

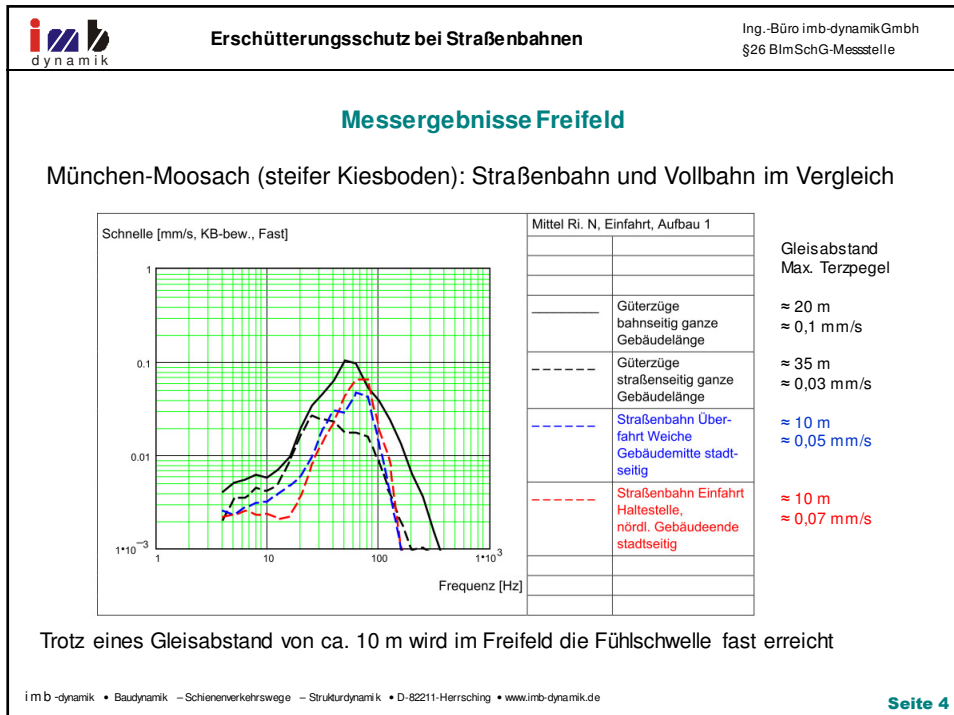
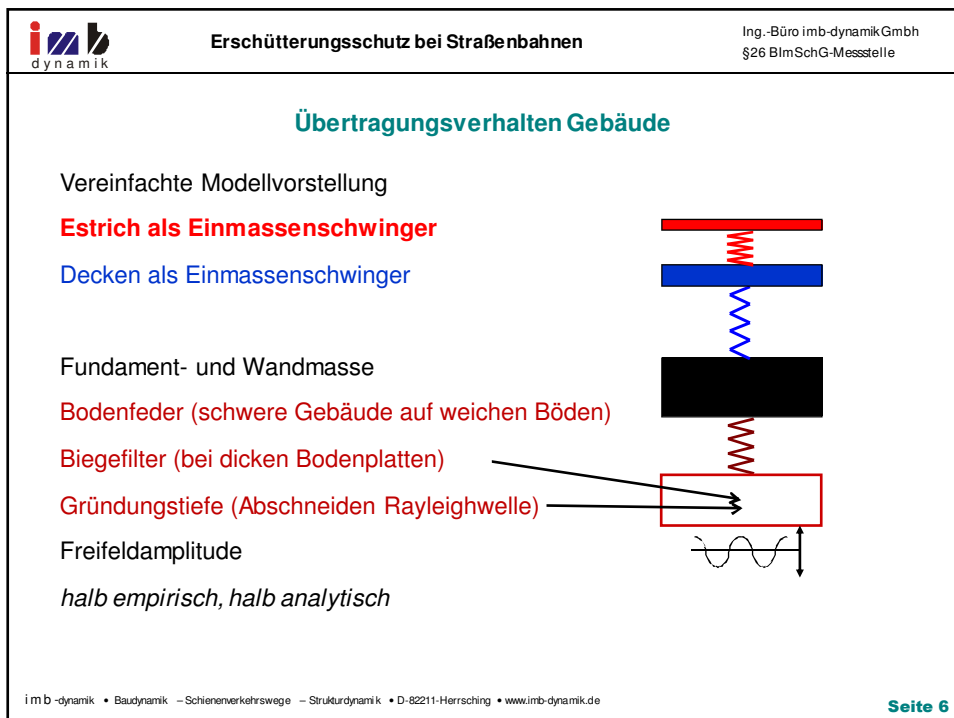
