



Erschütterungsminderung bei Fernbahnen

Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER
Montag, 09. September 2013, Technische Universität Graz

FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH | A-1140 Wien, Diesterweggasse 3 | tel +43 1 90 292-0 | fax +43 1 90 292-9000 | www.fcp.at

Inhalt



- Einleitung

- Schutzziele der Behörde

- Grundprinzip und Wirkungsweise

- Planungsgrundlagen

- Ausführungsbeispiele

- Messtechnische Überprüfungen

- Instandhaltung

Einleitung Erschütterungsbelastung



Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen

- Fühlbare Erschütterungsmissionen im Gebäude haben Frequenzen zwischen 1 bis 80 Hz
- Sekundärschall (auch Körperschall genannt) ist der durch schwingende Bauteile abgestrahlte Schall im tieffrequenten Bereich von 16 bis 250 Hz
- Die Fühlschwelle der Wahrnehmung des Menschen ist abhängig von der Aufmerksamkeit, der jeweiligen Aktivität und auch den Umwelteinflüssen

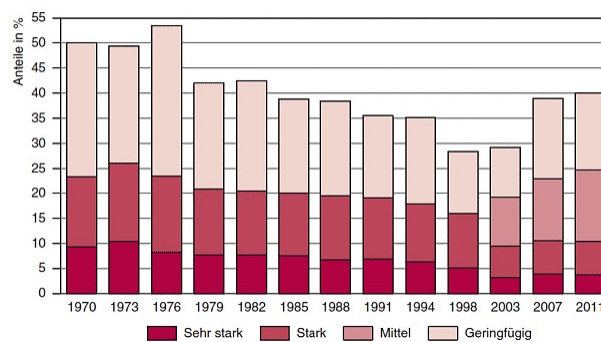
Belastung der innerstädtischen Wohnbevölkerung am Beispiel der Straßenbahn in Wien (1996)		
	Erschütterungen	Lärm
nicht gestört	89 %	90 %
etwas gestört	1 %	7 %
stark gestört	9 %	3 %
sehr stark gestört	1 %	0 %

Quelle: „Lärmbekämpfung in Wien“

Einleitung Lärmbelastung



Lärmstörung am Tag und/oder in der Nacht
Entwicklung 1970 bis 2011



Quelle: Statistik Austria, 25.04.2013

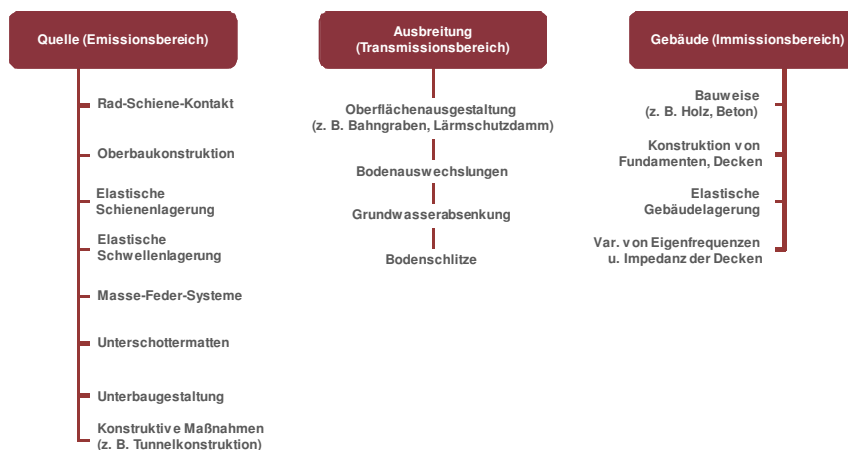
Einleitung Rahmenbedingungen



Schutz vor Erschütterungen – Rahmenbedingungen

- Gesetzliche Regelungen
- Stand der Technik
- Auflagen aus Genehmigungsverfahren

