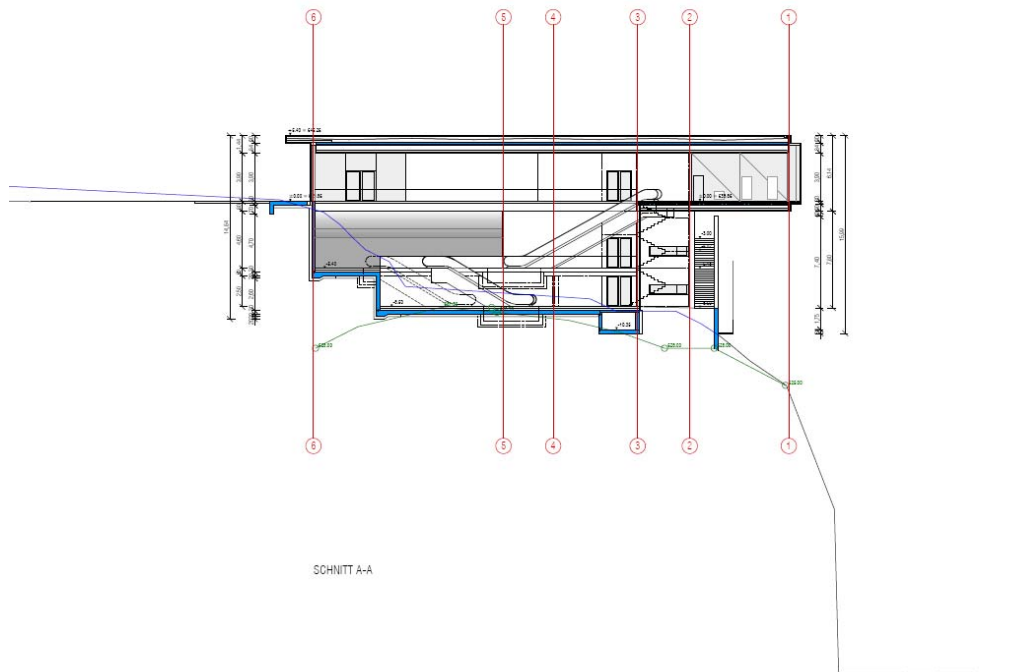


Brenner Basistunnel BBT SE
Grabenweg 3, Innsbruck



Museum Bergisel, Innsbruck

Untersuchung Erschütterungen und sekundärer Luftschall

Prognoseberechnungen

Beurteilung

Massnahmen-Vorschlag

Zürich, 26. März 2009

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	1
2.1 Allgemeine Grundlagen	1
2.2 Grenzwerte für die Beurteilung	2
2.3 Methodik/Vorgehen	2
3 Istzustand	3
4 Projektwirkungen	4
4.1 Bauphase	4
4.2 Betriebsphase	5
4.2.1 Prognoseresultate	5
4.2.2 Beurteilung der Einwirkungen auf Personen	6
5 Schutzmaßnahmen	6
6 Zusammenfassung	7

1 Einleitung

Bei Vorbeifahrten von Schienenverkehr werden Schwingungen erzeugt, die über den Oberbau in den Untergrund abgeleitet werden. Bei der Ausbreitung im Boden kann grundsätzlich zwischen unterirdischen Kompressions- und Scherwellen sowie oberflächennahen Rayleigh-Wellen unterschieden werden. Die Ausbreitungsdämpfung ist im Fels geringer als im Lockergestein, höherfrequente Schwingungsanteile werden stärker gedämpft als tieffrequente. Bei der Übertragung vom Boden auf ein Fundament und bei der weiteren Ausbreitung im Gebäude werden die Schwingungen je nach Baugrund und Bauweise gedämpft oder verstärkt.

Erregung und Ausbreitung von Schwingungen aus dem Bau- und Bahnbetrieb hängen von den folgenden Faktoren ab:

- Baumethode und Art des Baugeräts (Bau)
- Dynamische Kräfte zwischen Rad und Schiene, Art des Oberbaus (Betrieb)
- Eigenschaften des Erdbodens
- Abstand zwischen Erregungsort und Gebäude
- Übertragungsbedingungen Erdboden-Fundament-Gebäudewand
- Schwingverhalten der Geschossdecke

Stärkere Schwingungen können von Menschen in Gebäuden als **spürbare** Erschütterungen wahrgenommen werden. Sie können aber auch von schwingenden Gebäudeteilen, insbesondere von Geschossdecken, in den Raum abgestrahlt und als so genannter Körperschall **hörbar** werden. Der maßgebende Frequenzbereich bei den Erschütterungen geht von ca. 1 Hz bis 80 Hz, beim Körperschall von ca. 25 Hz bis 250 Hz.

