und wird heute nahezu ausnahmslos angewendet.

Für die Zündung aus dem Bohrlochtiefsten sprechen sprengtechnische Gründe: Die Detonation beginnt an der Stelle, wo die meiste Arbeit zu leisten ist (und auch die größte Verspannung, bzw. der größte Gebirgswiderstand ist), aber auch sicherheitstechnische Aspekte. Bei der Zündung vom Bohrlochmund könnte es zu Teilversagern, z.B. durch Abscheren der

Ladung durch den vorher detonierenden Nachbarschuss, und damit zu Bohrlochpfeifen mit Sprengstoffresten kommen, wobei im Falle des verbotenen Weiterbohrens der Bohrlochpfeifen schwere Unfälle selbst bei Emulsionssprengstoffen (Zünder) nicht ausgeschlossen werden können.

9.10 Abstimmung der Lademengen auf das Gestein

Als Lademengenberechnung kann die Formel von Langefors und Kihlström in ihrer allgemeinen Form zur Abschätzung herangezogen werden. Diese ist auf die Tektonik (Schichtenlagerung) und die Bewegungen der Erdkruste, speziell für die Anforderungen unter Tage, abgestimmt. (E, O) Die Werte müssen auf das zu sprengende Gestein abgestimmt werden. Das bedeutet, dass je nach Ort und Lage auf die Gebirgseigenschaften eingegangen werden muss.

Auf Grund von evtl. unterschiedlichen Gebirgseigenschaften müssen die Sprengparameter von Fall zu Fall angepasst werden. Es werden aus diesem Grund unterschiedliche Raster und Abschlagtiefen zum Einsatz kommen, die zum jetzigen Zeitpunkt nur annähernd festgelegt werden können. Bei Unsicherheiten bzw. bei Unklarheiten über die Verhaltensweisen des zu sprengenden Gesteins sind dementsprechende Probesprengungen durchzuführen. Dadurch kann das Bruchverhalten des Gesteins im Vortrieb genauer bestimmt werden, welches einhergehend zu verminderten Erschütterungseinwirkungen im Umfeld führt. Der vorab abzuschätzende spezifischer Sprengstoffbedarf M_A für den Vortrieb ist nachfolgend dargestellt und lässt sich nach der u.a. Formel theoretisch ermitteln. Bei der Ermittlung des spezifischen Sprengstoffbedarfs M_A [kg/m³] wird zwischen den Vortrieben mit

– eine freie Fläche: $M_A = a + 14 / A_A$

A_A = Ausbruchsquerschnitt in m²

M_A = spezifischer Sprengstoffaufwand in kg/m³

a = Konstante, abhängig von Gesteinsfestigkeit

Gesteinsart	a
leicht sprengbar:	
Mergel, Tonstein, Gips, Kreide	0,4
mittelschwer sprengbar:	
Sandstein, Kalkstein, Schiefer	0,6
schwer bis sehr schwer sprengbar:	
Dolomit, Granit, Gneis, Basalt, Quarz	0,8 – 1,0

Tabelle 2: Abbau mit einer freien Fläche

– zwei freien Flächen:

Gesteinsart	a
gut lösbar	0,25
schwer lösbar	0,40

Tabelle 3: Abbau mit zwei freien Flächen

Die über die o.a. Formel ermittelten, empirischen Lademengen gelten im Tunnelbau wie auch für den untertägigen sprengtechnischen Gesteinsabbau. Für die gegenständliche Ausbruchfläche muss mit einem spezifischen Sprengstoffbedarf M_A von ca. 1,4 – 1,6 kg/m³ gerechnet werden. Da die Lademengen auf gelatinöse Sprengstoffe ausgerichtet sind, müssen diese auf die Emulsionen anhand ihrer Wirkungsweisen abgestimmt werden.

9.11 Vorabschätzung der Bohrlochanzahl

Eine Vorabschätzung der Bohrlochanzahl nach der Regel der Technik kann wie folgt vorgenommen werden: Die Ermittlung für Anzahl der benötigten Bohrlöcher z_B für den Vortrieb ist und lässt sich nach der u.a. empirischer Formel ermitteln. Die Anzahl der Bohrlöcher z_B kann damit näherungsweise bestimmt werden:

$$z_B = c + k \cdot A_A$$

A_A = Ausbruchfläche

c , k = Konstanten, abhängig von Gesteinsfestigkeit und Abbauart (eine oder zwei freie Flächen)

Gesteinsart	c	k
Abbau mit einer freien Fläche (Vortrieb) leicht sprengbar: Mergel, Tonstein, Gips, Kreide	25	0,67
mittelschwer sprengbar: Sandstein, Kalkstein, Schiefer schwer	31	1,00
bis sehr schwer sprengbar: Dolomit, Granit, Gneis, Basalt, Quarz	38	1,40
Abbau mit zwei freien Flächen (Nachttrieb) gut lösbar	4	1,00
schwer lösbar	5	1,20

Tabelle 4: Kennwerte für die Bestimmung der Anzahl der Bohrlöcher (O)

Im gegenständlichen Fall wird für ein, den Ansprüchen entsprechendes Ausbrechen der Ortsbrust, mit einer Anzahl von ca. >83 Bohrlöchern (bei Verwendung von Emulsion >92 BL). zu rechnen sein. Die vorermittelte Anzahl der Bohrlöcher kann für den Beginn herangezogen

werden, wobei sich die Anzahl je nach Verspannung und Abschlaglänge, verändern kann. Nach den Probesprengungen kann die Anzahl der Bohrlöcher, unter dem Aspekt des schonenden Sprengens, für den weiteren Vortrieb festgelegt werden. Der Brisanzwert ist unter Pkt. 9.8, dargestellt worden.

9.12 Sprengergebnis

Für feste Gesteinsformationen, wie den gegenständlich anliegenden Gneis, werden zum Erreichen des gewünschten Sprengergebnisses, Sprengstoffe mit der nötigen Brisanz erforderlich. Diese Voraussetzung erfüllen gelatinöse Sprengstoffe und Emulsionssprengstoffe.

9.13 Sicherheitstechnische Überlegungen

In sicherheitstechnischer Hinsicht überwiegen eindeutig die Vorteile von Emulsionen gegenüber gelatinösen Sprengstoffen: Emulsion enthält kein Sprengöl, sodass Kopfschmerzen beim Ladevorgang nicht auftreten können. In den Schwaden sind, sowohl hinsichtlich der auftretenden Spitzenwerte der Schadstoffkonzentrationen, wie auch hinsichtlich der gesamten Schadstoffmenge deutlich weniger Schadstoffe enthalten. (Messungen der Schadstoffkonzentrationen nach Sprengungen mit Emulsionssprengstoffen und mit gelatinösen Sprengstoffen zeigten.

Beim Einsatz von Emulsionen entstanden nur ca. 40 % der bei gelatinösen Sprengstoffen auftretenden Spitzenwerte der Schadstoffkonzentrationen) (D). Somit kann die Wartezeit nach einem Abschlag reduziert und eventuell auch, verbunden mit den notwendigen Kontrollmessungen der Schadstoffe, die Bewetterungsleistung geringer als bei gelatinösen Sprengstoffen dimensioniert werden. Zusammenfassend wäre daher die Verwendung von Emulsion anzustreben, wobei zur Sicherstellung des gewünschten Sprengerfolges im Einbruch- und Firstbereich des Profils größenordnungsmäßig um ca. 5 % bis 10 % mehr Bohrlöcher als bei gelatinösem Sprengstoff vorzusehen sein werden. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit bedeutet dies, dass voraussichtlich im Einbruch- und Firstbereich ein Mehraufwand von ca. >5 Bohrlöchern auftreten wird.

9.14 Besatz

In der Praxis ist es üblich geworden, die Ladesäulen der Einbruch- und Helferschüsse nicht mit Besatz abzuschließen (Wirtschaftlichkeit). Durch die Länge der Ladesäule wirkt für die Schlagpatrone im Bohrlochtiefsten der danach eingebrachte Sprengstoff gleichsam als Besatz, wodurch eine einwandfreie Umsetzung der Schlagpatrone und damit die gewünschte Abschlagtiefe garantiert sind. Wenn dabei grobstückigeres Material anfällt, ist es im Vortrieb nur dann von Bedeutung, wenn der Abtransport über Förderbänder erfolgen sollte.

9.15 Leitsprengbilder

Die Leitsprengbilder müssen vor Aufnahme der Sprengarbeiten dem Auftraggeber vorgelegt werden. Es ist möglichst erschütterungsarm und profilgenau zu sprengen. Hierzu sind Vorgabeeinbrüche wie Keil- oder Fächereinbruch zweckmäßig. Reine Paralleleinbrüche ohne zusätzliche Leerbohrlöcher verursachen erfahrungsgemäß höhere Erschütterungen und sind zumindest zu Beginn der Vortriebsarbeiten ausgeschlossen. Sollte sich im Laufe der

keine größeren Lademengen ohne die Auswertung der Erschütterungsmessergebnisse durch die überwachende Messstelle möglich.

Die Sprengerschütterungen müssen zum Schutz der Bauwerke und insbesondere der darin befindlichen Menschen, über die komplette Vortriebsdauer und ggfs. auch in anderen erschütterungsempfindlichen Bereichen messtechnisch überwacht werden. Mit Hilfe der Ergebnisse der Erschütterungsmessungen können die Sprengparameter angepasst werden. Als Anhalt für die ersten (Probe-) Sprengungen kann das oben dargestellte Leitsprengbild vorgeschlagen werden. Die Erschütterungseinwirkungen werden unter Pkt 10 „Prognose von Sprengerschütterungen“ genauer dargelegt.