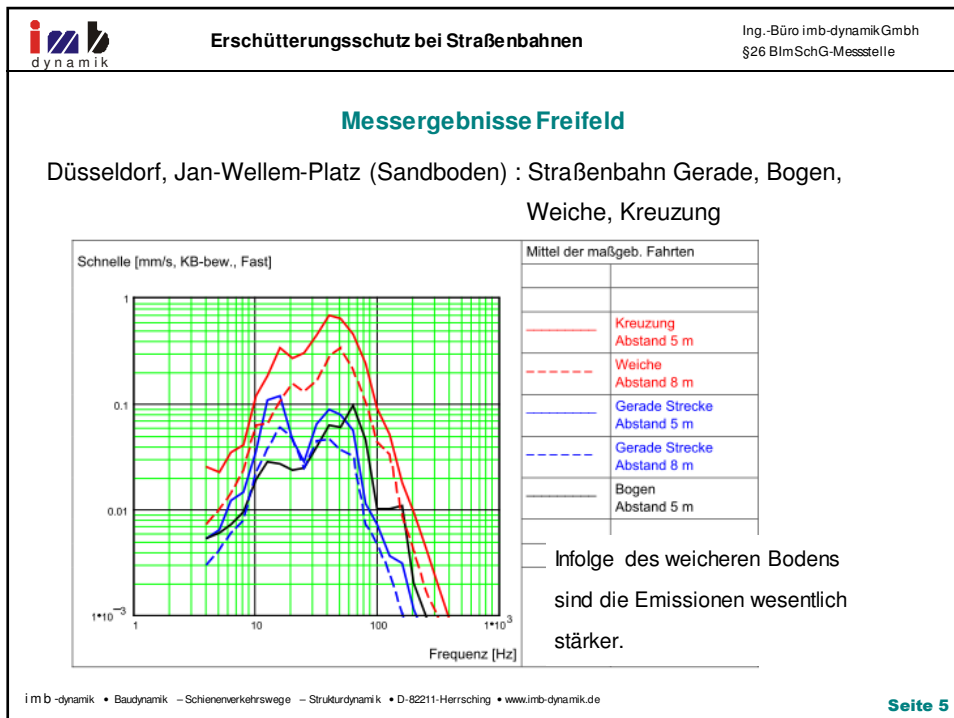