In der vorliegenden Untersuchung werden die durch den Ausbau der Brennerlinie in der Sillschlucht verursachten Auswirkungen bezüglich Erschütterungen und sekundärem Luftschall berechnet und beurteilt. Falls Schutzmassnahmen erforderlich sind, werden diese dargestellt.

2 Grundlagen

2.1 Allgemeine Grundlagen

- ÖNORM S 9012, "Beurteilung der Einwirkungen von Schienenverkehrsimmissionen auf Menschen in Gebäuden; Schwingungen und sekundärer Luftschall" (Betriebsphase)
- ÖNORM S 9020, "Bauwerkserschütterungen - Sprengerschütterungen und vergleichbare impulsförmige Immissionen" (Bauphase)
- RVE 04.02.02, "Prognose von Erschütterungen und Sekundärschall", Entwurf Stand Juli 2007

- RVE 04.02.03, „Maßnahmen zur Reduktion von Erschütterungen und Sekundärschall“, Entwurf Stand Juli 2007
- Said, A.; Grütz, H.-P.; Garburg, R.: „Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr“. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 53 (2006) Nr. 1 – Januar
- Schienenverkehrszahlen der ÖBB
- Messbericht zur Ist-Zustandsanalyse BBT SE: D0118- 00215
- Lageplan und Schnitte Museum Bergisel vom Dez. 2007
- Lageplan und Schnitte Neubaustrecke BBT SE: D0118-04830, D0118-04848, D0118-04895, D0118-00288

2.2 Grenzwerte für die Beurteilung

Für die Bewertung der Betriebsphase wird für den Schutz des Menschen die ÖNORM S 9012 jedoch ohne Kapitel 6 und 7 herangezogen. Für die Beurteilung gelten spezielle Grenzwerte, die im Rahmen der Projektentwicklung festgelegt wurden und von denen nicht abgewichen werden darf.

Die ÖNORM S 9012 gilt speziell für Schienenverkehrsimmissionen. Der Zugverkehr wird in Zuggruppen unterteilt (Schnellzüge, Regionalzüge, Güterzüge, Dienstzüge).

Erschütterungen: Für jede der Zuggruppen wird ein „mittlerer Maximalwert“ $K_{B,S}$ errechnet. Hierfür wird für jeden Zug der maximale K_B Wert der Vorbeifahrt genommen und – mit den Sekunden der Vorbeifahrdauer gewichtet – ein quadratischer (energetischer) Mittelwert gebildet.

Grenzwert: Fühlschwelle $K_{B,S} = 0,1$

Sekundärer Luftschall: Bewertet wird $L_{A,max,m}$, der energetische Mittelwert der Abewerteten Maximalpegel der lautesten Zuggruppe im Raum.

Grenzwert: mittlerer Maximalpegel $L_{A,max,m} = 25$ dBA

Für die Projektplanung gelten die Grenzwerte generell gebietsunabhängig und für die Tages- und Nachtperiode. Für Gewerbegebiete und andere Bereiche, die nicht unter allgemeine Wohnnutzung fallen, sind jedoch auch 5 dBA, bei reiner Tagesnutzung sogar 10 dBA höhere Pegel beim sekundären Luftschall zulässig, wenn wegen einer Kosten-Nutzen-Analyse oder der technischen Machbarkeit die Vorschrift zur Einhaltung der 25 dBA nicht sinnvoll ist.

2.3 Methodik/Vorgehen

Die quantitative Vorhersage der **Erschütterungsimmissionen während der Bauphase** ist sehr schwierig und beim aktuellen Stand der Planung noch nicht möglich. Es werden nur allgemeine Bemerkungen zur Bauphase gemacht.

Die Ermittlung der **Erschütterungs- und Körperschalleinwirkungen auf den Menschen während der Betriebsphase** erfolgt für verschiedene Punkte im Museum an exponierter Lage zu den Verkehrsanlagen (vgl. Beilage 1).