Einleitung Möglichkeiten der Erschütterungsminderung



Quelle: RVE 04.02.03

Schutzziele der Behörde Beispiel Lainzer Tunnel, Wien



Grenzwerte bei Vorbelastung

Erschütterungen: wesentlich strenger als ÖNORM S 9012

	Tag 06:00-22:00	Nacht 22:00-06:00
Maximalimmission	$K_{BS} \leq 4,0$	$K_{BS} \leq 0,3$
Durchschnittsimmission	$K_r \leq 0,115$	$K_r \leq 0,115$

Sekundärschall: ausreichender Schallschutz gemäß ÖNORM S 9012

	Tag 06:00-18:00	Abend 18:00-22:00	Nacht 22:00-06:00
Maximalimmission $L_{A,max}$	$\leq 45 \text{ dB(A)}$	$\leq 40 \text{ dB(A)}$	$\leq 35 \text{ dB(A)}$
Durchschnittsimmission $L_{A,eq}$	$\leq 35 \text{ dB(A)}$	$\leq 35 \text{ dB(A)}$	$\leq 25 \text{ dB(A)}$

Schutzziele der Behörde Beispiel Lainzer Tunnel, Wien



Grenzwerte ohne Vorbelastung

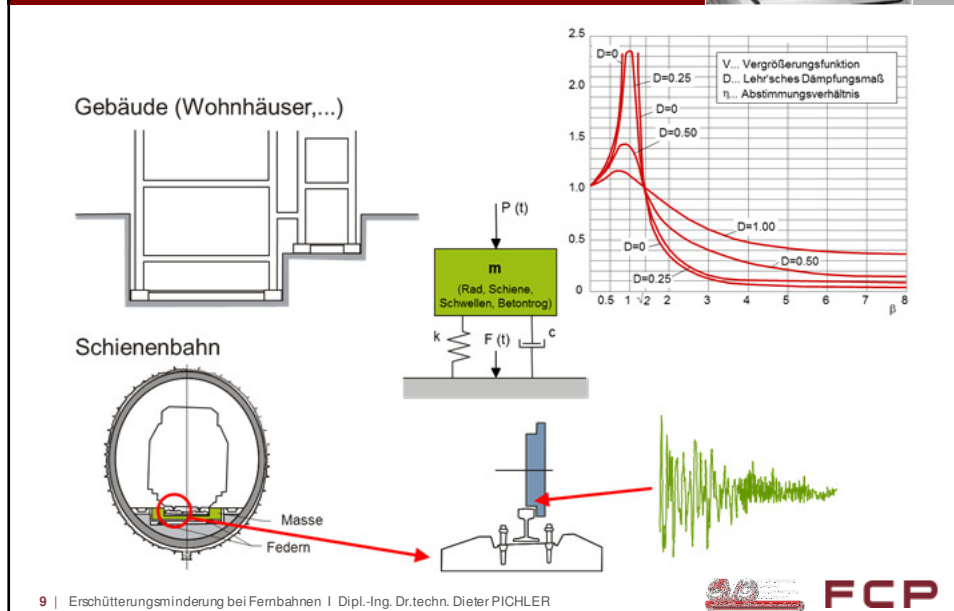
Erschütterungen: wesentlich strenger als ÖNORM S 9012

	Tag 06:00-22:00	Nacht 22:00-06:00
Maximalimmission	$K_{BS} \leq 0,3$	$K_{BS} \leq 0,3$
Durchschnittsimmission	$K_r \leq 0,115$	$K_r \leq 0,115$

Sekundärschall: guter Schallschutz gemäß ÖNORM S 9012

	Tag 06:00-18:00	Abend 18:00-22:00	Nacht 22:00-06:00
Maximalimmission $L_{A,max}$	$\leq 40 \text{ dB(A)}$	$\leq 35 \text{ dB(A)}$	$\leq 30 \text{ dB(A)}$
Durchschnittsimmission $L_{A,eq}$	$\leq 25 \text{ dB(A)}$	$\leq 25 \text{ dB(A)}$	$\leq 15 \text{ dB(A)}$