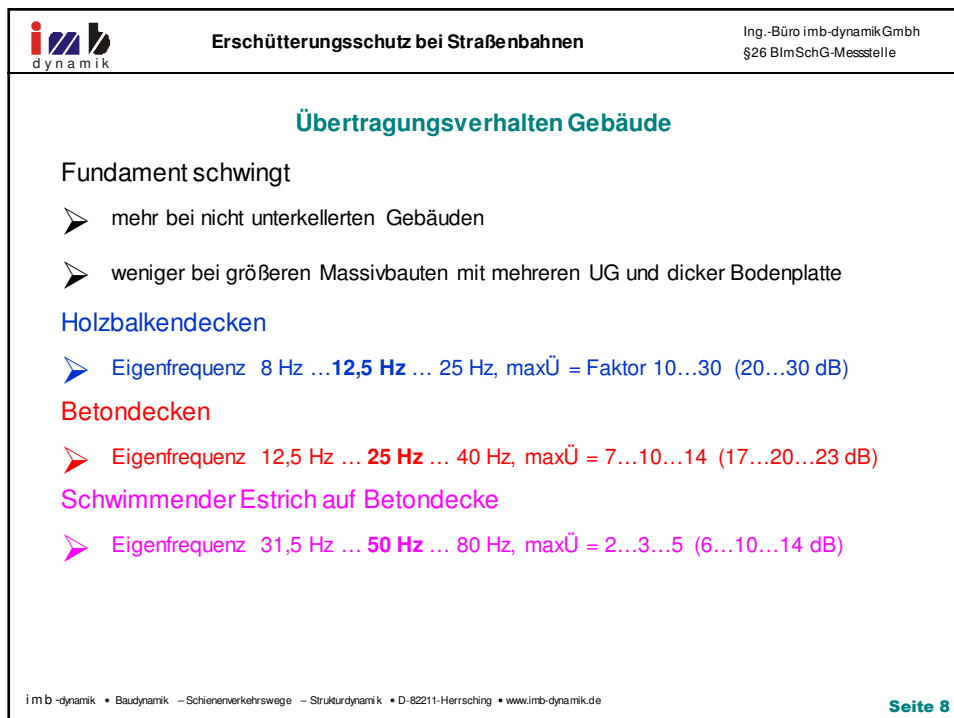
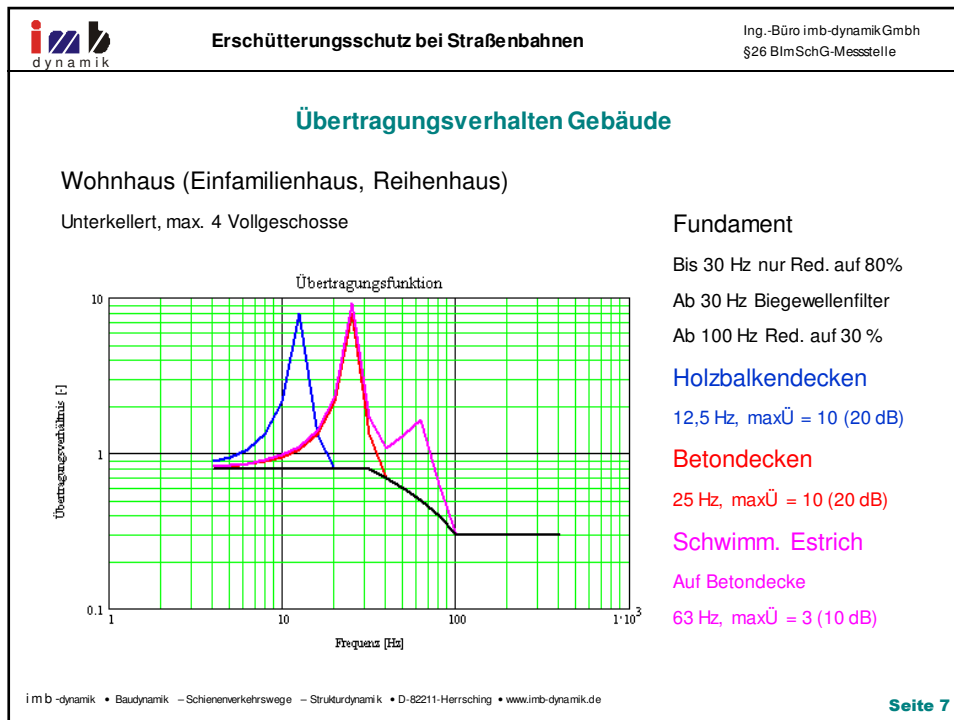
	Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen	Ing.-Büro imb-dynamik GmbH §26 BImSchG-Messstelle
		