Die Immissionen werden mit einem frequenzabhängigen, statistisch-physikalischen Prognosemodell berechnet, das vom Ingenieurbüro Rutishauser laufend verfeinert und angepasst wird. Einzelne Modellparameter beruhen auf theoretischen Grundlagen aber auch auf Resultaten von Erschütterungsmessungen bei anderen Projekten. Dabei wurden bezüglich Emission, Ausbreitung und dem Gebäudeschwingverhalten aufgrund dieser und anderer Messungen wahrscheinliche Annahmen zugrunde gelegt. Die gefahrenen Geschwindigkeiten für Reise- und Güterzüge wurden als Korrekturfaktoren der mittleren Emission zugrunde gelegt. Im Einflussbereich von Weichen wird ein distanz- und frequenzabhängiger Korrekturfaktor eingefügt. Für das stark variierende Gebäudeschwingverhalten wurden 9 verschiedene Gebäudeübertragungsfunktionen mit Betondecken durchgerechnet und daraus ein mittlerer wahrscheinlicher Typ mit einem Unsicherheitsbereich festgelegt. Die Erschütterungsimmissionen werden anhand einer empirischen Funktion nach Said et al. 2006, wie sie auch im Leitfaden für den Planer der DB AG verwendet wird, umgerechnet. Mit dem Unsicherheitsbereich (Standardabweichung) der berechneten Resultate kann auch eine obere Grenze der zukünftigen Erschütterungs- und Körperschallbelastungen ermittelt werden. Die Berechnungsmethode kann anhand eines Beispiels in Beilage 3 nachvollzogen werden.

Die so errechneten Beurteilungsgrößen wurden anhand der Grenzwerte beurteilt. Im Konfliktfall werden Maßnahmen vorgeschlagen.

3 Istzustand

Im heutigen Zustand führt die Bergstrecke der Brennerlinie rund 27 m unterhalb der Fundamente des neuen Museums durch. Die Doppelspur verläuft von Norden her zuerst in einem Felsanschnitt und ab ca. Mitte des Museumsbaus im Bergiseltunnel. Der Tunnel liegt im Lageplan nur ein paar Meter außerhalb des Gebäudefundaments.

Istzustand ohne Maßnahmen		
Berechnungs-Nr.	Erschütterungen $K_{B,s}$ [-]	Körperschall $L_{A,mx,m}$ [dBA]
Nr. 1	0.04±0,02	37.4±4.5
Nr. 2	0.04±0,02	38.6±4.5
Nr. 3	0.04±0,02	38.6±4.5

Tabelle 1 Immissionsprognose Istzustand (80%-Wert mit Standardabweichung)

Die Erschütterungsimmissionen liegen mit dem Istzustand im zukünftigen Museum deutlich unterhalb des Grenzwertes, da das Bahntrasse im Felsbereich verläuft und auch das Gebäude auf Fels steht. Dieser Umstand führt jedoch dazu, dass die höheren Frequenzen der Bahnemission nur eine geringe Ausbreitungsdämpfung erfahren und deshalb der sekundäre Luftschall im Gebäude deutlich hörbar ist und deutlich über dem Grenzwert liegt.

4 Projektwirkungen

4.1 Bauphase

Der Beurteilung der Bautätigkeiten basiert auf allgemeinen Annahmen.

Grundsätzlich ist es schwierig vorherzusagen, ob während der Bauphase übermäßig störende Erschütterungsimmissionen auftreten werden (erfahrungsgemäß sind bei Bauarbeiten die Körperschallimmissionen von untergeordneter Bedeutung).

Das ganze Bauvorhaben ist komplex und wird in verschiedene Bauphasen unterteilt. So werden einzelne Bereiche nur während Wochen und andere Bereiche während mehreren Jahren durch Bauimmissionen betroffen sein. Da mit der untersuchten Variante auf den Tunnel direkt unter dem Museum zugunsten einer Doppelspurbrücke in der Siltschlucht verzichtet wird, entschärft sich die Problematik von Bauimmissionen wesentlich. Trotzdem wird es kaum vermeidbar sein, dass die unterschiedlichen Bauabläufe vereinzelt zu störenden Erschütterungsimmissionen führen werden. Dazu gehören im Allgemeinen folgende Bauabläufe, die in der Siltschlucht zur Anwendung kommen können:

- Allfällige Abbrucharbeiten können zu kurzzeitig störenden Erschütterungsimmissionen führen.
- Fundationsarbeiten können je nach Bauverfahren zu störenden Erschütterungsimmissionen führen.
- Sprengungen können je nach Abstand zum Gebäude und je nach Ladungsmenge pro Zündstufe zu starken Erschütterungs- und Körperschallimmissionen im Gebäude führen, die nicht nur störend sind, sondern auch zu Bauschäden führen können.
- Aushub von Baugruben und Rohbauarbeiten rufen im Normalfall schon ab geringen Distanzen keine erheblichen Erschütterungsimmissionen mehr hervor.
- Je nach Art und Betriebsweise der eingesetzten Verdichtungsgeräte können bei Hinterfüllungen und Verdichtungen in der näheren Umgebung störende Erschütterungsimmissionen auftreten.
- Die Bautätigkeiten auf Installationsplätzen führen mit sehr großer Wahrscheinlichkeit zu keinen wahrnehmbaren Erschütterungen in der Umgebung (keine starken Erschütterungsquellen vorhanden, meist große Abstände zum Gebäude).
- Straßentransporte zur Versorgung der Baustellen oder Entsorgung von Aushubmaterial verursachen infolge der großen Abstände keine übermäßigen Erschütterungen.

Nachfolgend werden einige Maßnahmen zur Minderung der Belästigungen durch Baumaßnahmen empfohlen (teilweise vor Baubeginn durchzuführen):

- Rissaufnahmen beim Museumsgebäude
- Umfassende Information der Museumsleitung über die Baumaßnahmen, die Dauer des Bauarbeiten, die erwarteten Erschütterungsimmissionen und die damit verbundenen Belästigungen

- Benennung einer Ansprechstelle, an die sich die Museumsleitung bei besonderen Erschütterungsproblemen wenden kann
- Festlegung von baubetrieblichen Maßnahmen (zeitliche Beschränkung von erschütterungsintensiven Bauarbeiten, Einhalten von Ruhezeiten, Ladungsbeschränkung pro Zündstufe bei Sprengarbeiten)
- Die Ladungsmenge pro Zündstufe ist so zu wählen, dass in der Umgebung keine störenden Immissionen auftreten. Zur Ermittlung der maximal zulässigen Ladungsmenge sind Probesprengungen vorzunehmen. Im Museum werden dabei die Sprengerschütterungen gemessen. Aus diesen Messungen kann die maximal zulässige Ladungsmenge abgeleitet werden. Durch die entsprechende Begrenzung der Ladungsmenge kann die Einhaltung von Anhaltswerten sichergestellt werden
- Einsatz von besonders erschütterungsarmen Baugeräten und –verfahren
- Durchführung von Messungen zur Erschütterungsüberwachung durch unabhängige Experten.

Falls notwendig werden baubetriebliche Maßnahmen und Einschränkungen für die Submission in die Unternehmensverträge aufgenommen. Sie können erst kurz vor der Vergabe, wenn die vorgesehenen Baumethoden und Baugeräte bekannt sind, definiert werden. Die Erarbeitung eines allfälligen Messkonzeptes erfolgt ebenfalls erst beim Vorliegen der genauen Baumethoden und Baugeräte. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Bauarbeiten für den Brenner Basistunnel bei entsprechender Überwachung keine Erschütterungen verursachen, die zu Gebäudeschäden führen können.

4.2 Betriebsphase

4.2.1 Prognoseresultate

Für die Betriebsphase wird die Variante Abzweigung Doppelspur an der Oberfläche mit einer Brücke in die Sillschlucht für den Brenner Basistunnel berechnet. Vergleiche dazu die Gleislage in Beilage 2) Die Gleislage in Beilage 1 entspricht nicht dem neuesten Stand. Für die Prognoseberechnungen werden die gleichen Berechnungspunkte wie für den Istzustand genommen. Bei den Berechnungspunkten Nr. 2 und Nr. 3 wird die Erschütterungsemission bei der NBS über die Brückenpfeiler in den Untergrund geleitet. In der folgenden Tabelle 2 wird die Gesamtimmission ohne Erschütterungsschutzmaßnahmen aus Stammlinie und NBS dargestellt.