Grundprinzip und Wirkungsweise Masse-Feder-System



Planungsgrundlagen Art der Emission

Vollbahn Mischverkehr 22,5 to Achslast

Prognose der Immissionen

- Grundlagen: ÖNorm S 9012, RVE 04.02.02

Schutzmaßnahmen

- abhängig vom Schutzziel (Richtlinie: RVE 04.02.03)
- abhängig vom Ort (Emissions- oder Immissionspunkt)

⇒ Masse-Feder-System-Auslegung (f_1, m)

Planungsgrundlagen Randbedingungen



MFS-Auslegung

- 24 h-Betrieb (häufig Güterverkehr in der Nacht)
- überwiegend bei Tunnelstrecken
(bei Brücken und offenen Strecken in Einzelfällen)
- i.d.R. größere Distanz zur Wohnbebauung als z. B. bei U-Bahn und/oder Straßenbahn
- hohe Fahrgeschwindigkeiten und hohe Achslasten
- heterogenes Wagenmaterial
- geringere Taktfrequenz als z. B. bei U-Bahn



11 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Planungsgrundlagen Randbedingungen



MFS-Planung

- i.d.R. nur schienengebundener Verkehr (Ausnahme: Einsatzfahrzeuge)
- größere Kurvenradien und kleinere Längsneigungen
- Umwelteinwirkungen (Wasser, Frost)
- i.d.R. klare Unterbauverhältnisse
- häufig Neubautrassen
- hohe Anfahr- und Bremskräfte
- große Achslastunterschiede (Reisezugwagen, Güterzüge)
- unterschiedliches Wagenmaterial

⇒ Betriebssicherheit – Inspizierbarkeit

⇒ Dauerhaftigkeit als wesentliche Problemstellung

12 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Planungsgrundlagen MFS und Oberbau



Oberbausysteme

- Vignolschienenoberbau (mit und ohne Eindecksystem)
- Schotteroberbau
- Feste Fahrbahn



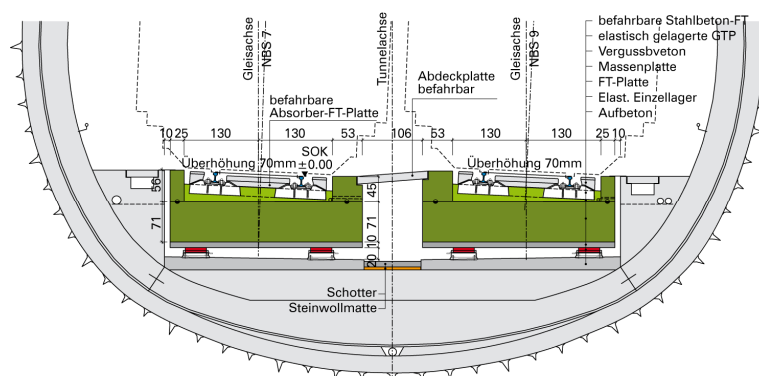
13 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Planungsgrundlagen MFS und Oberbau



MFS mit Einzellagerung, befahrbar



14 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Planungsgrundlagen Lastansätze



Vertikallasten:	UIC71, SW/2 mit $\alpha = 1,21$ und $\Phi = 1,30$ gleichmäßige Temperaturänderung: ± 10 K Temperaturgradient: ± 5 K
Einsenkungsbedingung:	$w_{\max} \leq 10$ mm
Tangentenneigung:	≤ 2 ‰ Freiland, ≤ 3 ‰ Tunnel
Verhältnis Einsenkung zu Biegelinienlänge:	$\leq 0,4$ ‰
Verwindung:	$\leq 0,5$ ‰

15 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Planungsgrundlagen Weitere Anforderungen



