BRENNER BASISTUNNEL

ÖBB Umfahrungstunnel Süd (Innsbruck) – Rettungsstollen Umfahrung Innsbruck

Erschütterungen zufolge Sprengvortrieb Gutachten

A	Endausgabe	06.10.2013	Eb
V0	Vorabzug zur Abstimmung	10.09.2013	Neu/Eb
PLANÄNDERUNG		DATUM	BEARBEITET

DATUM	Sept 2013
BEARBEITET	Eb
STATIK	
GEPRÜFT	
PLAN-NR.:	
9682-001a	

ABTEILUNGSLEITER

SACHBEARBEITER

Ebenbichler ZT-GmbH
ZIVILTECHNIKERGES. F. BAUINGENIEURWESEN
A-6020 INNSBRUCK, Sebastian-Kneipp-Weg 17
TEL.: 0512 / 281624 - 25 FAX: 0512 / 281624 - 31

PLANER

BBT SE

1. Aufgabenstellung

Parallel zum Inntaltunnel soll ein Rettungsstollen im Sprengvortrieb errichtet werden, der im Abstand von ca. 330 m mit dem Inntaltunnel verbunden wird. Der Abstand zwischen den Tunnelwänden liegt bei ca. 20 m.
Es soll bewertet werden, welchen Einfluß die Sprengarbeiten und daraus resultierenden Erschütterungen auf die Innenschale der Inntaltunnels sowie den Oberbau bzw. in Folge auf den Betrieb der Eisenbahn haben.

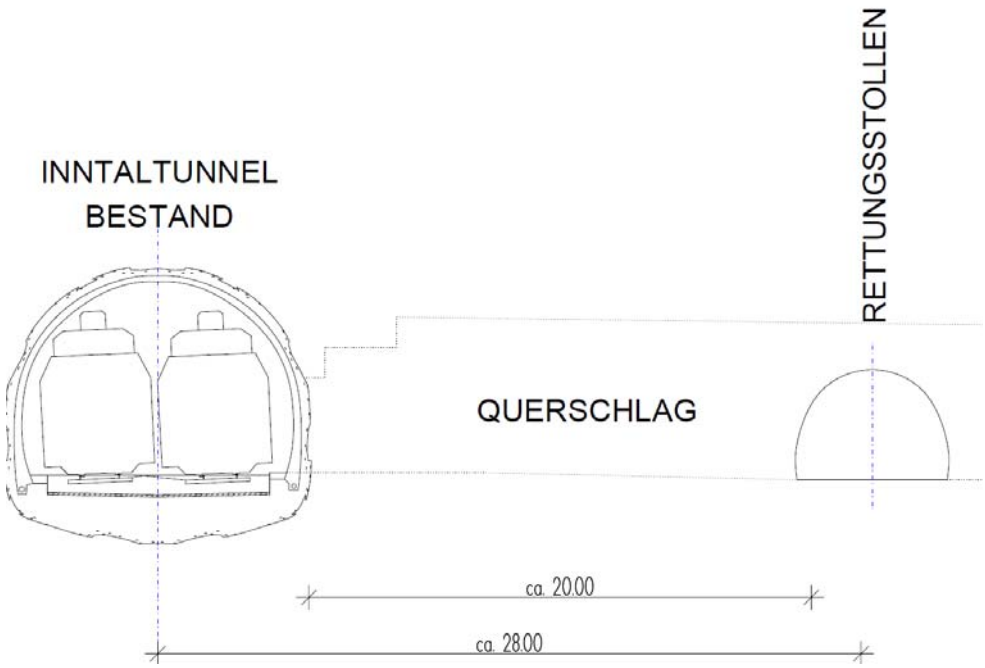

Bild 1: Querschnitt Inntaltunnel - Rettungsstollen

Die zur Herstellung des Rettungsstollens erforderlichen Sprengarbeiten verursachen Erschütterungen.
Im Vorfeld wurden geologische Erkundungen und Prognosen und eine sprengtechnische Begutachtung durchgeführt.

2. Grundlagen

[1] Bericht 01-MO3-ER-01 BTB D0476-00321-01: Endbericht Oberbaumessung Umfahrung Innsbruck, erstellt von der PG iC consulenten ZT-GmbH – IFS ZT-GmbH,13.08.2013
[2] Bestandsplan IT-AT-002: Tunnelröhre Regelquerschnitt, erstellt von ILF, Innsbruck, 08.09.1989.
[3] Plan 00-H31-HB-001 XXX-D0642-00119-00: Geotechnischer Längsschnitt Rettungsstollen Tulfes incl. Querschläge, erstellt von der ARGE BI-GC, vom 19.10.2012.
[4] ÖN S 9020: Bauwerkserschütterungen: Sprengerschütterungen und vergleichbare impulsförmige Immissionen Ausg. August 1986.
[5] DIN 4150-3, Februar 1999. Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlage
[6] Nobel-Hefte, März 1969, Mai/Juli 1968, April-Juni 1975
[7] Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke, Jost A. Studer, Fachveranstaltung Erschütterungen und Körperschall: eine bautechnische Heausforderung, 2003.
[8] SN 640 312 a (1992). "Erschütterungseinwirkung auf Bauwerke", Schweizerische Normenvereinigung SNV, Zürich.