9.16 Sicherungsmaßnahmen zum Schutz der Beschäftigten

Das Sprengwesen ist ausführlich im Rahmen von Gesetzen und Verordnungen geregelt, nach denen die Behörden, der Betreiber und der Sprengberechtigte vorzugehen haben (VII). Vom Betreiber wird die Verbringung, die Lagerung und der Umgang mit Spreng- und Zündmitteln geregelt. Ebenso sind der Verantwortungsbereich, die Anforderungen an die beschäftigten Personen, die sicherheitstechnischen Anforderungen für den Arbeitnehmerschutz und den Anrainerschutz sowie der Ablauf von Sprengungen geregelt.

Es wird betrieblich sichergestellt, dass eine Sprenganlage ausschließlich gezielt zu einem gewissen Zeitpunkt von einer bestimmten Person (also kontrolliert) initiiert wird und ein selbständiges Auslösen der Sprengung auszuschließen ist. Bei untertägigen Sprengungen werden die obligatorischen Maßnahmen wie Festlegen der Sprenganlage, Kontrolle des Bohrrasters etc. sowie die Ladearbeiten selbst, von einem verantwortlichen Sprengberechtigten mit Befähigungsnachweis für untertägige Sprengungen, kontrolliert und überwacht.

9.17 Sicherungsmaßnahmen zum Schutz der Umgebung

Zum Schutz vor Schäden durch Steinflug sind Sprengschutzmatten oder ein Sprengschutzhvorhang aus Förderbandgurten oder Ähnlichem am Tunnelanschlag anzubringen. Der Sprengschutzhvorhang muss den gesamten Tunnelquerschnitt abdecken und auch mindestens 1 m die Sohle überdecken. Der Sprengvorhang sollte aus sich überlappenden stabilen Gummibandgurten oder gleichwertigem Material bestehen. Dabei müssen die einzelnen Gummibahnen in Querrichtung mit Drahtseilen miteinander verbunden werden, damit sich der Sprengschutzhvorhang beim Sprengen nicht öffnen kann. Der Vorhang sollte die beidseitigen Stöße des Tunnelanschlages ausreichend überlappen und an den Stößen befestigt werden.

Zusätzlich zu den Gummigurten sollte der Sprengschutzhvorhang zum Auffangen von kleineren Gesteinspartikeln mit einem Geoflies versehen sein, das ebenfalls über den Tunnelquerschnitt hinaus nach allen Seiten reichen muss. Dieses Vlies sollte ein Gewicht von ca. 1.000 g/m² haben und gardinenartig locker angebracht werden, damit es sich durch die Sprengschwaden aufblähen kann, ohne dass eine Öffnung entsteht. Der Sprengschutzhvorhang kann z. B. mit einer Tragschiene versehen werden und zum Sprengen am Tunnelanschlag mit einem Bagger in zwei stabile Haken eingehakt werden.

9.18 Sprengschwaden an der Sprengstelle

Die Menge der freigesetzten Sprenggase (Schwaden) hängt von der Art der eingesetzten Sprengstoffe, ihrer Menge, der Vollständigkeit ihrer chemisch/physikalischen Umsetzung, der mengenmäßigen Bindung der chemischen Bestandteile dieser Sprenggase an die Bruchflächen des gesprengten Gesteins sowie an den Sprengstaub und von der bindenden Feuchtigkeit des zu sprengenden Gebirges ab (Tabelle 5). Je kg Sprengstoff werden in etwa größenordnungsmäßig folgende Mengen an Sprenggasen frei:

Sprengstoffart	CO l/kg	No _x l/kg
Gelatinöse Sprengstoffe	16 - 24	3,5 - 4,0
ANC- Sprengstoffe	5,1	3,0
Emulsion - Sprengstoffe	1,1 - 4,6	0,1- 0,2

Tabelle 5: Schädliche Gase in Sprengstoffen

Durch die vorgeschriebene Einhaltung der Wartezeiten vor Betreten der Sprengorte, sind zum jetzigen Zeitpunkt keine Gefahrenmomente erkennbar, die besondere Schutzmaßnahmen erfordern würden.

10.0 Sprengerschütterungen

Der Wirkungsmechanismus einer Sprengung führt zwangsläufig zum Entstehen von Schwingungen im umgebenden Medium. Bei den erzeugten Sprengerschütterungen im Gebirge treten Reibungskräfte auf, die eine Dämpfung der Amplituden der Schwingungen über die Strecke der Wellenausbreitung bewirken. Die tatsächlich wirksamen Sprengerschütterungen werden in erster Linie durch die Absorptionseigenschaften des Gebirges bestimmt.

Beim Sprengen wird in einem sehr kurzen Zeitraum eine große Energie freigesetzt. Ein großer Teil der Energie wird zum Zerkleinern und Auswerfen der Vorgabe verbraucht. Ein Teil der Energie wird jedoch in den Untergrund übertragen und regt ihn zum Schwingen an. Entscheidend für die Auswirkungen der Erschütterungen auf die Umgebung ist die Höhe der Schwinggeschwindigkeit und deren Frequenz. Dieses wird als frequenzabhängige Schwinggeschwindigkeit bezeichnet. Dabei kommt zum Tragen, dass je höher die Frequenz ist, umso größer kann die Schwinggeschwindigkeit sein, ohne dass Schäden an Bauwerken in der Umgebung auftreten. Durch eine angepasste Sprengtechnik können die vorgegebenen Werte eingehalten und so Regressforderungen vorgebeugt werden. Den größten Einfluss auf die Höhe der Erschütterungen hat die Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe, d.h. die Sprengladungen, die gleichzeitig gezündet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Sprengstoffmenge je Zündstufe möglichst gleichmäßig verteilt ist. Bei allen Einwirkungen auf das Umfeld ist zu berücksichtigen, dass nach allgemeinen Erkenntnissen der zeitliche Ablauf einer Sprengung am Tunnel Georgsberg um einige Sekunden liegen wird.

Eine wesentliche Kenngröße für die Stärke und Wirkung von Erschütterungen bildet die Maximalamplitude der Schwinggeschwindigkeit v_{\max} . Die maximale Schwinggeschwindigkeit nimmt mit dem Abstand zur Erschütterungsquelle infolge geometrischer Dämpfung und Materialdämpfung ab. Die geometrische Dämpfung ist abhängig von der geometrischen Form der Erschütterungsquelle (punkt- oder linienförmig), der Art der Erschütterung (pulsartig oder harmonisch/stationär) sowie der räumlichen Ausbreitung der Schwingung (Raumwelle oder Oberflächenwelle). Die Materialdämpfung durch Absorption und Dissipation hängt von der Struktur des Materials (zum Beispiel Trennflächen im Fels) ab und ist frequenzabhängig. An Schichtgrenzen und freien Oberflächen kommt es zu Reflexionen. Zur Beschreibung der Dämpfung der Maximalamplituden wird die in DIN4150, Teil 1, angegebene Abstands-Lademengen-Beziehung für sprengbedingte Erschütterungen verwendet:

$$v_{\max} = k \times \left[\frac{\max L}{1 \text{ kg}} \right]^b \times \left[\frac{R}{1 \text{ m}} \right]^{-m}$$

Danach sind die Maximalamplituden der Schwinggeschwindigkeit (v_{\max}) vom Abstand zur Sprengstelle (R) und von der Lademenge (L) abhängig. Der Dämpfungsexponent m beinhaltet sowohl die geometrische Dämpfung als auch die Materialdämpfung und wird wie die Parameter k und b aus Messergebnissen empirisch ermittelt. Im doppelt logarithmischen Maßstab beschreibt diese Funktion eine Gerade.

10.1 Prognose von Sprengerschütterungen

Für die Vorausermittlung der Einwirkungen von Sprengerschütterungen auf

- Bauwerke
- den Menschen
- den Untergrund
- empfindliche Maschinensysteme

ist durch die zuständige Norm (DIN 4150, Teil 1) festgelegt, dass prognostiziert, beurteilt und gemessen werden muss. Zur Abschätzung der von Sprengungen ausgehenden Erschütterungen gibt das Deutsche Institut für Normung DIN an, die Empfehlung ausgehend von der maximalen Lademenge je Zündzeitstufe und der Entfernung gemäß der Formel nach DIN 4150 Teil 1, zu übernehmen. Für die Vorausermittlung der zu erwartenden Einwirkungen durch Sprengereignisse kann auf Grund der bisherigen Erkenntnisse die Abstands - Mengen - Beziehung in ihrer allgemeinen Form angewandt werden. In allgemeiner Form kann die Beziehung zwischen dem maximalen Wert der Bodenvibration v_{max} der Lademenge je Zündstufe L_s , und der Entfernung vom Sprengort, R , wie folgt ausgedrückt werden:

$$v_{max} = k \cdot L_s^b \cdot R^{-m}$$

wobei

v_{max} maximale Bodenvibration (Schwinggeschwindigkeit) in mm/s

k, b, m empirisch ermittelte Faktoren oder Exponenten, welche die geologisch- geomechanischen Verhältnisse und die verwendete Sprengtechnologie beschreiben