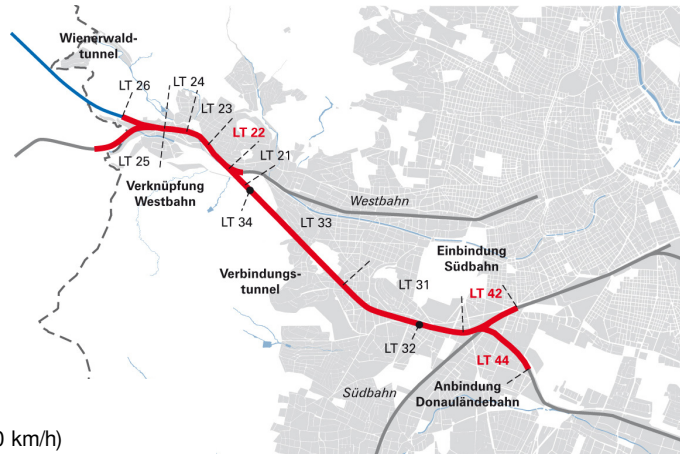
Schienezusatzspannungen

- Interaktion Oberbau – MFS:
EN 1991-2: $-72/+92$ N/mm² für Schienenform 60 E1 bzw. E2
Sonderfestlegungen für Feste Fahrbahn
Erhöhung bei Berücksichtigung aller Spannungsanteile
- Schienenbefestigungen
 - Zug- und Druckkräftebeschränkung entsprechend Befestigungssystem
- Beschleunigungen bei Zugsüberfahrt
 - EN 1990-A2: 3,5 m/s² (SchO)
5,0 m/s² (FF)
- Elastische Elemente (MFS-Lager)
 - Statische & dynamische Steifigkeit
 - Dauerhaftigkeit (Ermüdungsfestigkeit, Beständigkeit)
 - Inspizier- und Austauschbarkeit

16 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Ausführungsbeispiele Lainzer Tunnel Übersicht



L = 16.250 m
 $V_{\max} = 160 \text{ km/h (100 km/h)}$
 22 Weichen, 1 Kreuzungsweiche

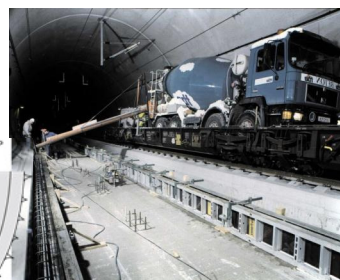
17 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Ausführungsbeispiele Lainzer Tunnel Einzellager



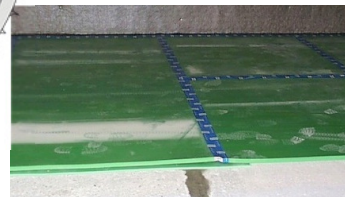
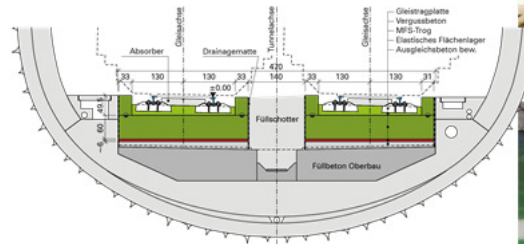
9,5 t/m
 7,5 Hz



18 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Ausführungsbeispiele Lainzer Tunnel Flächenlager