3. Versuchstechnische Messungen der Erschütterungen

Ziel der Versuche
In Versuchen soll gemessen werden,

- welche Auswirkungen die Erschütterungen auf den Bestandstunnel, hauptsächlich auf deren Innenschale aufweist,
- wie stark die Schiene beansprucht wird,
- wie die Erschütterung mit dem Abstand abklingt,
- wie sich im Vergleich dazu eine Zugüberfahrt auf Fahrweg und Tunnel auswirkt.

Dazu ergab sich die günstige Gelegenheit, daß sich der Vortrieb des Fensterstollen Ampaß Mitte Mai an den bestehenden Inntaltunnel annäherte und als Abschluß ein Stück parallel zum Inntaltunnel gesprengt wurde. Diese Maßnahme ist mit dem späteren Herstellen des Rettungstunnels sehr gut vergleichbar.

Versuchsanordnung
Im Detail ist die Versuchsanordnung in [1] dokumentiert.
Es wurden

- 4 Meßquerschnitte zur Messung der Schwingungen an der Tunnelschale angeordnet (Abb. 3 in [1]),
- ein Triebfahrzeug Taurus als Masse auf der Schiene abgestellt, um die Beanspruchung des Schienenhals zu ermitteln,
- die Beschleunigungen am Schienenkopf und der Schwelle, die Biegedehnungen am Schienenhals sowie am Fuss in Längsrichtung gemessen,
- die Messungen bei Probesprengungen und bei Überfahrt mit dem Triebfahrzeug durchgeführt.

Probesprengungen
Die Grunddaten der 3 Probesprengungen sind:

	Datum, Zeit	Abschlagslänge [m]	Zündstufen	Lademenge [kg]
Sprengung 1	17.05.2013, 12:45	1,70	15	88,5
Sprengung 2	18.05.2013, 07:30	1,30	16	31
Sprengung 3	18.05.2013, 12:40	1,70	19	77

Tabelle 1: Daten Sprengungen

Ergebnisse der Versuche
Erschütterung der Innenschale durch Probesprengungen

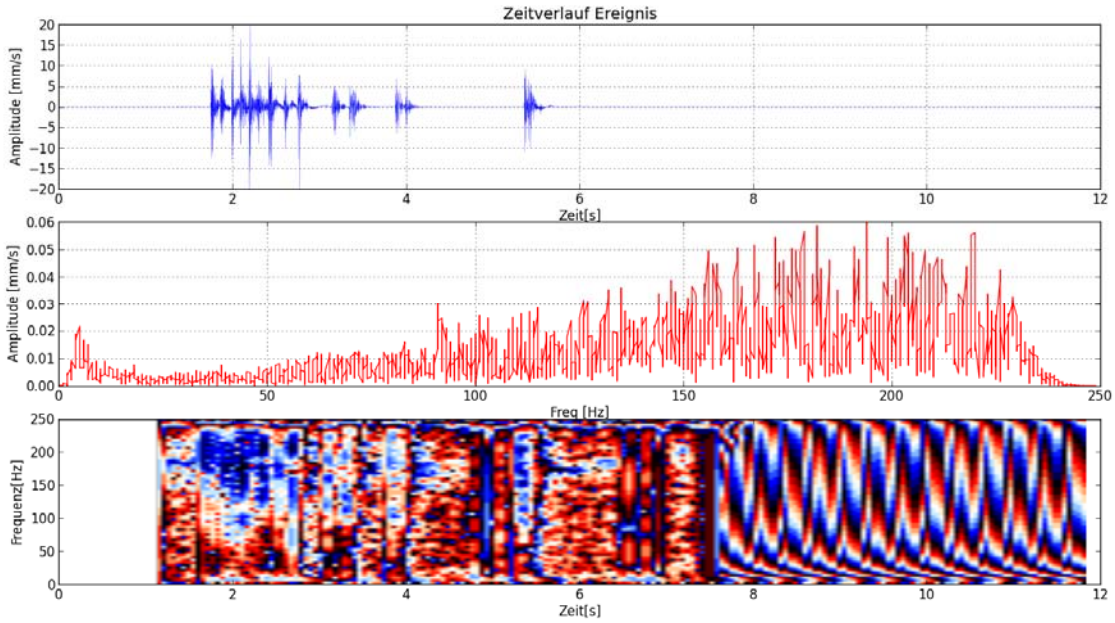

Bild 2: Erschütterungsschrieb der 1. Probesprengung am MP1, $v_{z,max}$ ca. 20 mm/s