L_s Lademenge pro Zündzeitstufe in kg

R Entfernung vom Sprengort zum betrachteten Bereich in m

Beispiele für Erschütterungsprognosen sind:

- $V = 80 \cdot L_s^{0,5} \cdot R^{-1}$ (Koch, 1958)
- $V = 1350 \cdot L_s^{0,495} \cdot R^{-1,5}$ (Mossinez, 1980)
- $V = 1299 \cdot L_s^{0,6} \cdot R^{-1,52}$ (Böttcher, 1982)
- $V = 969 \cdot L_s^{0,6} \cdot R^{-1,5}$ (Lüdeling, 1986)
- $V = 138 \cdot L_s^{0,67} \cdot R^{-1,32}$ (Wieck, 1994)
- $V = 450 \cdot L \cdot R^{-1,6}$ (ÖNORM S 9020, 2015)

Empirische Werte nach Schillinger et al. 2009:

<i>z.B. Granit, Granodiorit</i>	<i>z.B. Gneis</i>	<i>z.B. Massenkalk</i>	<i>z.B. Dolomit</i>	<i>z.B. weicher Kalk</i>	<i>z.B. Schiefer</i>
206	235	646	897	969	1299
0,80	0,80	0,59	0,68	0,60	0,60
-1,30	-1,27	-1,52	-1,51	-1,50	-1,52

Tabelle 6: Anhaltswerte für Erschütterungsprognosen (E)

Für die Vorausermittlung gilt demnach die Formel:

$$v_{\max} = k \cdot L^b \cdot R^{-m}$$

wobei

- v_{\max} = Schwinggeschwindigkeit in mm/s
 k, b, m = empirisch ermittelte Kennwerte die ihre Größe wechseln können
 L = Lademenge pro Zündzeitstufe (kg)
 R = Abstand Sprengort - Messstelle (m)

Die Gleichung gilt als mögliche rechnerische Regel zur Ermittlung der Lademengen pro Zündzeitstufe in Beziehung zur Entfernung zum Sprengort und der zulässigen Schwinggeschwindigkeit. Die Werte von k , b und m sind aus Versuchssprengungen zu ermitteln. Liegen noch keine Ergebnisse vor, so sind Erfahrungswerte zur Prognose einzusetzen.

10.2 Prognose für den Fahrradunnel Georgsberg

Bei Sprengungen wird die Schwinggeschwindigkeit der Erschütterungen an einem zu beurteilenden Ort in der Umgebung der Sprengung von Kriterien wie

- eingesetzte Lademenge per Zündzeitstufe
- Entfernung von der Sprengstelle
- Geometrie der Sprenganlage
- zeitlicher Verlauf der Sprengung
- Eigenschaften des zu sprengenden Gebirges

bestimmt.

Für die Ermittlung der Sprengerschütterungen wird eine Abstands - Lademengen - Beziehung verwendet. Das bedeutet, dass für den Vortrieb im Fahrradunnel Georgsberg, die Prognose mit der Ermittlung nach dem Erschütterungszahlverfahren errechnet wird. Dieses Verfahren baut auf einer Abstands - Lademengen – Beziehung, auf in der aus der Entfernung des Prognosepunktes R und der eingesetzten Lademenge per Zündzeitstufe L der Sprengung, der zu erwartende Betragsmaximalwert v_{\max} der Schwinggeschwindigkeit (mm/s) nach einer exponentiellen Näherungsformel berechnet wird:

$$v = k \cdot (L/L_0)^b \cdot (R/R_0)^{-m} \quad \text{in (mm/s)}$$

Hierbei bedeuten:

- v Schwinggeschwindigkeit v_i im Freifeld
 L Lademenge per Zündzeitstufe (kg Sprengstoff)
 L_0 Bezugslademenge
 R Entfernung von der Sprengstelle
 R_0 Bezugsentfernung
 k Faktor
 b, m empirisch ermittelte Exponenten

Die Exponenten b und m sind aus einer großen Zahl von Schwinggeschwindigkeitsmessungen v_i im Freifeld in der Umgebung von unterschiedlichen Sprengungen an unterschiedlichen Orten durch eine Regressionsrechnung für Sedimente und kristalline Gesteine ermittelt.

Danach sind die Exponenten für sedimentäres Gestein in der allgemeinen Beziehung

$$b = 0,8; m = 1,27$$

Mit Hilfe der Exponenten kann der Faktor k , der als Erschütterungszahl I bezeichnet wird, bestimmt werden:

$$I_j = \log k_j = \log v_j - b \cdot \log L_j + m \cdot \log R_j$$

Für den gegenständlichen Gneis ist ein k - Wert von 235 ermittelt. Als Prognoseformel kann daher folgendes angewandt werden:

$$v_{\max} = k \cdot L^{0,8} \cdot R^{-1,27}; \quad k = 235 \text{ [mm/s]}$$

Somit gilt die Gleichung

$$v_{\max} = 235 \cdot L^{0,8} \cdot R^{-1,27} \text{ [mm/s]}$$

Aufgrund des Leitsprengbildes können anhand der örtlichen Situation Lademengen pro Zündzeitstufe eingesetzt werden, die die nachfolgenden Sprengstoffmengen nicht überschreiten sollen:

Kalotte	2,700 kg	bei	1,0 m
Kalotte	3,200 kg	bei	1,2 m
Kalotte	3,800 kg	bei	1,3 m
Kalotte	4,500 kg	bei	1,5 m

Tabelle 6: Maximale Lademengen pro Zündzeitstufe bei Abschlagslängen

Lademengen pro Zündzeitstufe

1,00 m Abschlagstiefe mit **1,6 kg/m³** Sprengstoff > 5 ZZstf = (2,65) = **2,7 kg**

1,20 m Abschlagstiefe mit **1,6 kg/m³** Sprengstoff > 5 ZZstf = (3,18) = **3,2 kg**

1,30 m Abschlagstiefe mit **1,5 kg/m³** Sprengstoff > 6 ZZstf = (3,87) = **3,8 kg**

1,50 m Abschlagstiefe mit **1,5 kg/m³** Sprengstoff > 6 ZZstf = (0,74) = **4,5 kg**

Die o.a. Lademengen von 2,7kg, 3,2kg, 3,8 und 4,5 Sprengstoff lassen nach der Prognoseformel folgende Schwinggeschwindigkeiten an Bauwerken im Umfeld des Tunnelvortriebes erwarten.:

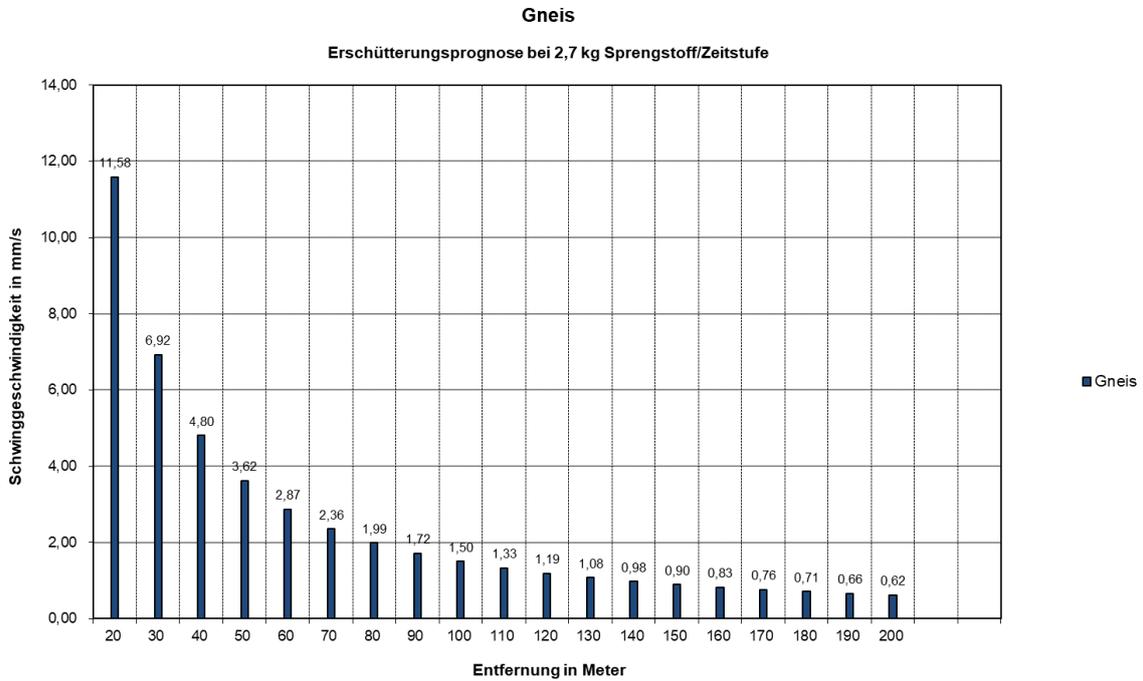
Kalotte		Kalotte		Kalotte		Kalotte	
2,7 kg		3,2 kg		3,8 kg		4,5 kg	
[m]	[mm/s]	[m]	[mm/s]	[m]	[mm/s]	[m]	[mm/s]
20	11,58	20	12,60	20	13,27	20	17,43
30	6,92	30	7,53	30	7,93	30	10,42
40	4,80	40	5,23	40	5,50	40	7,23
50	3,62	50	3,94	50	4,14	50	5,44
60	2,87	60	3,12	60	3,29	60	4,32
70	2,36	70	2,57	70	2,70	70	3,55
80	1,99	80	2,17	80	2,28	80	3,00
90	1,72	90	1,87	90	1,96	90	2,58
100	1,50	100	1,63	100	1,72	100	2,26
110	1,33	110	1,45	110	1,52	110	2,00
120	1,19	120	1,29	120	1,36	120	1,79
130	1,08	130	1,17	130	1,23	130	1,62
140	0,98	140	1,06	140	1,12	140	1,47
150	0,90	150	0,98	150	1,03	150	1,35
160	0,83	160	0,90	160	0,95	160	1,24
170	0,76	170	0,83	170	0,88	170	1,15
180	0,71	180	0,77	180	0,81	180	1,07
190	0,66	190	0,72	190	0,76	190	1,00
200	0,62	200	0,68	200	0,71	200	0,94