Betriebszustand ohne Maßnahmen		
Berechnungs-Nr.	Erschütterungen $K_{B,s}$ [-]	Körperschall $L_{A,mx,m}$ [dBA]
Nr. 1	0.05±0,02	38.3±4.5
Nr. 2	0.05±0,02	38.6±4.5
Nr. 3	0.04±0,02	38.6±4.5

Tabelle 2 Immissionsprognose Betriebszustand (80%-Wert mit Standardabweichung)

4.2.2 Beurteilung der Einwirkungen auf Personen

Zur Beurteilung werden die Prognosewerte der Tabelle 2 mit den Grenzwerten aus Kapitel 2.2 verglichen. Liegt einer der berechneten Beurteilungswerte über den Grenzwerten, so gelten die Anforderungen als nicht eingehalten.

Erschütterungen:

Die Erschütterungsimmissionen liegen auch inklusive einer Standardabweichung unterhalb dem Grenzwert. Es kann deshalb mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass auch ohne Schutzmaßnahmen keine Konflikte bezüglich Erschütterungseinwirkungen zu erwarten sind.

Sekundärer Luftschall:

Die Immissionen des Sekundärschalls liegen auch ohne Standardabweichung deutlich über dem Grenzwert von 25 dBA. Beim Museum handelt es sich um ein Gebäude ohne Wohn- und nur mit Tagesnutzung. Bei Museumsräumlichkeiten kann aber davon ausgegangen werden, dass ein erhöhtes Ruhebedürfnis besteht. Der Grenzwert von 25 dBA ist sehr streng und liegt nahe der Hörschwelle. Es ist fraglich, ob im Museum der Innenschallpegel während der Tagesnutzung überhaupt so tief sein kann infolge Geräuschen von Lüftungen, Besuchern und akustischer Untermalung durch Hintergrundmusik oder anderer akustischer Effekte. Ein Grenzwert von 30 dBA erscheint uns für den mittleren Maximalpegel einer Zugvorbeifahrt für das Museum als angemessen. Der Grenzwert muss jedoch mit der Museumsleitung abgestimmt werden.

Die Gesamtimmissionen werden bei allen drei Berechnungspunkten durch die Immissionen von der Stammlinie dominiert. Die Pegel des Sekundärschalls liegen mindestens 3-6 dBA über denjenigen von der NBS. Ohne Schutzmaßnahmen sowohl an der Stammlinie als auch an der NBS sind Konflikte bezüglich sekundärem Luftschall mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten.

5 Schutzmaßnahmen

Für den Immissionsschutz bezüglich sekundärem Luftschall gibt es für den Untersuchungsbereich nur eine sinnvolle Maßnahme, nämlich eine hochwertige Unterschottermatte (USM). Eine akustische Entkopplung des Museumsgebäudes vom Untergrund kommt aus Kostengründen nicht in Frage.

Für eine gute Dämmwirkung sollte die USM auf eine feste Unterlage zu liegen kommen. Im Bereich des Museums verläuft das Trasse im Felsbereich, im Tunnel und auf einer Brücke. Vor dem Widerlager der Brücke müsste eine Betonplatte als Unterlage erstellt werden.

Eine Schutzmaßnahme im Projektbereich der BBT SE macht allerdings nur Sinn, wenn im Bestandstunnel Bergisel, wo die Gleise durch die BBT SE nicht verändert werden, ebenfalls eine USM eingesetzt wird, sonst dominiert der Sekundärschall von den Zügen

im Tunnel die Gesamtimmission deutlich. Die Maßnahmen außerhalb des Projektperimeters der BBT SE sind jedoch durch die Museumsersteller zu übernehmen.

Es werden folgende Dimensionierungen der USM vorgeschlagen (Beilage 4):