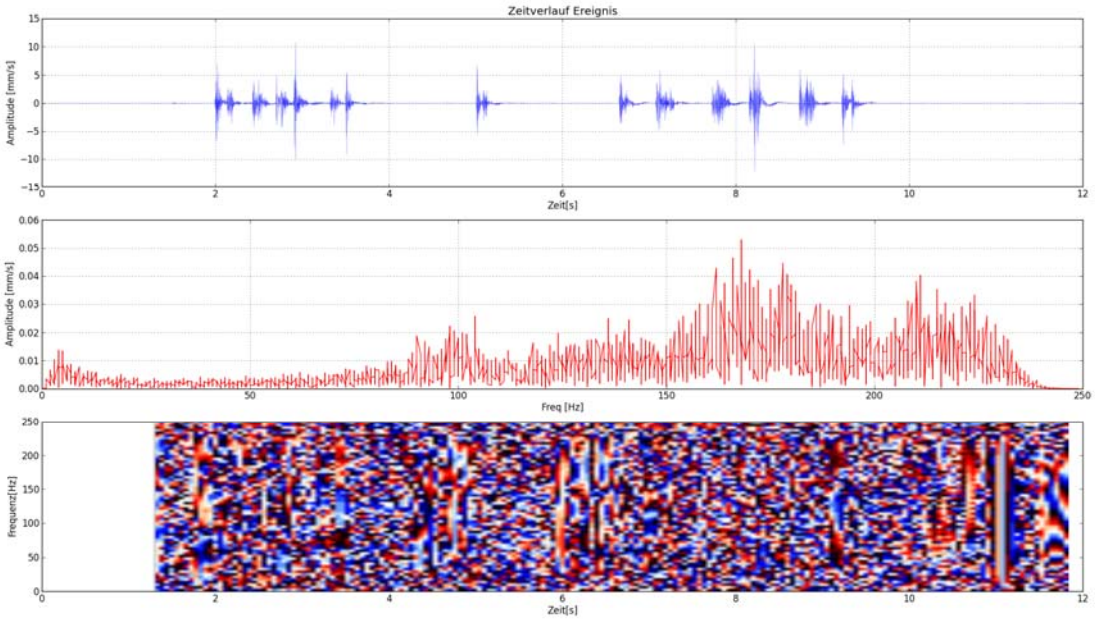

Bild 3: Erschütterungsschrieb der 2. Probesprengung am MP1, $v_{z,max}$ ca. 10 mm/s

Die 1. Probesprengung wurde mit einer größeren Abschlagslänge, mehr Lademenge und geringerer Verzögerung getätigt, also sehr ungünstig in Bezug auf die Erschütterungen am Tunnel. Die 2. Probesprengung wurde erschütterungsarm durchgeführt, was sich auch in ca. halben Schwinggeschwindigkeiten widerspiegelt.

Die energiereichen Schwingungen weisen Frequenzen von ca. 90 bis 230 Hz auf. Das bedeutet, daß größere Schwinggeschwindigkeiten nur bei extrem hohen Frequenzen auftreten, die aber kaum einen Einfluß auf die Innenschale haben.