Tabelle 7: Prognose für Schwinggeschwindigkeiten von 50 m bis 200 m Abstand vom Sprengort

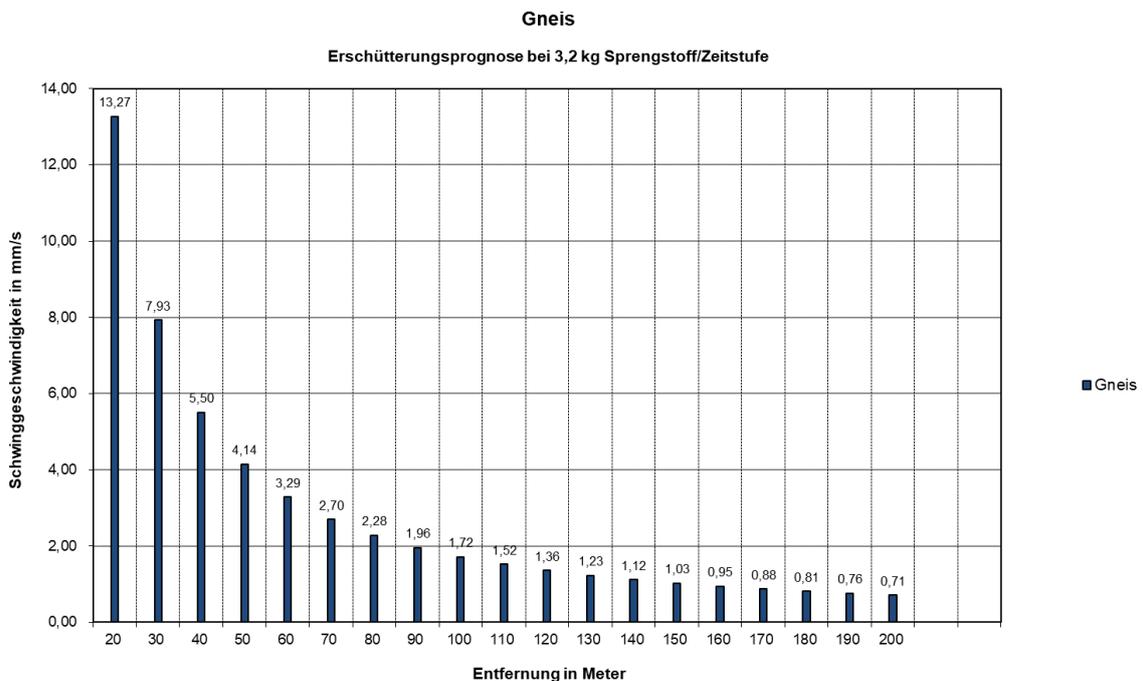
Die Werte sind als maximale Schwinggeschwindigkeiten anzusehen und dienen als Eckdaten zur Durchführung von Sprengarbeiten am Fahrradstollen Georgsberg. Die Prognoseermittlungen sind durch Erschütterungsmessungen zu überprüfen und zu bestätigen. Entfernen sich die Sprengarbeiten von den jeweiligen Einwirkungsbereichen z.B. von den Wohngebäuden im Fahrradstollen Georgsberg bzw. den Verkehrswegen oder verringert sich die Lademenge pro ZZstf., so ist mit geringeren Immissionen zu rechnen.

Zur Minimierung von Sprengerschütterungen muss darauf geachtet werden, dass vor Beginn der Sprengarbeiten an so zu planen ist, dass die Sprengparameter insbesondere im Einbruch so gewählt werden, dass ein leichtes Lösen des Gebirges gewährleistet wird. Dabei sind besonders erschütterungsarme Zündverfahren anzuwenden (elektrische, nicht elektrische oder elektronische Kurzzeitzündung).

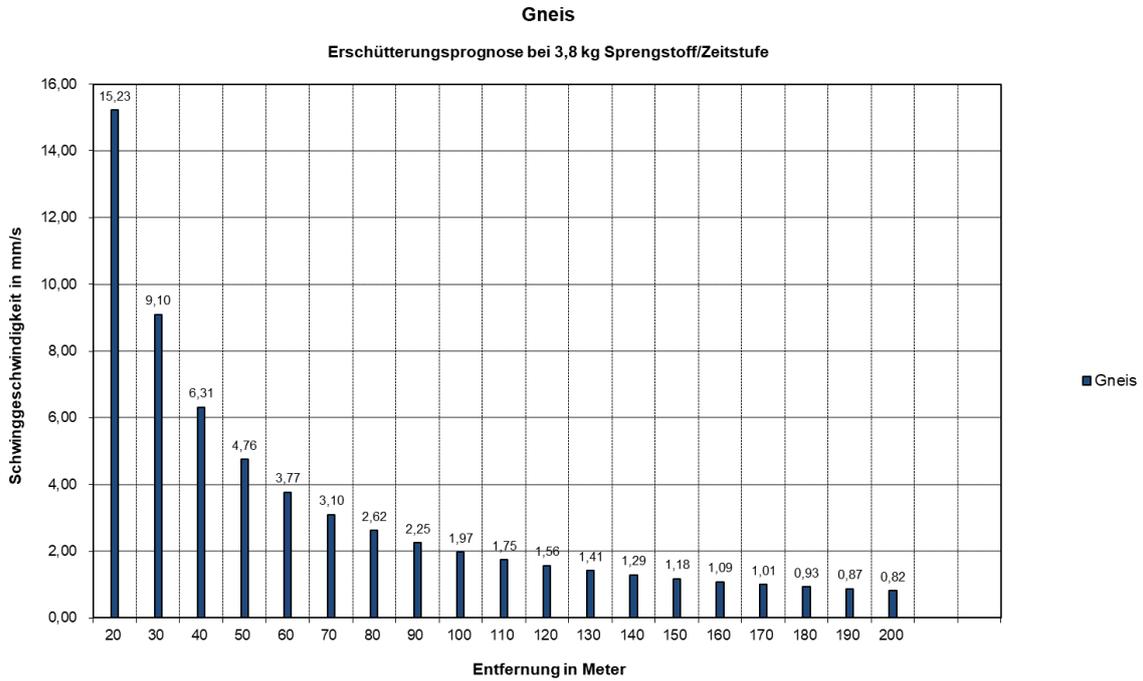
Die Werte für 2,7kg, 3,2kg, 3,8 und 4,5 Sprengstoff pro Zündzeitstufe bei einem Abstand der Gebäude zum Tunnelbauwerk ab 20 m sind in den Grafiken 2,3,4 und 5 dargestellt.



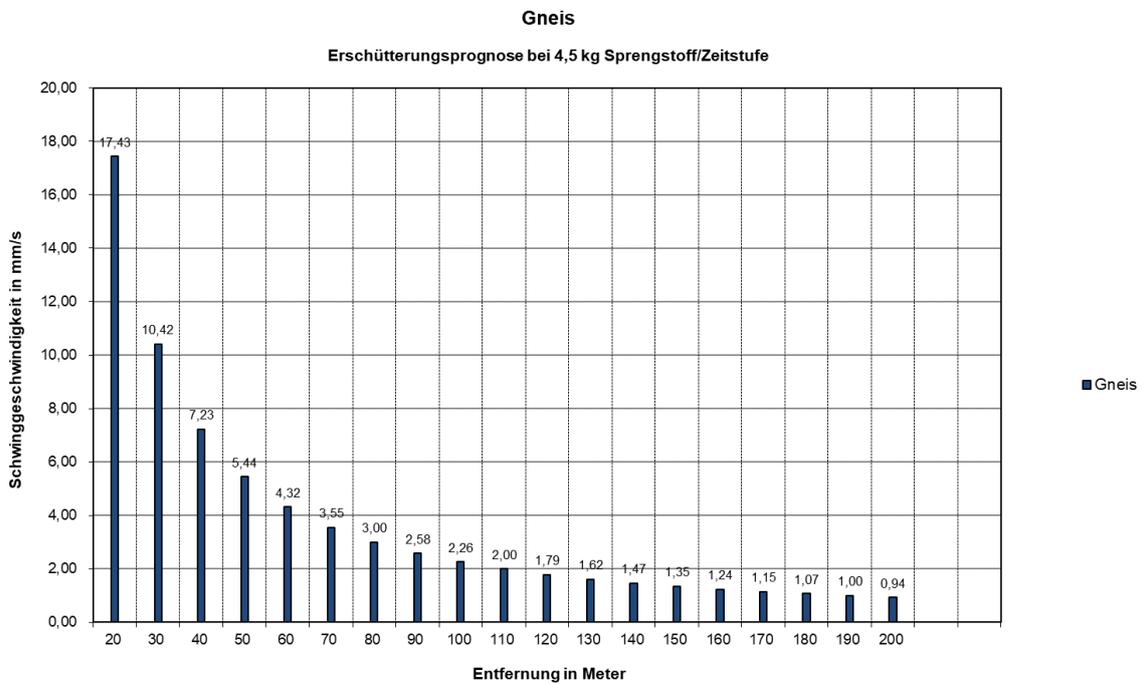
Grafik 2: Grafische Darstellung der erwarteten Erschütterungen bei 2,7 kg Sprengstoff