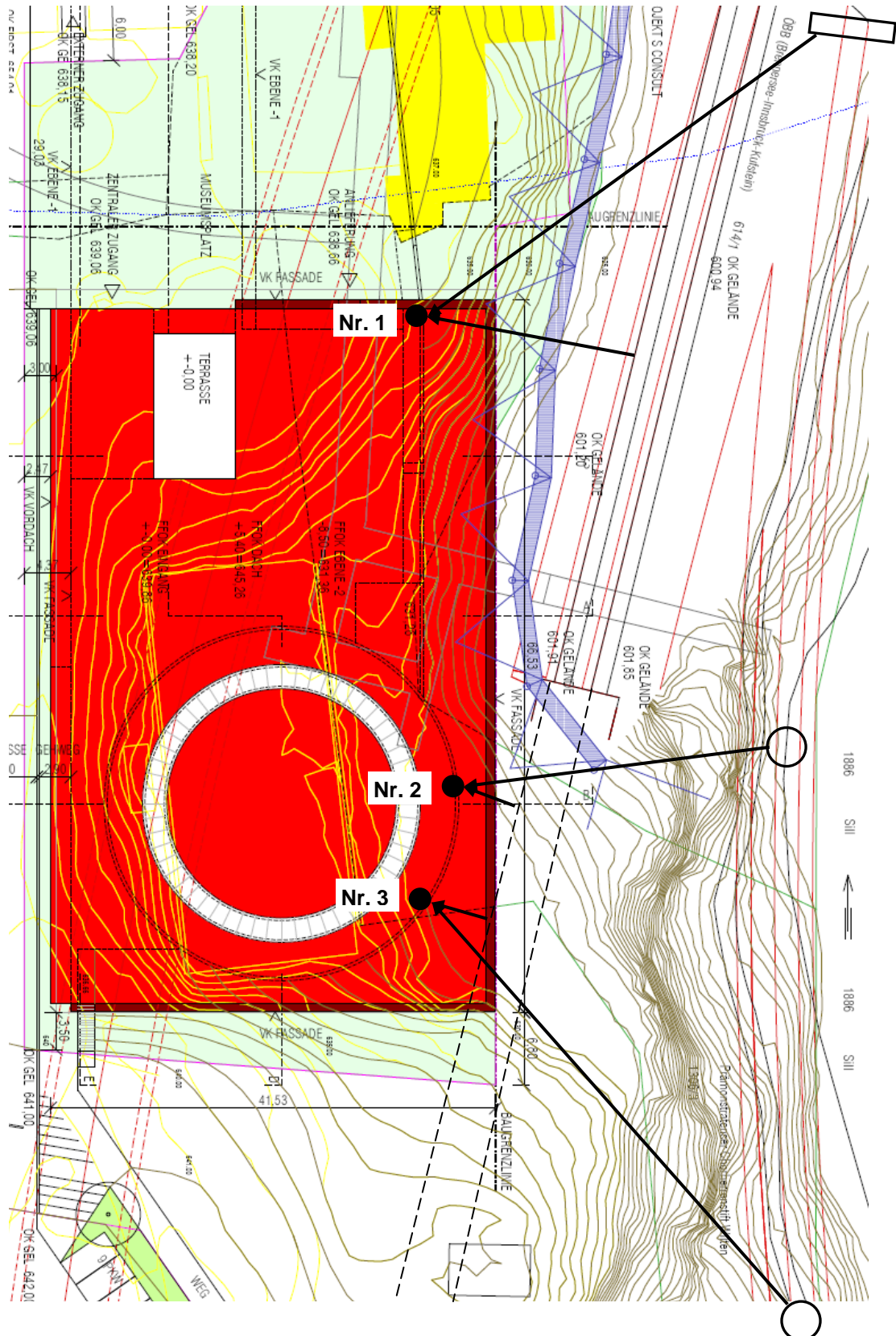
- NBS: Anschluss an USM wegen anderer Gebäude bei ca. km 1,65 (Gleis 2) bis 20 m über ersten Brückenpfeiler hinaus bei km 1,80 (Gleis 1); Länge ca. 140 m für Gleis 1 und Gleis 2 (total 280 m)
- Stammlinie: Anschluss an USM wegen anderer Gebäude bei ca. km 1,65 (Gleis 2) bis Tunnelportal; Länge ca. 130 m
- Stammlinie außerhalb Projekt BBT SE: ab Tunnelportal auf 90 m Länge

Mit diesen Maßnahmen kann der Sekundärschallpegel im Museum unter 30 dBA gesenkt werden. Ohne die Maßnahme im Tunnel Bergisel bleibt der Sekundärschallpegel $L_{A,max,m}$ für die Züge auf der Stammlinie bei über 35 dBA.