Ausbreitung der Schwingungen entlang der Innenschale

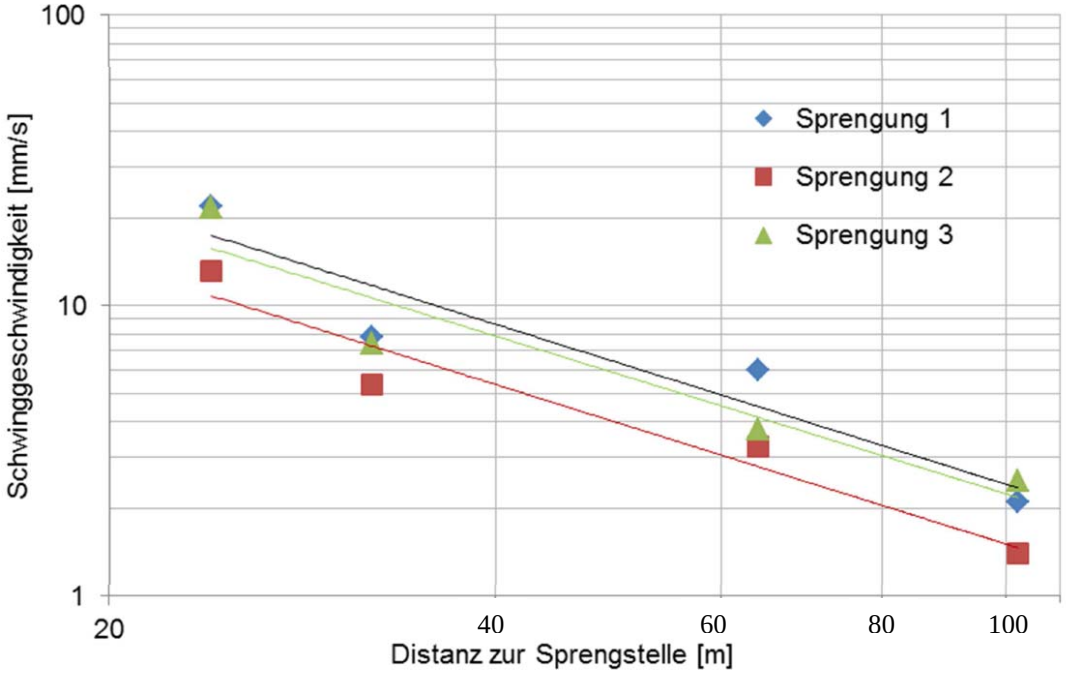

Bild 4: Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Distanz zur Sprengstelle (24 m bis 102 m), aus [1]

In unmittelbarer Nähe der Sprengung beträgt die resultierende Schwinggeschwindigkeit bei in Bezug auf Erschütterung ungünstiger Sprengung (1 und 3) ca. 20 mm/s, bei günstiger Sprengung (Nr. 2) ca. 12-13 mm/s.
In einer Entfernung von ca. 60 m betragen die Schwinggeschwindigkeiten bei allen Sprengungen weniger als 10 mm/s.