$\geq 8 \text{ t/m}$
 $\leq 10 \text{ Hz}$

19 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER

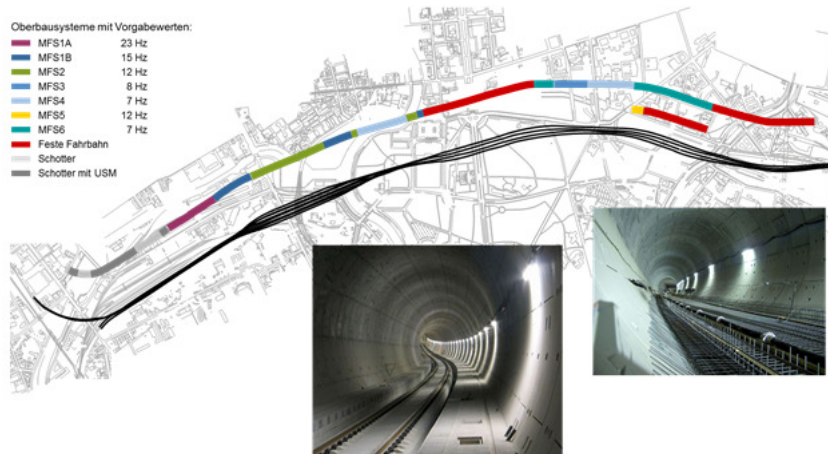


Ausführungsbeispiele Nord-Süd-Verbindung Berlin



Oberbausysteme mit Vorgabewerten:

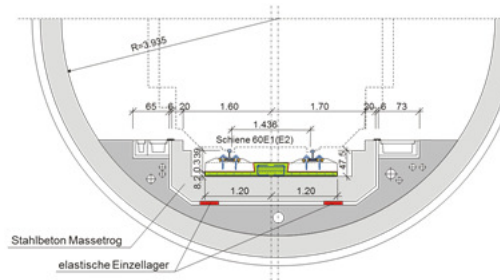
MFS1A	23 Hz
MFS1B	15 Hz
MFS2	12 Hz
MFS3	8 Hz
MFS4	7 Hz
MFS5	12 Hz
MFS6	7 Hz
Feste Fahrbahn	
Schotter	
Schotter mit USM	



20 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Ausführungsbeispiele Nord-Süd-Verbindung Berlin Einzellager

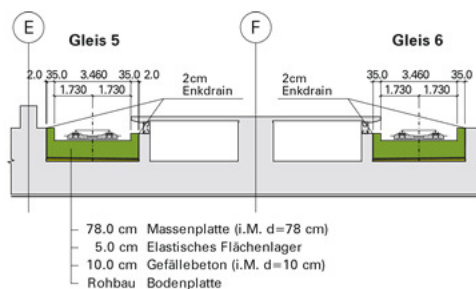


11 t/m
7 Hz

21 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Ausführungsbeispiele Nord-Süd-Verbindung Berlin Flächenlager

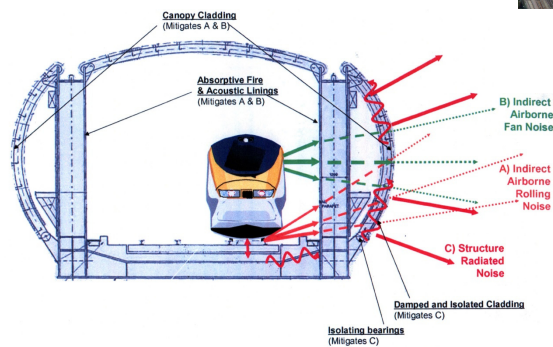


11 t/m
12 Hz

22 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Ausführungsbeispiele Channel Tunnel Rail Link, Objekt C104



23 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Messtechnische Überprüfungen Qualitätssicherung

Qualitätssicherung Masse-Feder-System

- Lager: Eignungsprüfung, Eigenüberwachung, Fremdüberwachung
- Eigenfrequenzen: Messungen während Bauphase
- Immissionen: Messungen nach Inbetriebnahme

Qualitätssicherung Gleislage

- vor dem Betonieren
- nach dem Betonieren
- vor Inbetriebnahme (Gleismesswagen)

Qualitätssicherung Feste Fahrbahn – Verguss

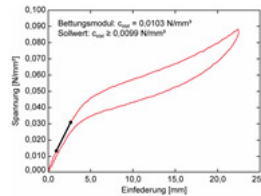
- Vergussversuche
- Endoskopie

24 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER

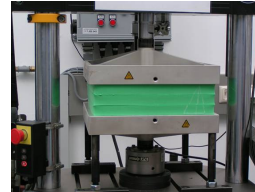
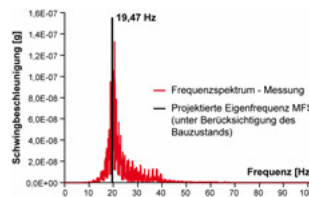