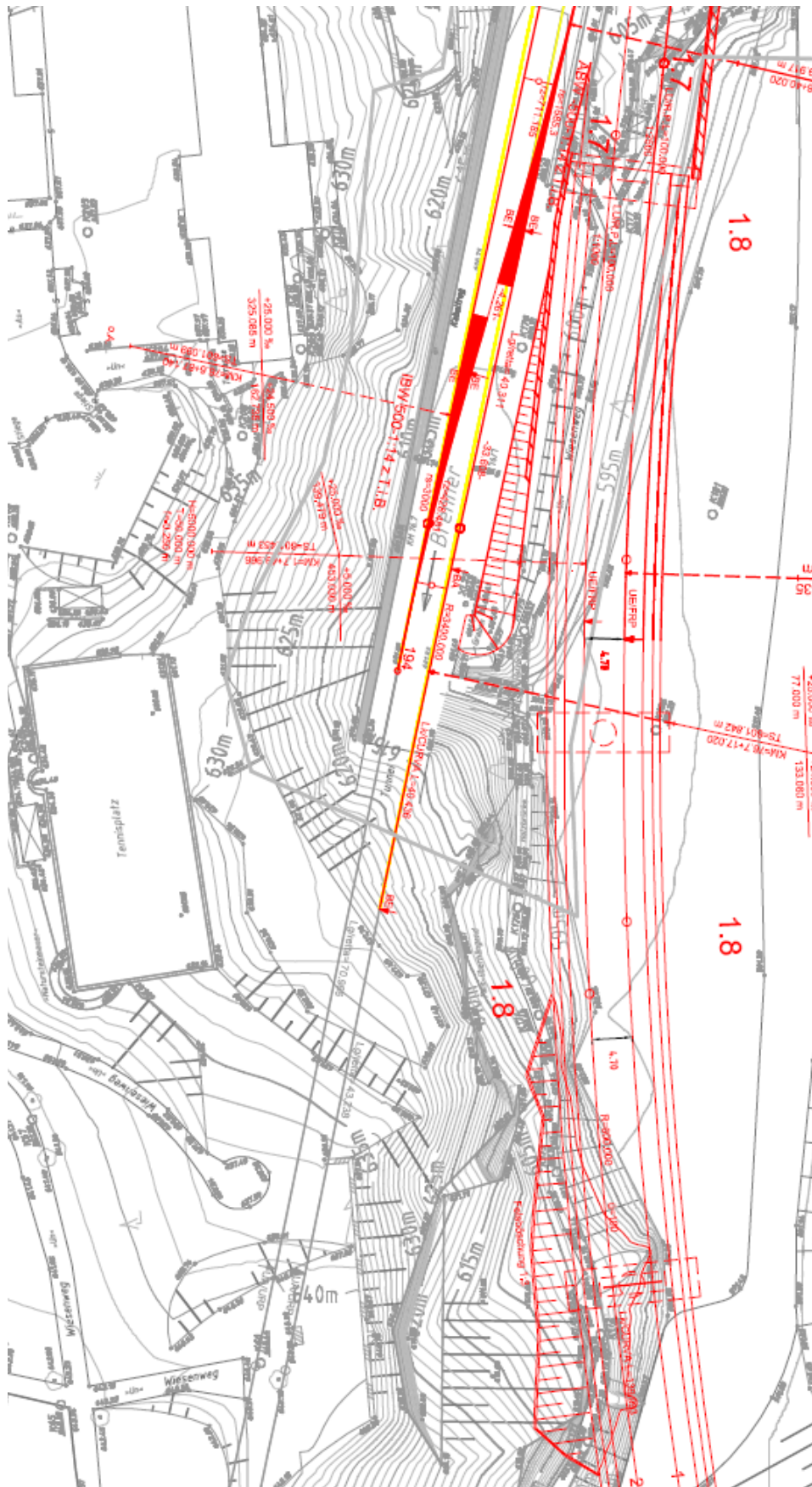
6 Zusammenfassung

Die Prognoseberechnungen bezüglich Erschütterungen und sekundärem Luftschall für das Museum Bergisel haben gezeigt, dass der Grenzwert bezüglich Sekundärschall von 25 bis 30 dBA ohne den entsprechenden Erschütterungsschutzmaßnahmen nicht eingehalten werden kann. Hier sind Maßnahmen in Form von USM vorzusehen und zwar an der NBS und der Stammlinie. An der Stammlinie ist außerhalb des Projektperimeters der BBT SE ebenfalls eine USM vorzusehen, ansonsten der Sekundärschall von Zügen im Tunnel Bergisel dominiert und deutlich wahrgenommen wird. Mit den vorgeschlagenen Maßnahmen kann der Sekundärschallpegel $L_{A,max,m}$ unter 30 dBA gesenkt und dadurch im Museum kaum mehr wahrgenommen werden.