Grafik 3: Grafische Darstellung der erwarteten Erschütterungen bei 3,2 kg Sprengstoff



Grafik 4: Grafische Darstellung der erwarteten Erschütterungen bei 3,8 kg Sprengstoff



Grafik 5: Grafische Darstellung der erwarteten Erschütterungen bei 4,5 kg Sprengstoff

Die Übertragungseigenschaften des Gebirges zwischen Spreng - und Messort haben eine große Bedeutung für die Vorausermittlung der zu erwartenden Werte. Die Annahme, dass eine Radialsymmetrie vorliegt ist nur eine sehr grobe Näherung. Erschütterungsmessungen sind in jedem Falle notwendig, um das Erscheinungsbild der gemessenen Werte mit ihren Frequenzen zu betrachten und auszuwerten. An Hand dieser Erschütterungsmessungen können neue Erschütterungszahlen berechnet und zur Verbesserung der Prognose sowie zur Emissionskontrolle herangezogen werden.

Ist nachweislich durch begleitende Erschütterungsmessungen festgestellt, dass die Schwingungen die ermittelten Prognosewerte nicht erreichen, so kann die Lademenge pro Zündzeitstufe bei Bedarf erhöht werden. Hierbei sollte eine sachverständige Person hinzugezogen werden.

10.3 Beurteilung von Sprengerschütterungen auf die Umgebung

Die Stärke, bzw. die Größenordnung der auf ein Bauwerk einwirkenden Erschütterungen, bildet den wichtigsten Parameter für die in den Gebäuden ausgelösten dynamischen Spannungen. Letztere sind in der Lage Schäden an Bauwerken herbeizuführen. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, müssen in der Regel grundsätzlich drei Faktoren berücksichtigt werden:

- Die Intensität der Erschütterungen (Frequenzen, insbesondere unter 10 Hz, Schwingungstyp, Einwirkungsdauer u.a.)
- Die dynamischen Eigenschaften der Baumaterialien und der Baukonstruktion
- Die dynamischen Eigenschaften des bauwerknahe Untergrundes

Die auftretende Intensität der Erschütterungen wird maßgeblich bestimmt durch

- die Entfernung zur Erschütterungsquelle
- das Ausmaß der Erschütterung, z.B. die Größe der Sprengladung, Zündzeitstufe, Umsetzung des Sprengstoffes, Kranzbohrlöcher usw.
- die geologischen Eigenschaften des Untergrundes in Front des Ausbreitungsweges der Erschütterungswellen.

Für die Beurteilung sind die horizontalen Schwinggeschwindigkeiten in der obersten Deckenebene maßgebend. Es wird der größere Wert der beiden horizontalen Einzelkomponenten zugrunde gelegt. Bei Messungen an dieser Stelle werden in der Regel die maximalen horizontalen Schwingungsantworten des Bauwerks auf die Anregung im Fundamentbereich ermittelt. Alternativ zu einer direkten Messung in der obersten Deckenebene kann für die Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungen auch am Gebäudefundament gemessen werden. Für diese Beurteilung wird der größte Wert $v_{i,max}$ der drei Einzelkomponenten $i = x, y, z$ der Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ am Fundament herangezogen.

Die Schwingungsanfälligkeit von Gebäuden, d.h. deren Fähigkeit dynamische Spannungen aufzunehmen, wird durch eine Zuordnung in Gebäudeklassen festgelegt. Die dort aufgeführten Richtwerte (Betragsmaximalwert) der zulässigen Schwinggeschwindigkeiten lassen nicht erwarten, dass bis zu deren Erreichen schädliche dynamische Spannungen auftreten. Die Grundlage dazu sind zahlreiche wissenschaftliche und praktische Untersuchungen und

Feldversuche, die über einen langen Zeitraum durchgeführt wurden. Die in der nachfolgenden DIN - Tabelle angegebenen Richtwerte sind so niedrig angesetzt worden, dass ein Schadensrisiko für Bauwerke vernachlässigbar klein wird. In der u.a. Tabelle 7 sind die Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude dargestellt.

Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude						
Spalte Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ in mm/s				
		Fundament, alle Richtungen, i = x, y, z Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal, i = x, y	Decken vertikal, i = z
		1Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz ^a	alle Frequenzen	alle Frequenzen
	1	2	3	4	5	6
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 u. 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8	20 ^b
ANMERKUNG: Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalten 2 bis 5 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.						
^a Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.						
^b Unterabschnitt 5.1.2 Absatz 2 ist zu beachten.						

DIN 4150-03, Dezember 2016

Tabelle 8: Anhaltswerte kurzzeitige Erschütterungen nach DIN 4150-3,12/2016

Schwinggeschwindigkeiten innerhalb dieser Richtwerte sind nach der DIN 4150, Teil 3 als zulässig zu beurteilen. Dabei ist weitergehend festzustellen, ob die Werte Wohngebäuden und ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartigen Bauten entsprechen, oder ob die Werte für Bauten, die besonders erschütterungsempfindlich sind, angewandt werden müssen. Der Fahrradstollen Georgsberg, und die Verkehrswege werden in die Zeile 1 Industriebauwerke eingeordnet. Die Gebäude im Ortsteil des Fahrradstollens Georgsberg, werden in die Zeile 2 und 3 eingeordnet.

10.4 KB Wert DIN 4150, Teil 2

In Räumen, die für den dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, haben "spürbare" Erschütterungen eine unerwünschte Eigenschaft. Die Wirkungen der Erschütterungen bei Menschen verursachen, sind nicht nur von der Stärke der Schwingungen, sondern auch von anderen augenblicklichen Einwirkungen abhängig wie z.B. Lärm, sichtbare Bewegungen, hörbarem Klappern von Gegenständen, vibrieren von Fenstern und Türen u.v.m. Diese können

durch unterschiedliche Erzeugerquellen auftreten wie z.B. durch Verkehr und Maschinen aber auch durch Sprengarbeiten. (H)

Aus einer festgestellten Schwingungsgröße und der begleitenden Frequenz, wird eine in Gebäuden gültige bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke KB bestimmt. Dieser KB -Wert wird mit den KB -Anhaltswerten (A_o) verglichen, die nach den Einwirkungsorten entsprechend der baulichen Nutzung und ihrer Umgebung, der Dauer und Häufigkeit der Einwirkung sowie nach der Tageszeit des Auftretens unterteilt sind. Für die KB_{Fmax} Abschätzung und den Vergleich mit den A_o Werten der u.a. Tabelle 8, sind die voraussichtlichen ankommenden Erschütterungen mit begleitenden Frequenzen > 10 Hz der Prognose, als Grundlage für die Berechnung nach DIN 4150 Teil 2, herangezogen worden.

Bei Einhaltung der in u.a. Tabelle festgelegten Anhaltswerte kann davon ausgegangen werden, dass allgemein erhebliche Belästigungen in Gebäuden vermieden werden. Nach der in der DIN 4150, Teil 2 aufgeführten Bezeichnung "selten auftretende Erschütterungen" verstehen sich nach den Regeln der Technik wenige, kurzzeitig einwirkende Ereignisse, wie z.B. durch bis zu drei Sprengungen je Tag, wenn der Anhaltswert gleich oder geringer nach u.a. Tabelle ist.

10.5 Ermittlung des KB Wertes

Nachfolgend wird die Ermittlung des KB_{Fmax} -Wertes dargestellt:

Der KB -Wert errechnet sich nach der Formel

$$KB = \frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot \frac{v_{max}}{\sqrt{1 + (f_o/f)^2}}$$

$$KB_{Fmax} = KB \cdot cF; \quad cF = \text{Art der Resonanzbeteiligung (ohne)} = 0,6$$

für einen Prognosewert von 5,3 mm/s (Seite 34, Tab. 7) und einer angenommenen Frequenz von 15 Hz, ergibt sich ein Maximalwert von

angenommener Wert:	Frequenz $f =$	15	[Hz]
Prognosewert:	$v_{max} =$	5,5	[mm/s]
berechneter Wert:	$KB_{ist} =$	3,64	dimensionslos
berechneter Wert:	$KB_{Fmax} =$	2,19	ohne Resonanzbeteiligung cF 0,6
Anhaltswert:	$KB_{Fmax, zulässig} =$	3	DIN 4150-02, Tabelle 1, Seite 6

Tabelle 9: KB_{Fmax} - Wert nach DIN 4150-02

$$KB_{Fmax} = \mathbf{2,08} \text{ (dimensionslos)}$$

Der *KB* - Wert liegt unter der zulässigen Größe für Sprengungen bei Tageszeit nach der Tabelle 8 „*KB* - Anhaltswerte“. Der ermittelte Wert muss durch Erschütterungsmessungen bestätigt und berechnet werden.