Schwingungen an der Innenschale bei Zugdurchfahrt

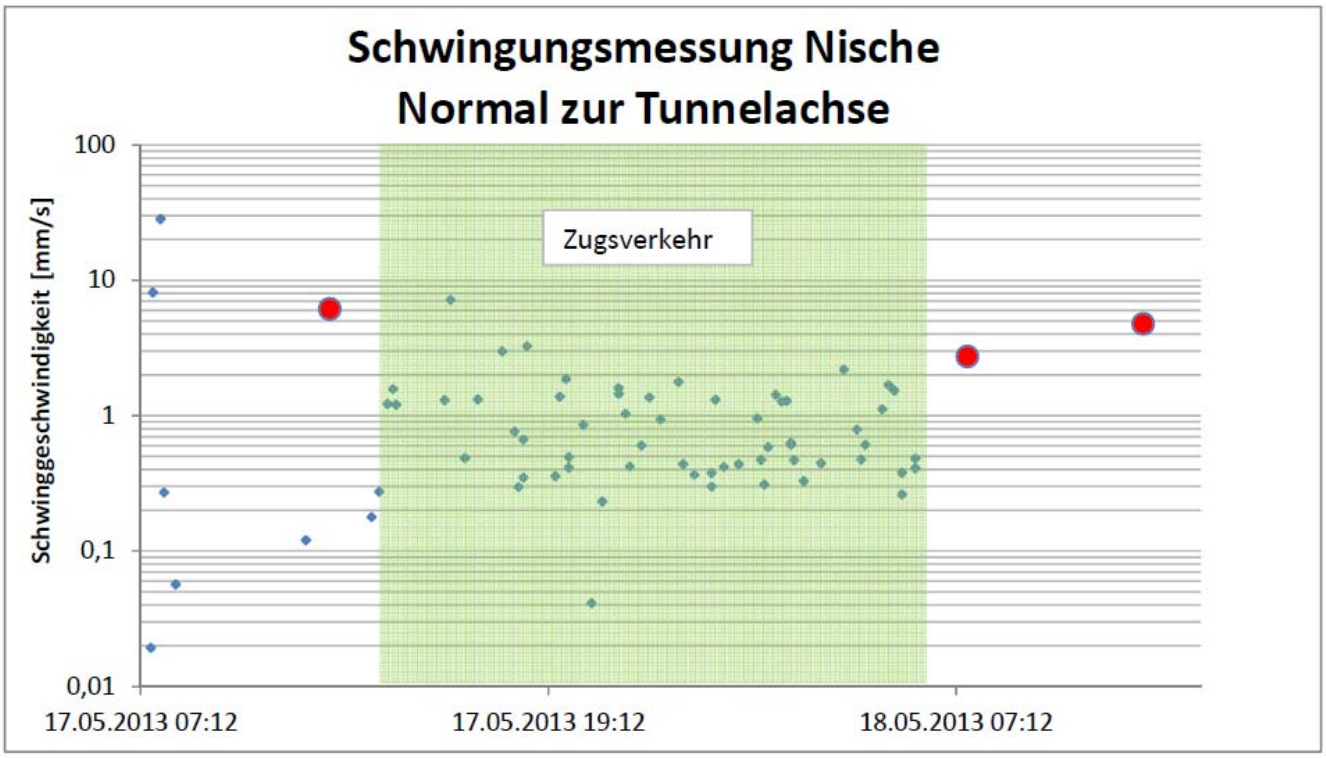

Bild 5: Vergleich der horizontalen Schwinggeschwindigkeiten an der Tunnelschale (Komponente quer zur Tunnelachse), Zugverkehr/Probesprengungen (rote Punkte)

Der Eisenbahnbetrieb bringt Erschütterungen ähnlich wie die Probesprengungen, im Einzelfall größere.

Schwingungen an der Schwelle bei Sprengung und Zugdurchfahrt

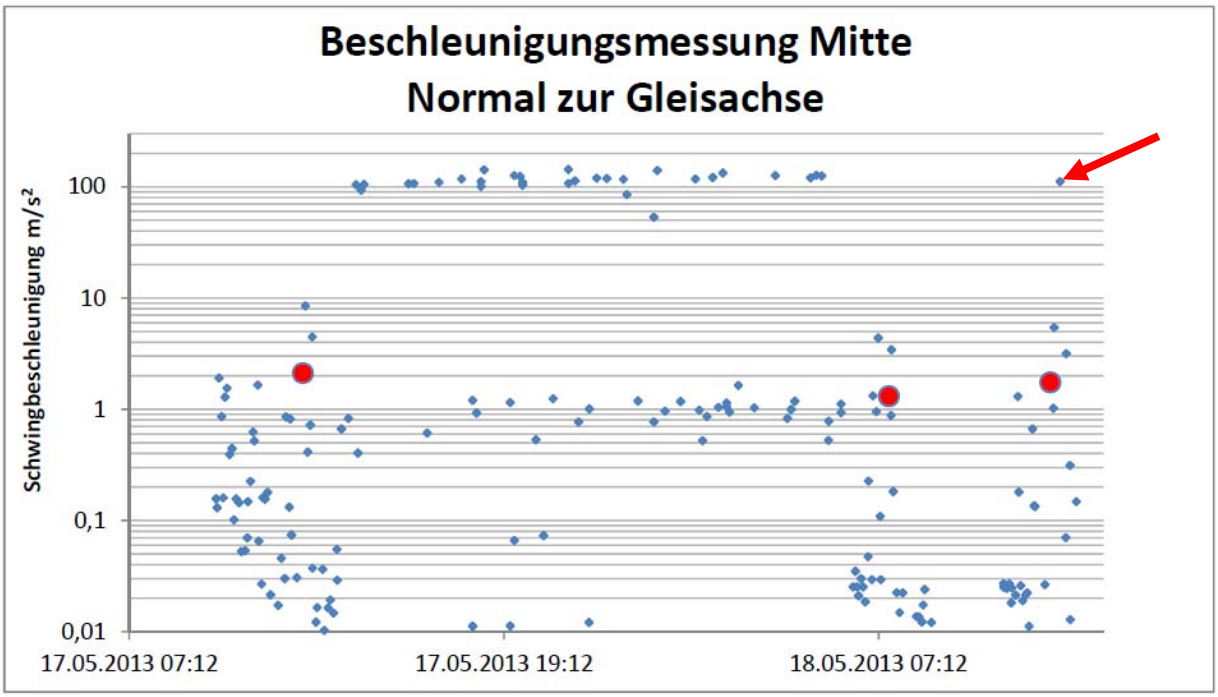

Bild 6: horizontale Beschleunigungen quer zur Gleisachse an der Schwelle, Zugverkehr/Probesprengungen, nach 3. Sprengung Einzelüberfahrt Taurus mit 80 km/h (roter Pfeil)