Situation ca. M 1 : 570 Berechnungspunkte Museum



Situation ca. M 1 : 770 **projektierte Gleisanlagen**





Beispiel detaillierte Immissionsprognose Berechnungspkt. Nr. 2, Teilimmission Stammlinie

5100.04 BBT Brenner Basistunnel, Auslegungsfall																	Prognoseort: Museum Bergisel Nr.2, km 1,78				16.02.09/AE	
Prognose Erschütterung und sekundärer Luftschall ohne Maßnahmen																	Abschnitt Innsbruck Hbf - Abzw. Gärberbach, Doppelspur					
Emission: Inntaltunnel, Schotteroberbau																	Immission: Wohn- oder Bürogebäude, Erd- bzw. Obergeschoß Deckenmitte					
Terz-Effektivwerte der Schnelle [mm/s] bzw. [dB re 5*10 ⁻⁸ m/s], K _{B-Tim} -Wert [-], A-bewerteter Schalldruck [dB(A) re 2*10 ⁻⁵ Pa]																						
Erschütterungen																						
Terzbänder [Hz]:																	Summe		Bemerkungen:			
Emissionsspektrum (energ. Mitte)																	0.160		Inntaltunnel, v=120/100 km/h, Schotter			
Korrektur für Zugattung RZ																	0.600					
Korrektur für Zugattung GZ																	1.300					
Fahrgeschwindigkeit RZ																	80		km/h = V _{2, Tag} V _{2, Nacht} = 80			
Fahrgeschwindigkeit GZ																	80		km/h = V _{2, Tag} V _{2, Nacht} = 0			
Gleisbesonderheit																	0					
Maßnahme																			keine Maßnahme			
Emissionsspektrum RZ																	0.067					
Emissionsspektrum GZ																	0.166					
Gleislage für Wellenausbreitung																	1.000					
Bodenausbreitungsdämpfung Fels																	0.112		27.0 m: Felsstrecke ab Tunnel			
Bodenausbreitungsdämpfung LG																	1.000		0.0 m: Lockergesteinsstrecke ab Tunnel			
Gartenspektrum vor Gebäude RZ																	0.002		0.012			
Gartenspektrum vor Gebäude GZ																	0.004		0.030			
Garten -> Fundament																	0.01		3) F.feld -> schwere Geb. mit UG			
Fundament -> Geschloßdecke																	1.40		14) Eigenfrequenz B-Decke 80 Hz			
Immissionsspektrum Decke V _E RZ																	0.013		Obergeschoß Deckenmitte RZ			
Immissionsspektrum Decke V _E GZ																	0.031		Obergeschoß Deckenmitte GZ			
K _{B-Tim} (ganzer Verkehr)																	0.063		K _{B-Tim} Deckenmitte (ganzer Verkehr)			
K _{B-Tim} Deckenmitte Tag bzw. Nacht																	0.034		RZ-N: 0.000 GZ-N: 0.000			
K _{B,s} Tag bzw. Nacht (slow)																	0.045		RZ-N: 0.018 GZ-N: 0.000			
																	0.1		0.1			
																	0.1		0.1			
Sekundärer Luftschall																						
Immissionsspektrum RZ [dB]																	48.0		Ersch. re 0.00005 mm/s			
Immissionsspektrum GZ [dB]																	56.0		Ersch. re 0.00005 mm/s			
A-Bewertung																	-8.6					
Immissionsspektrum RZ [dBA]																	26.0		Ersch. A-bewertet RZ			
Immissionsspektrum GZ [dBA]																	33.9		Ersch. A-bewertet GZ			
mittlerer A-bewerteter Schall-Effektivwert L _{KSV} [dBA] (über Abstrahleffizienz)																	50.6		RZ-N: 42.7 GZ-N: -			
mittlerer A-bewerteter Schall-Effektivwert L _{KSV} [dBA] (nach DB-Leitfaden)																	36.2		RZ-N: 31.4 GZ-N: -			
mittlerer A-bewerteter Schall-Ereignispegel L _{A,Em} [dBA]																	45.7		RZ-N: 43.1 GZ-N: -			
mittlerer A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel L _{A,eq} [dBA]																	1.1		RZ-N: 9.3 GZ-N: -			
mittlerer A-bewerteter Schall-Maximalwert L _{A,max,m} [dBA] "slow"																	38.6		RZ-N: 33.8 GZ-N: -			
																	25		25			
																	25		25			

Situation ca. M 1 : 1'100 Vorgeschlagene Maßnahmen