Anhaltswert *Ao* für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts u. Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiet § 9 BauNOV)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Tabelle 10: Anhaltswerte *KB*-Wert nach DIN 4150-02

Wenn die Sprengungen werktags mit Vorwarnung in den Zeiten von 7.00 bis 13.00 Uhr oder von 15.00 bis 19.00 Uhr erfolgen, gelten in Gebieten nach o.a. Tabelle, die Zeilen 3 und 4, aber auch die *Ao* - Werte nach Zeile 1, wenn nur ein Ereignis pro Tag stattfindet. In wenigen Fällen pro Jahr dürfen die *KB_{Fmax}* - Werte bis zu 8 betragen (IX).

Der für die Abschätzung angenommene Rechenwert ist das Ergebnis langjährig durchgeführter Messungen und deren Auswertungen auf dem Gebiet der subjektiven Einschätzungen von Erschütterungen auf den Menschen.

10.5 Subjektive Einschätzung von Anrainern

Die Einführung eines Rechenwertes ist eine zusätzliche mögliche Vergleichbarkeit, Bezugsmöglichkeit sowie eine objektive Beurteilung bei z.B. gerichtlichen Auseinandersetzungen. Es ist dabei jedoch davon auszugehen, dass Erschütterungen von Menschen, insbesondere wenn sie plötzlich und unvorbereitet einwirken, besonders registriert werden, da der menschliche Körper dafür ein ausgeprägtes Warnsystem besitzt. In den überwiegenden Fällen entsteht kein Schaden am Gebäude, obwohl der betroffene Mensch die Einwirkung eines Sprengereignisses und damit einhergehend die Erschütterung, als "unerträglich" verspürt.

Sprengerschütterungen werden daher, mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Grund des plötzlichen Impulses, von Menschen in den meisten Fällen abgelehnt und als belästigend empfunden. Gleichgroße oder größere Schwingungen die von anderen Erschütterungsquellen wie z.B.

dem Straßenverkehr ausgehen, werden nicht so stark empfunden. Die scheinbar logische, aber meist irriige Schlussfolgerung ist dann jene, dass am Gebäude ein Schaden entstanden sein muss.

Es muss jedoch dabei darauf hingewiesen werden, dass die normale Nutzung von Wohngebäuden durch Gehen, Türen schlagen, Treppensteigen, Waschmaschinenlauf u. dgl. Erschütterungsstärken von bis zu 5 mm/s, das Einschlagen eines Nagels oder das Bohren eines Dübelloches bis zu 20 mm/s und eine tanzende Gruppe auf einer Deckenebene noch viel höhere Werte erzeugen können.

Kirchenglocken erzeugen beim Läuten in einem Turm Schwinggeschwindigkeiten von bis zu 20 mm/s - in etwa die gleich hohe Erschütterung wie Straßenfahrzeuge und Straßenbahnen auf Brücken oder schlechten, unregelmäßigen Fahrbahndecken.

Erschwert wird die Zusammenarbeit mit den Anrainern und Betroffenen durch die Tatsache, dass bereits ein Erschütterungswert von 0,1 mm/s als unangenehm empfunden wird. Es wird daher zum allgemeinen Verständnis beitragen, wenn die Anrainer bei einer Neuauffahrung eines Vortriebes von dem geplanten Vorhaben in Kenntnis gesetzt werden.

Belästigungen von Menschen in Gebäuden durch Erschütterungen im Umfeld von untertägigen Sprengarbeiten können in erheblichem Maß durch

- Einbeziehen in die Sachlage
- Informationen an die Anwohner
- fachliche Erläuterungen und Aufklärung der Anwohner
- Erschütterungsmessungen in Beschwerdeführenden Bereichen
- Zeitabsprache bei den Sprengungen (wenn möglich)
- Erläuterung der Signalgebung
- Einladung zur Betriebsbesichtigung ggfls. einer Sprengung
- schnelles Reagieren bei Beschwerden

abgebaut werden.

Mit dieser praxisbezogenen Vorgehensweise hat man nach den Erfahrungen des Unterfertigten mehr Erfolg, als mit der Erklärung von eingehaltenen Kennwerten, die der Außenstehende ohnehin kaum nachvollziehen oder verstehen kann.

10.6 Beurteilung von Sprengerschütterungen auf das Tunnelbauwerk

Es kann davon ausgegangen werden, dass für Ingenieurbauwerke in massiver Bauweise (z. B. Stahlbetonbauteile für Widerlager, Blockfundamente) ein Anhaltswert von 80 mm/s gilt, sofern keine Gefahren aus bodenmechanischen Vorgängen entstehen können. Weiterhin ist für die Beurteilung von Auskleidungen von Tunneln, Tunnel und Kavernen im Festgestein die angegebenen Anhaltswerte der u.a. Tabelle 10 maßgeblich.

Allerdings ist Voraussetzung für die Anwendung dieser Anhaltswerte, ein Zustand der Auskleidung entsprechend dem Stand der Technik, andernfalls sind die Anhaltswerte dementsprechend zu verringern.

Die in der Tabelle 10 angegebenen Werte sind für den Ferdinand-Wagner Straßentunnel zu beachten.

Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf die Auskleidung von unterirdischen Hohlräumen		
Zeile	Baustoffe der Auskleidung	Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ in mm/s rechtwinklig zur Auskleidungsfläche
1	Stahl- und Spritzbeton, Tübbinge	80
2	Beton, Naturstein	60
3	Mauerwerk	40

ANMERKUNG: Die genannten Anhaltswerte wurden bei Sprengungen im Nahbereich ermittelt und gelten für die Auskleidung unterirdischer Bauwerke. Sie gelten jedoch nicht für deren Einbau-

Tabelle 11: Anhaltswerte kurzzeitige Erschütterungen nach DIN 4150-3,12/2016

11.0 Beurteilung der Schallimmission

Schallimmissionen gehören zu den unumgänglichen Begleiterscheinungen von Sprengarbeiten. Bei Sprengungen werden Erschütterungen, aber auch Schall weitergeleitet, der sich allseitig ausbreitet und erst mit wachsender Entfernung von der Erschütterungsquelle allmählich abklingt. Neben dem unvermeidlichen Bodenschall ist auch Luftschall vorhanden, dem besondere Aufmerksamkeit zu-zuordnen ist. Bis in eine gewisse Entfernung vom Sprengort (in Abhängigkeit von Lademengen und Umwelteinflüssen) ist Luftschall für den Menschen deutlich spürbar (Abb. 8).

Mit diesem Hintergrund wird erkennbar, dass neben den Sprengerschütterungen mit den Anhaltswerten der (Betragsmaximalwert) Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ nach DIN 4150, noch andere Kriterien zu beachten sind, die einen nicht unerheblichen Einfluss neben den Erschütterungseinwirkungen haben können. In seinem Wohnbereich ist das Alltagsleben des Menschen dadurch charakterisiert, dass keine ständig wahrnehmbaren Erschütterungsimmissionen auf ihn einwirken, sondern nur einzelne Ereignisse, die vorwiegend von anderen Hausbewohnern, einschließlich der Nachbarn hervorgerufen werden.

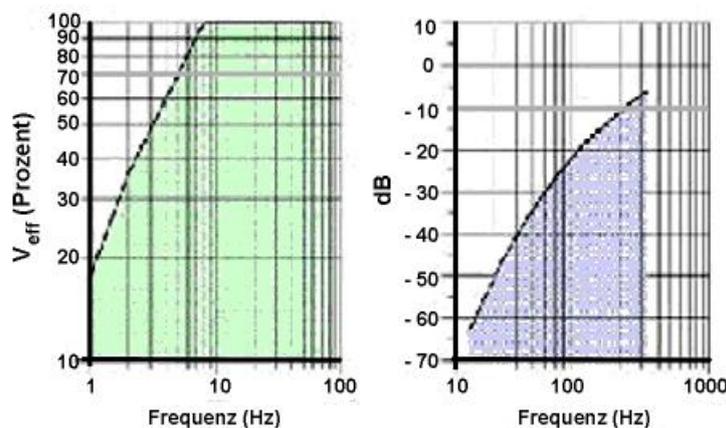


Abb. 8: Fühlschwelle Erschütterung links und Schalldruck rechts (e,f)

Abgestrahlte Körperschallimmissionen werden hörbar, sobald sie den Grundgeräuschpegel überschreiten. Dieser ist in Wohngebieten verhältnismäßig niedrig anzusetzen und in einer TA Lärm (XIV) festgelegt. Da der Mensch Erschütterungen und sekundären Luftschall somit in unterschiedlicher Weise wahrnimmt, sind auch unterschiedliche Bewertungsverfahren notwendig. Bei größeren Abständen kommen Schallwellen erst im Sekundenbereich nach den Bodenwellen an. Die Ausbreitung der Schallwellen steht dabei in Abhängigkeit von Zeitverlauf und der Detonationssequenz einer Sprengung. Auf Grund dieses Einflusses werden Sprengungen, auch über größere Entfernungen von Personen oftmals als „stark“ empfunden, obwohl die vorangegangene seismische Einwirkung kaum wahrgenommen (gespürt) wurde, bzw. keine ablehnende Reaktion darauf erfolgte.