Messtechnische Überprüfungen Qualitätssicherung MFS-Herstellung

- Prüfung einer Lagerprobe mit Auswertung



- Eigenfrequenzmessung



- Messungen im Betrieb



25 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Messtechnische Überprüfungen Qualitätssicherung Gleislage

Anforderungen

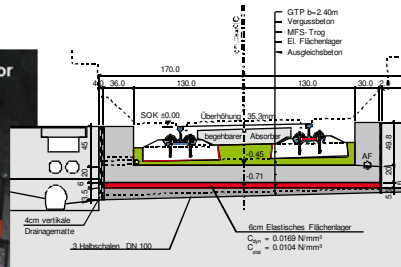
- Fehllage (Grenzwert = Sollwert ± 5 mm)
- Fehlhöhe (Grenzwert = Sollwert ± 5 mm)
- Spurweite (Grenzwert = 1437 mm +1 mm / -2 mm)
- Abweichung des Stützpunktabstandes (Grenzwert = 650 mm ± 10 mm)
- Angabe des Richtungs- und Längshöhenverlaufs

⇒ Verteilung der Fehler: Normalverteilung

26 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Messtechnische Überprüfungen Eigenfrequenzen eines MFS

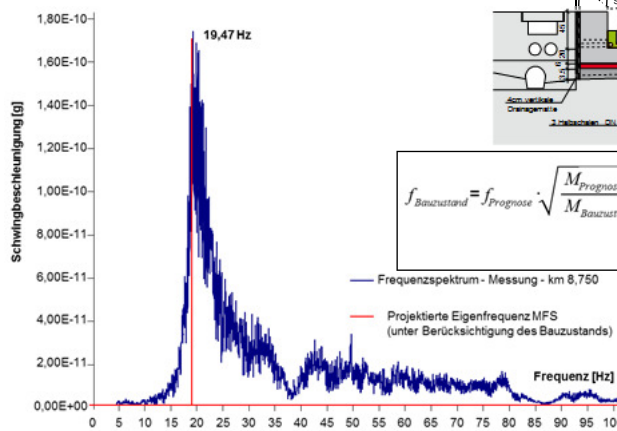


Transiente Anregung:
Stöße auf Gleistragplatte

27 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Messtechnische Überprüfungen Eigenfrequenzen eines MFS



$$f_{\text{Bauzustand}} = f_{\text{Prognose}} \sqrt{\frac{M_{\text{Prognose}}}{M_{\text{Bauzustand}}}}$$

Leichtes MFS
4,4 t/m

$f_{\text{Prognose}} = 18,0 \text{ Hz}$

$f_{\text{Bauzustand}} = 19,47 \text{ Hz}$

28 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Instandhaltung



Starke Zunahme des Bestands an MFS

- Beispiel ÖBB:
 - 1995: wenige 100 m in Betrieb
 - 2012: mehr als 50 km in Betrieb

⇒ Erfordernis: allgemein gültiger Instandhaltungsplan

Entwicklung Instandhaltungsplan MFS für ÖBB

- Analyse von Erfahrungen (gleichartige und artverwandte Konstruktionen)
- Identifikation von Schadensszenarien und Gefährdungspotentialen
- Risikoanalyse und Risikobewertung

⇒ Inspektionstätigkeit und Inspektionshäufigkeit

Instandhaltung Schadensszenarien



Beispiele MFS mit Einzellager

- Schadensfall 1
Es kommt zu einer Verschlechterung der Lager, die ursprüngliche Frequenzabdeckung kann nicht mehr erreicht werden. Dies wäre durch eine Versteifung der Lager durch Kompression möglich.
- Schadensfall 2a
Durch übermäßige Korrosion oder durch ein Verrutschen der elastischen Schicht kommt es zum Ausfall eines Lagers.
- Schadensfall 2b
Durch übermäßige Korrosion, durch ein Verrutschen der elastischen Schicht, oder durch extreme Umwelteinwirkungen (Austritt gefährlicher Flüssigkeiten) kommt es zum Ausfall mehrerer Lager.