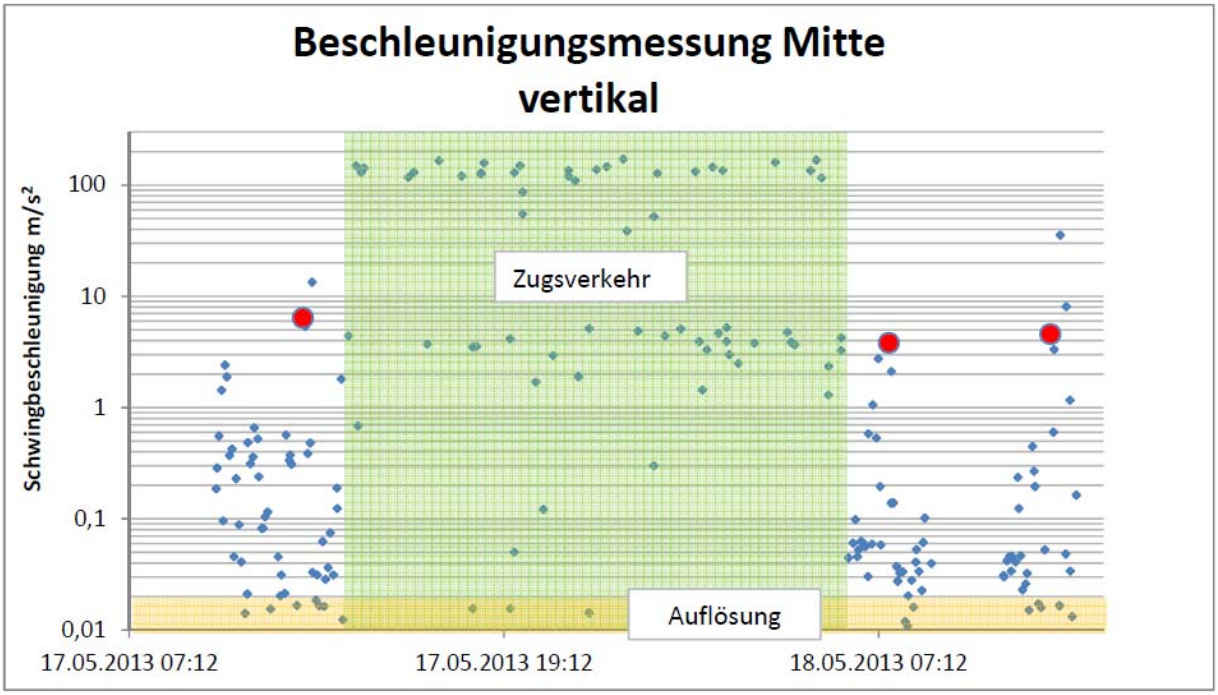

Bild 7: vertikale Beschleunigungen an der Schwelle, Zugverkehr/Probesprengungen, nach 3. Sprengung Einzelüberfahrt Taurus mit 80 km/h

An der Schwelle treten bei Zugüberfahrt Beschleunigungen bis ca. 160 m/s^2 auf, bei Sprengungen bis ca. 7 m/s^2.

Dehnungen am Gleis bei Sprengung und Zugdurchfahrt

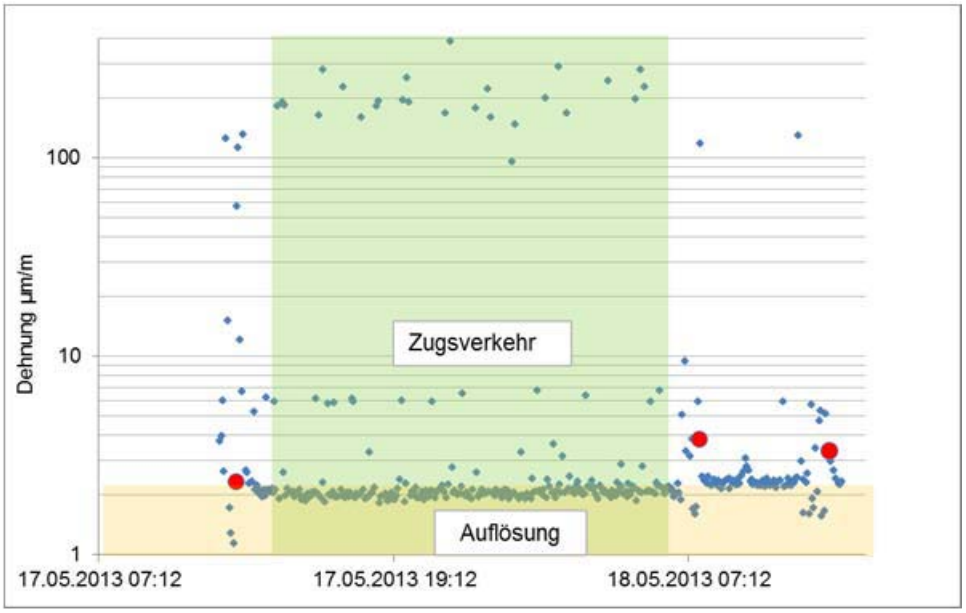

Bild 8: Längsdehnungen am Schienenfuß, gemessen zwischen den Drehgestellen, max. ca. 400 µm/m = 0,40 ‰