Für den Menschen ist die Fühlbarkeitsschwelle einer Sprengung innerhalb eines Gebäudes oft erheblich niedriger, als außerhalb. Der Unterschied liegt vermutlich darin, dass der Schall innerhalb eines Bauwerks vom Bauwerk selbst erzeugt wird. Daneben lässt ein allgemein niedriges Akzeptanzniveau gegenüber Sprengarbeiten sofort eine erhebliche Erschütte-

rungsmission vermuten, die ein betroffenes Bauwerk beschädigen könnte (f, i, j). Neben dem Schalldruck in dB(A) oder dB(C) kann linearer Schalldruck in dB(L) anliegen (Abb. 9). Die dominanten Frequenzen liegen bei dieser Art von Schalldruck bei ca. 1-10 Hz, wobei Frequenzüberlagerungen mit Spitzen von ca. 10 Hz bis 15 Hz festgestellt werden können.

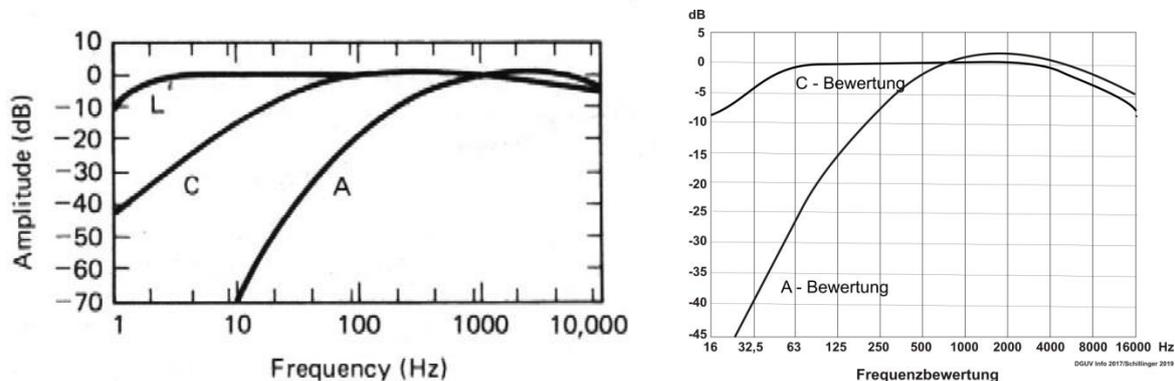


Abb. 9: Unterschiedliche Filter dB(A), dB(C), dB(L)

In diesen Fall muss im niederfrequenten Bereich linear von 1 Hz bis 16 Hz, gemessen werden. Dieser Luftschalldruck der sich im niederfrequenten Bereich bewegt und somit als Geräusch nur schwer oder gar nicht identifizierbar ist, muss bei Sprengungen, durch geeignete Maßnahmen am Ort der Emission, höchstmöglich vermieden werden. Unabhängig von den Immissionsrichtwerten für seltene Ereignisse für den Beurteilungspegel an Immissionsorten innerhalb bzw. außerhalb von Gebäuden in Wohngebieten in dB(A), ist folgendes zu beachten: Für den Arbeitsschutz (VIII) wie auch Anrainerschutz (XIV) gelten die Auslösewerte L (Linear) in Bezug auf den Spitzenschalldruckpegel* betragen:

obere Auslösewerte $L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$ bzw. $L_{pC,peak} = 137 \text{ dB(C)}$

untere Auslösewerte $L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$ bzw. $L_{pC,peak} = 135 \text{ dB(C)}$.

79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	$L_{EX,8h}$ in dB(A)
134	135	136			137	138	139	140	141	142	143		$L_{pC,peak}$ in dB(C)

Tabelle 11: $L_{pC,peak}$ in dB(C) Spitzenschalldruckpegel im Vergleich zu $L_{EX,8h}$ in dB(A)

Normalerweise werden die o.a. Maximalwerte nicht erreicht. Aus umweltrelevanten Gründen sollten jedoch von Fall zu Fall begleitende Schalldruckmessungen dahingehend durchgeführt werden, um die Schallimmission zu überprüfen und dahingehend zu bestätigen.

*Anmerkung: Der obere Auslösewert von 85 dB(A) ist epidemiologisch abgeleitet worden, d.h. er gilt unter der Voraussetzung, dass zur Gehörerholung eine lärmfreie Zeit von mindestens zehn Stunden zwischen den Arbeitsschichten mit einem Schalldruckpegel nicht größer als 70 dB(A) eingehalten wird.

12.0 Empfehlungen und Schlussfolgerungen

1. Um die, in diesem Gutachten abgeschätzten Annäherungswerte der Immissionen einhalten zu können wird dringend empfohlen, dass von Fall zu Fall (wie z.B. bei einer evtl. Änderung der Sprengparameter), eine Vorabschätzung der zu erwartenden Erschütterungen durchgeführt wird. Die Lademengen pro Zündzeitstufe sind danach abzustimmen.
2. Hinsichtlich der Vorgehensweisen am Fahrradtunnel Georgsberg ist davon auszugehen, dass die in Tabelle 10, Zeile 2, dargestellten Werte und Hinweise berücksichtigt werden. Von Fall zu Fall durchzuführende Erschütterungsmessungen haben immer im direkten, unmittelbaren Abstand zur Sprengstelle zu erfolgen. Der jeweilige Abstand zur Sprengstelle ist in den Messberichten zu dokumentieren. Unter Berücksichtigung der theoretisch eingesetzten Lademenge von max. 2,7 bis 4,5 kg Sprengstoff pro Zündzeitstufe müssen die Anhaltswerte aus den Tabellen 8 (S. 38,39), 9 und 10 (S. 40) dieses Gutachtens, eingehalten werden.
3. Subjektive Belästigungen von Menschen in Gebäuden sind bei den Sprengarbeiten während des Vortriebes am Tage nicht gegeben, da die $KB_{F_{max}}$ -Werte der "Bauwerksbezogenen Wahrnehmungsstärke" nach DIN 4150, Teil 2, eingehalten werden (Prognose: $KB_{F_{max}} 2,1$). Durch Erschütterungsmessungen ist zu bestätigen, dass der $KB_{F_{max}}$ Wert den in der Tabelle 9 ausgewiesenen KB -Anhaltswerten (A_o), der o.a. Beschreibung entspricht. Bei deren Einhaltung wird bei den Sprengarbeiten im Tunnelvortrieb nicht mit erheblichen subjektiven Belästigungen durch kurzzeitige Erschütterungen zu rechnen sein.
4. Vor Beginn der Erschütterungsmessungen ist an den Bauwerken in der Umgebung eine Beweissicherung durchzuführen. In einer vorausgehenden Planung ist davon auszugehen, dass Gebäude im Einwirkungsbereich von erwarteten Erschütterungsimmissionen ausgewählt werden. Hier sind insbesondere jene Gebäude betroffen, die nach der DIN 4150-03, nach Zeile 2 oder 3 zu beurteilen sind (S.38, Tab. 8 Zeile 2 und 3). Die Gebäude werden besichtigt, wobei eine genaue Aufnahme evtl. bereits vorhandener Schäden (leichte und schwerere) erfolgt. Zur Aufnahme wird ein genaues Protokoll erstellt, welches vom betroffenen Anrainer mitunterzeichnet wird. Da die Größenordnungen von Rissbildungen nach allgemeinen Erkenntnissen stark temperaturabhängig sind (Hitze, Kälte), wird eine evtl. Schadensbeurteilung erst in einem Zeitfenster durchgeführt, welches den Verhältnissen der Beweisaufnahmen entspricht (Frühling, Sommer, Herbst, Winter). Eine Besichtigung kann auf Wunsch von Betroffenen vorher stattfinden, eine definitive Schadensbeurteilung findet aber erst nach o.a. Kriterien statt.
5. Zur Veste Oberhaus ist zu bemerken, dass nicht zu erwarten ist, dass das Bauwerk von der Tunnelbau-Maßnahme Georgsberg betroffen sein wird, da sich das Südportal in ca. 62m und das Nordportal in ca. 68m Abstand vom betroffenen Bauwerk befinden. Die kürzeste Entfernung zwischen Tunnel und Veste beträgt dabei ca.46m. Es müssen jedoch bei Beginn der Sprengarbeiten Erschütterungsmessungen durchgeführt werden, die eine klare Aussage über die Immissionseinwirkungen zulassen. Sollten bei den Sprengungen

in der Annäherung an das Bauwerk, 80% der Anhaltswerte der DIN 4150-03 erreicht werden, so müssen die Sprengparameter abgeändert werden. Zur weiteren Vorgehensweise bei den Änderungen sollte eine sachverständige Person hinzugezogen werden.