Instandhaltung Risikoanalyse auf Basis RAMS



Bewertung gemäß ÖN EN 50126

Häufigkeit von Gefahrenfällen	Risikostufen			
	unerwünscht	intolerabel	intolerabel	intolerabel
häufig	unerwünscht	intolerabel	intolerabel	intolerabel
wahrscheinlich	tolerabel	unerwünscht	intolerabel	intolerabel
gelegentlich	tolerabel	unerwünscht	unerwünscht	intolerabel
selten	vernachlässigbar SF1	tolerabel	unerwünscht	unerwünscht
unwahrscheinlich	vernachlässigbar	vernachlässigbar SF2a	tolerabel SF2b	tolerabel SF2b
unvorstellbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar
	unbedeutend	marginal	kritisch	katastrophal
	Gefahrenstufen			

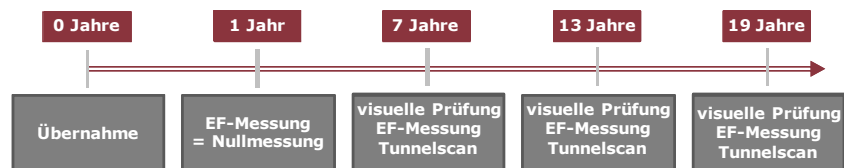
31 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Instandhaltung



Inspektionstätigkeit und Inspektionshäufigkeit



Eigenfrequenzmessungen (EF) sind optional und vermindern die Prüfintensität bei der visuellen Prüfungen (10 % an Stelle von 20 % der Lager alle 6 Jahre).

Für die Prüfung der Lage des MFS können Tunnelscan-Daten oder vergleichbare Messmethoden herangezogen werden.

Festhaltekonstruktionen sind visuell und manuell vollständig alle 6 Jahre zu prüfen, bei Vorhandensein von Tunnelscan-Daten verringert sich die Prüfintensität auf 1/3-tel aller Festhaltekonstruktionen.

32 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Instandhaltung Endoskopische Untersuchung



Beispiel Zimmer Tunnel



33 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



Instandhaltung Prüfverfahren Eigenfrequenzmessungen



Messabstand 100 m in Gleislängsrichtung
(deckt ca. 4 Lagerreihen mit gegenseitigem Abstand von ca. 3,0 m ab)

Zielwert die bei der Nullmessung festgestellte Eigenfrequenz

Schwellenwerte

- > ± 1 Hz \Rightarrow bei der nächsten Messung ist am selben Messpunkt wieder zu messen
- $\pm 1,5$ bis ± 2 Hz \Rightarrow detaillierte Auswertung, Vergleich Messschrieb Oberbaumesswagen
- > ± 2 Hz detaillierte Auswertung, Vergleich Messschrieb Oberbaumesswagen, visuelle Inspektion

Absoluter Schwellenwert

- > ± 4 Hz \Rightarrow detaillierte Auswertung und Vergleich Messschrieb Oberbaumesswagen, visuelle Inspektion und Einleitung von Sofortmaßnahmen

34 | Erschütterungsminderung bei Fernbahnen | Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER



FCP



ÖSTERREICHISCHE
VERKEHRS-
WISSENSCHAFTLICHE
GESELLSCHAFT
www.oevg.at



Erschütterungsminderung bei Fernbahnen

Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter PICHLER
Montag, 09. September 2013, Technische Universität Graz

FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH | A-1140 Wien, Diesterweggasse 3 | tel +43 1 90 292-0 | fax +43 1 90 292-9000 | www.fcp.at