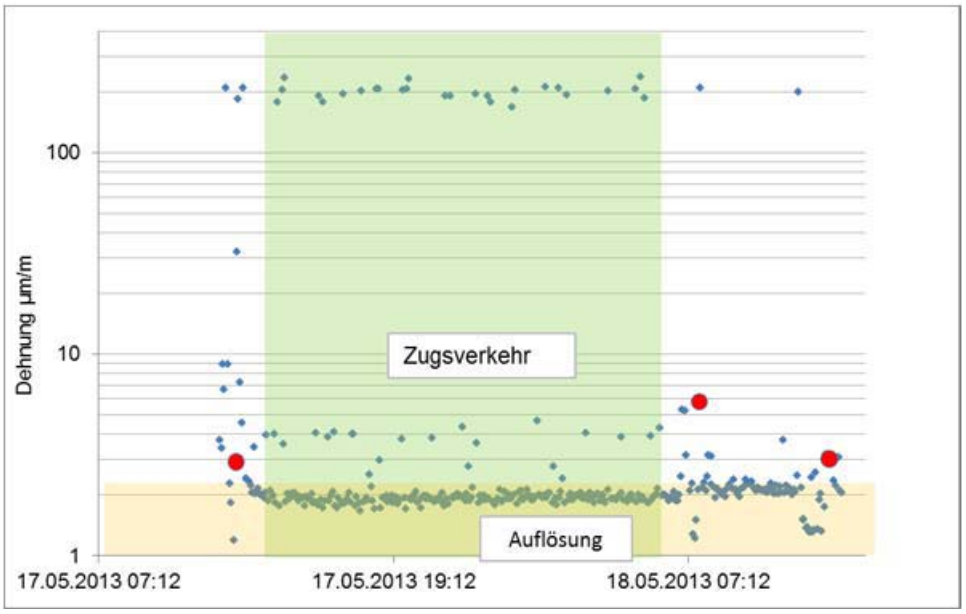

Bild 9: vertikale Dehnungen am Schienenhals, gemessen zwischen den Drehgestellen, max. ca. 250 µm/m = 0,25 ‰

Die Längsspannung in den Schienen beträgt bei Zugüberfahrt max. 80 MPa, bei Sprengungen ca. 0,8 MPa.
Die vertikale Biegespannung am Schienenhals beträgt bei Zugüberfahrt max. 50 MPa, bei Sprengungen ca. 1,2 MPa. Die auftretenden Spannungen an der Schiene sind bei Zugüberfahrt wesentlich höher als bei Sprengungen.

4. Bewertung der Erschütterungen durch Sprengvortrieb

Eisenbahnbetrieb:
Der Eisenbahnbetrieb ist hinsichtlich Fahrweg, d.h. Erschütterung der Schwelle, Schiene und damit der Fahrzeuge durch die Sprengungen nicht gefährdet. Die bei den Sprengungen auftretenden Schwinggeschwindigkeiten, Beschleunigungen und Spannungen an der Schiene liegen um ein Vielfaches niedriger als jene, die unter Betrieb auftreten.

Bauwerkserschütterungen
Nach ÖN S 9020:
Gem. Tabelle 2 ist die Tunnelinnenschale als Betonkonstruktion in die Gebäudeklasse I einzustufen. Für diese Gebäudeklasse gilt als Erschütterungsrichtwert eine zulässige resultierende Schwinggeschwindigkeit von 30 mm/s. Eine Frequenzabhängigkeit ist gem. ÖN nicht vorgesehen.
Allerdings ist der Einfluß der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Longitudinalwellen (=P-Wellen) in Bild 2 erfaßt. Beim vorliegenden Felsgebirge kann mit ca. 4.500 m/s gerechnet werden, in [1] wurde die Ausbreitungsgeschwindigkeit der P-Wellen von 4.500 bis 5.000 m/s angegeben. Dadurch kann die zulässige resultierende Schwinggeschwindigkeit nach Bild 2 der ÖN S 9020 auf ca. 42,5 mm/s angehoben werden. Das stimmt in etwa auch mit den Angaben in der DIN 4150 überein, wo auf die Frequenzabhängigkeit der zulässigen Schwinggeschwindigkeiten eingegangen wird.