6. Schädliche Schallimmissionen im Fahrradtunnel Georgsberg, sind nach den bisherigen Erkenntnissen nicht zu erwarten. Hierzu ist jedoch zu bemerken, dass sich in der Praxis der Schall nicht homogen ausbreitet. Daher müssen für die Analyse der Luftschallübertragung noch andere Effekte, wie Brechung, Reflektion und Absorption berücksichtigt werden. Bei größeren Entfernungen muss insbesondere die Schallbrechung berücksichtigt werden, deren Ursachen Schwankungen der Lufttemperatur und der Windgeschwindigkeit sind. Es ist zu empfehlen, dass von Fall zu Fall zu den Vortriebssprengungen, insbesondere bei feuchtem Wetter oder starkem Wind in Richtung Fahrradtunnel Georgsberg,, begleitende Schallmessungen (in $L_{pC,peak}$ dB(C)) durchgeführt werden.
7. Auf Grund der Vortriebsführung, der geplanten Sprengtechnik und den örtlichen Gegebenheiten im direkten Umkreis der Auffahrung des Tunnels, ist der Sprengbereich in Richtung zu öffentlichen Verkehrswegen, entsprechend den Richtlinien der Technischen Regel Sprengarbeiten, TR 310, zu beachten. Dieser Gefährdungsbereich begründet sich dadurch, dass die Auswurfriechung zur nahegelegenen B12 hin bzw. St388 und zur Ilzbrücke, wie auch zur Prinzregent Luitpold Brücke, ausgerichtet sein kann.
8. Der Fahrradtunnel Georgsberg, und der ausgewiesene Gefährdungsbereich sind mit Hinweistafeln mit den entsprechenden Erläuterungen und Sicherheitshinweisen zu versehen. Im Tunnelbereich müssen vor den Sprengarbeiten der Gefährdungsbereich und die Zugangswege zum Tunnel, durch eingewiesenes Personal kontrolliert und abgesichert werden. Das Personal steht untereinander entweder über den betriebsinternen Funk oder durch Sichtverbindung, in Kontakt. Die unter Pkt. 9.17 (S. 29) dieses Gutachtens dargestellten Sicherungsmaßnahmen zum Schutz der Umgebung sind einzuhalten. Unmittelbar vor der Sprengung werden Sprengsignale gemäß den einschlägigen Vorschriften abgegeben. Evtl. notwendig werdende kurze Sperrungen von Straßen und Wegen, sind mit den zuständigen Behörden abzusprechen und zu dementsprechend durchzuführen.
9. Der in der Technischen Regel Sprengarbeiten, TR 310, angesprochene Sprengbereich umfasst in der Regel einen Umkreis von 300 m. Abweichend dazu darf der Sprengberechtigte im Einvernehmen mit dem Unternehmer den Sprengbereich verkleinern, wenn sichergestellt ist, dass Personen oder Sachen nicht gefährdet werden. Eine zulässige Verkleinerung des Sprengbereiches kann vorgenommen werden, wenn durch besondere Maßnahmen, wie sie in diesem Gutachten dargestellt wurden, eine Streuwirkung durch Steinflug oder sonstige gefährliche Einwirkungen ausgeschlossen werden kann.
10. Eventuell können die Sprengungen im Vortrieb des Fahrradtunnels Georgsberg, aufgrund von z.Z. nicht vorhersehbaren Situationen im Vortrieb, nicht immer zu festen Sprengzeiten durchgeführt werden. Es kann daher zu unterschiedlichen Sprengzeiten im Vortrieb kommen. An Hand der örtlichen Situation dürfen die Sprengungen nur dann ausgeführt werden,

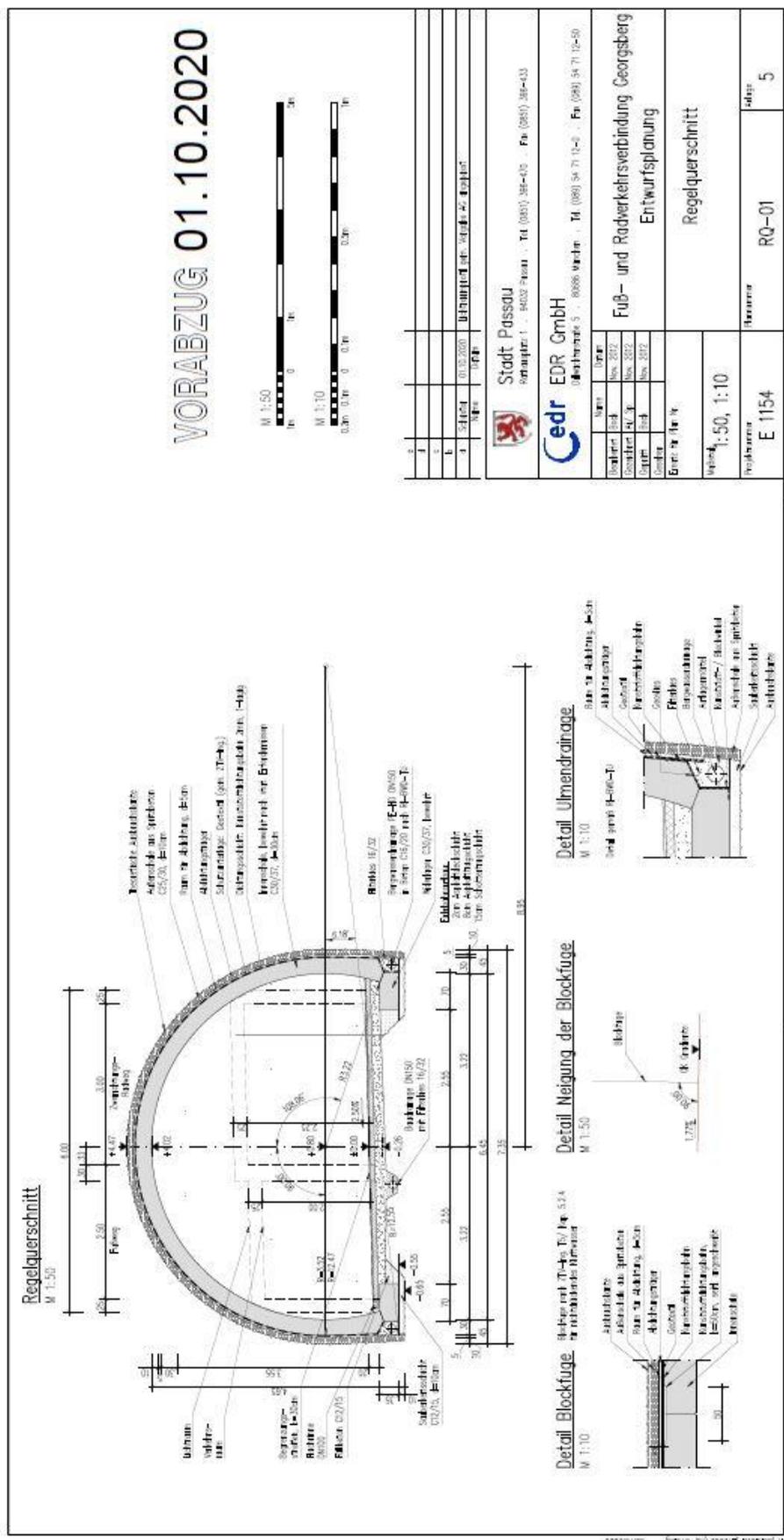
wenn alle Sicherheitsmaßnahmen ergriffen und die Betriebsangehörigen sowie die sonstigen Personen an der Baustelle, vorher informiert wurden.

11. Eine Analyse zu evtl. auftretenden Gefährdungen ist obligatorisch und wird vor den Sprengungen durchgeführt und dokumentiert.
12. Die Bohr- und Sprengtechnologie kann weiter angepasst werden, indem die Parameter während der Abschlüge kontrolliert und optimiert werden. Als ein wichtiger Faktor und maßgeblich für den Erfolg der Abschlüge, ist der Einbruch zu betrachten. Die Parameter des Einbruchs sind zu dokumentieren und im Zweifelsfall unter Hinzuziehung einer sachverständigen Person festzulegen.
13. Zur weiteren Kontrolle der getroffenen Empfehlungen sind bei den Sprengarbeiten im Fahrradstollen Georgsberg, Erschütterungsmessungen - auch am Tunnelbauwerk selbst - unumgänglich. Diese dienen nicht nur zur Beweissicherung sondern auch zur Bestätigung der getroffenen Erschütterungsprognose. Verbessern sich die Erschütterungswerte durch eine Optimierung der Bohr - u. Sprengparameter und vermindert sich dadurch die Schwinggeschwindigkeit (Betrag maximalwert) auf ein niedrigeres Niveau, so kann o.a. Lademengen-Abstandsverhältnis entsprechend diesen Bedingungen korrigiert werden, d.h. die Lademenge per Zündzeitstufe kann bei Bedarf erhöht werden. Eine sachverständige Person sollte dabei hinzugezogen werden.
14. Die gutachterlichen Aussagen sind auf die zukünftigen Vortriebssprengungen mit den ermittelten maximalen Lademengen, also auf die ungünstigsten Werte der zu erwartenden Immissionen aufgebaut. Sollten sich durch messtechnische Überwachung oder auf Grund abgeänderter Bohr - und Sprengparameter abweichende Werte ergeben, die nicht mit den Erkenntnissen aus dem vorliegenden Gutachten übereinstimmen, so ist eine sachverständige Person hinzuzuziehen.
15. Die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Gutachten ergeben, dass bei Einhaltung der dargelegten Erkenntnisse, keine Abweichungen zu den Schutzziele der gegebenen Vorschriften erkennbar sind. Werden die Vortriebssprengungen den Unterlagen sowie den beschriebenen Technologien entsprechend durchgeführt, so werden die Anhaltswerte (Betrag maximalwert) der DIN 4150 eingehalten. Dadurch ist nach umweltrelevanten Erkenntnissen, eine erhebliche Belästigung des Umfeldes durch den Tunnelvortrieb nicht gegeben. Die genannten Immissionen sind unter Beachtung der gesetzlichen und normativen Vorgaben sowie der sprengtechnischen Vorgaben begrenzt.

13.0 Anlagen

	Seite
Tunnel Querschnitt	49
Tunnel Längsschnitt	50

Tunnel Querschnitt



Tunnel Längsschnitt