Nach DIN 4150-3:

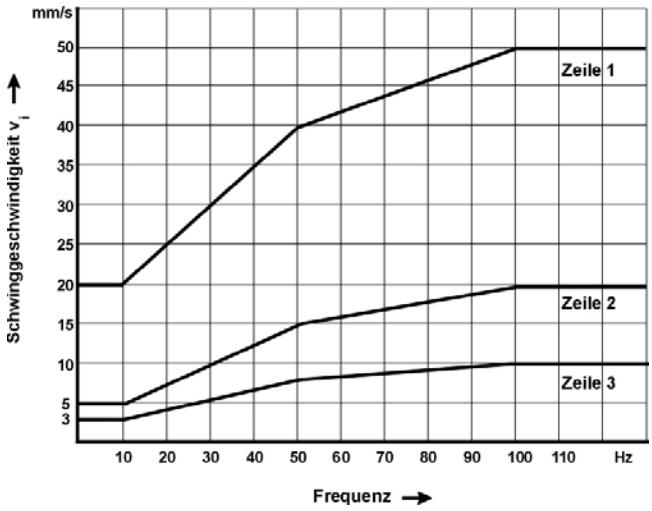

Tabelle 2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit vi zur Beurteilung von Kurzzeitigen Erschütterungen

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit vi in mm/s			
		Fundament			Deckenebene des obersten Vollgeschosses
		Frequenzen			alle Frequenzen
		1-10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100*Hz	
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
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

*) Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden

Nach DIN 4150-3-1999-02

Bild 10: Auszug aus DIN 4150-3, zulässige Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Frequenz

Die DIN 4150-3 läßt für die Bauwerke nach Zeile 1 bei höheren Frequenzen (siehe Messungen, >80 Hz) resultierende Schwinggeschwindigkeiten von 40 bis 50 mm/s zu.

Damit wird als oberste Grenze (Warnstufe 3) nach den o.a. Richtlinien eine zulässige resultierende Schwinggeschwindigkeit von 45 mm/s angesehen. Die Auslegung des Sprengvortriebs und die 1. Warnstufe wird aufgrund der hohen Schadensfolgen mit etwa 3-facher Sicherheit festgelegt.

5. Empfehlungen für die Überwachung der Arbeiten

Es werden laufend Messungen der Erschütterung an der Tunnelinnenwand durchgeführt. Diese Messungen sollen immer den Bereich der aktuellen Tunnelbrust abdecken, im Abstand von max. 50 m angeordnet werden und mindestens 200 m vorlaufen. Entsprechend dem Vortriebsstand sollen Abschnitte des Bestandstunnels auf Schäden überprüft und die Messinstrumente umgesetzt werden.
Die Messergebnisse sind online verfügbar und sollten wiederkehrend ausgewertet werden. Die Auswertung muß regelmässig durch sachkundige Fachleute auf dem Gebiet der Tunnelstatik und Sprengtechnik) durchgeführt werden.
Die Sprengungen zum Vortrieb des Fluchtstollens sollen bei Einhaltung des Überwachungsprogramms und der automatischen Alarmierung sowie bei vergleichbaren geologischen Verhältnissen bei laufendem Eisenbahnbetrieb durchgeführt werden. Im Lockermaterial und geologischen Störungszonen sollen nur in Zugspausen Sprengungen durchgeführt werden. Ebenso können die Querschläge (Verbindung zum Inntaltunnel) nur in Zugspausen vorgetrieben werden.

Folgende Warnstufen werden empfohlen:
Erste Warnstufe:

- Einberufung des Krisenteams
- Einstellung der Sprengarbeiten, Änderung Sprengkonzept (Reduktion der Abschlagslängen und Lademengen)
- Ev. Überprüfung des Tunnels auf Risse und sonstige Schäden

Zweite Warnstufe:

- Sofortige Sperre des Tunnels für den Betrieb
- Zwingend Überprüfung des Tunnels auf Risse und sonstige Schäden (Turmdrehwagen)
- Einberufung des Expertenteams

Dritte Warnstufe:

- Sofortige Sperre des Tunnels für den Betrieb
- Einberufung des Expertenteams

Grenzwerte für die Erschütterung

Für die **sprengtechnische Auslegung** der Ladungen beim Vortrieb wird eine zulässige resultierende Schwinggeschwindigkeit von $\mathbf{v_R}$**=12 mm/s** an der Tunnelinnenschale empfohlen.

Als **Warnwert für die erste Warnstufe** wird eine zulässige resultierende Schwinggeschwindigkeit von $\mathbf{v_R}$**=18 mm/s** empfohlen.

Als **Warnwert für die zweite Warnstufe** wird eine zulässige resultierende Schwinggeschwindigkeit von $\mathbf{v_R}$**=30 mm/s** empfohlen.

Als **Warnwert für die dritte Warnstufe** wird eine zulässige resultierende Schwinggeschwindigkeit von $\mathbf{v_R}$**=45 mm/s** empfohlen.

Innsbruck, am 07.10.2013

Dr. Siegfried Ebenbichler
Ebenbichler ZT-GmbH