Dr.-Ing. N. Breitsamer imb-dynamik GmbH info@imb-dynamik.de www.imb-dynamik.de		Eisenbahnoberbau und Strukturtechnik D-82211 Herrsching (Ammersee) Mühlfelder Straße 18a tel +49-8152-99334-0 fax +49-8152-9992782
<small>imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturtechnik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de</small>		

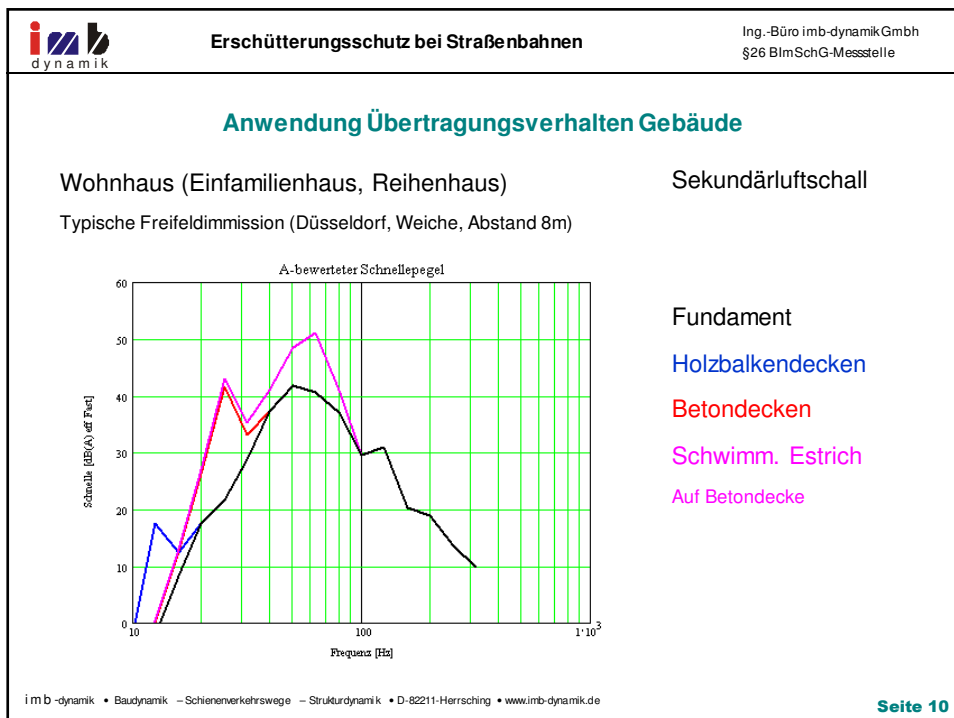
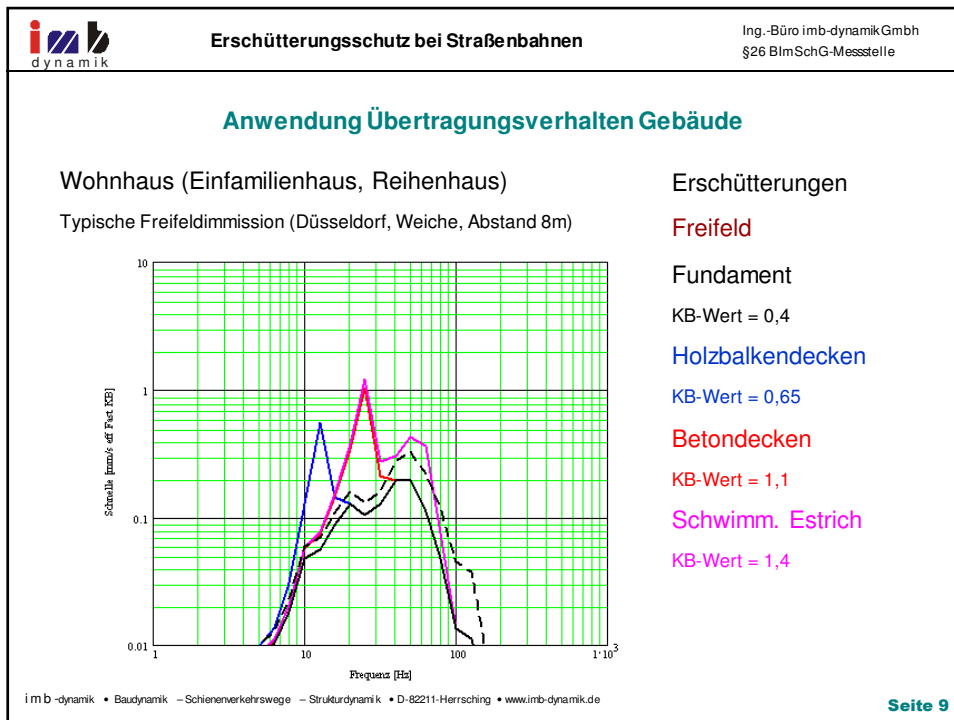
	Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen	Ing.-Büro imb-dynamik GmbH §26 BImSchG-Messstelle
Inhaltsübersicht		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vergleich Vollbahn – Straßenbahn Fahrzeug, Fahrweg, Umgebung (Bebauung) ➤ Immissionen in Gebäuden Erschütterungen und Sekundärluftschall ➤ Erschütterungsschutzmaßnahmen Berechnung, Wirkungsweise, konstruktive Möglichkeiten ➤ Sonderfall Theodor Körner Straße Problematik, Simulation, Aufklärung ➤ Fazit 		
<small>imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturtechnik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de</small>		
		Seite 2

		Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen	Ing.-Büro imb-dynamik GmbH §26 BImSchG-Messstelle
Vergleich der Parameter Vollbahn / Straßenbahn			
Vollbahn Separater Fahrweg SchO oder FF Fahrgeschwindigkeiten 80... 160 ...300 km/h Achslasten 14... 20 ...25 to Unabgefederte Radsatzmasse 1500...3000 kg Abstand Bebauung \geq (15) 20 m (oberirdisch) Radius \geq ca. 100 m Weichen „schleifend“ am Herzstück Kreuzungen „schleifend“ Rad fährt stets auf dem Radreifen Spurkranzlauf nur in engen Bögen	Straßenbahn Meist in Straße integriert Meist als FF 30... 50 ...60 km/h \leq 12 to 500...1000 kg (ältere 1500 kg) \geq ca. 4 m \geq ca. 10 m Weichen „steiler“ Kreuzungen rechteckig Rad kann auch auf dem Spurkranz fahren (z.B. in Kreuzungen)		
imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturdynamik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de		Seite 3	









imb
dynamik

Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen

Ing.-Büro imb-dynamik GmbH
§26 BImSchG-Messstelle

Folgerung für Schutzmaßnahmen

- Für Erschütterungen sind Holz- und Betondecken maßgebend
- Zugehöriger Frequenzbereich 10 bis 30 Hz
- Für Sekundärluftschall sind schwimmende Estriche maßgebend
- Zugehöriger Frequenzbereich 40 bis 80 Hz
- Im Fall gemischter Bebauung gilt:
- Sekundärluftschallempfindliche Häuser (mit schw. Estrichen) treten zusammen mit erschütterungsempfindlichen Häusern (insbesondere Altbauten mit Holzbalkendecken) auf.
- Maßnahmen gegenüber Sekundärluftschall dürfen Erschütterungen nicht wesentlich verstärken.

imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturdynamik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de

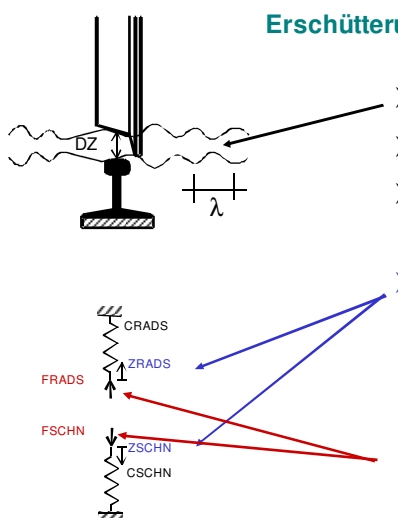
Seite 11

imb
dynamik

Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen

Ing.-Büro imb-dynamik GmbH
§26 BImSchG-Messstelle

Erschütterungsentstehung



- Differenzweg zwischen Rad und Schiene
- Wellenlängen -> Frequenzen $f = v/\lambda$
- Schiene und Rad besitzen dynamische Steifigkeiten (Feder, Dämpfer, Masse)
- Schwingwege verteilen sich auf Rad und Schiene gemäß den Steifigkeiten
- dynamische Kräfte proportional zu den dynamischen Steifigkeiten

$$ZSCHN = \frac{CRADS}{CRADS + CSCHN} \cdot DZ$$

$$FSCHN = CSCHN \cdot ZSCHN$$

imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturdynamik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de

Seite 12

imb
dynamik

Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen

Ing.-Büro imb-dynamik GmbH
§26 BImSchG-Messstelle

Dynamische Modellierung

Simulationsmodell iSi, exemplarisch für SchO

Fahrzeugmodell

Stützpunktmodell

Schiene:

Zwischenlage:
Feder-Dämpfer-Kombination

Schwelle:
massebelegter Starrkörper

Besohlung:
Feder-Dämpfer-Kombination

Schotter:
1-dimensionales
elastisches Kontinuum

Unterschottermatte:
Feder-Dämpfer-Kombination

Untergrund:
isotroper elastischer Halbraum

kontinuierlich diskrete Lagerung (21 Schwellen) kontinuierlich

Aus dem Stützpunktmodell zusammen mit den Schieneigenschaften wird (ausgehend von den unendlich entfernten Enden bis zum Kontaktpunkt) das vollständige Gleismodell zusammengesetzt

beliebige Frequenzabhängigkeit aller Parameter

imb -dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturdynamik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de

Seite 13

imb
dynamik

Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen

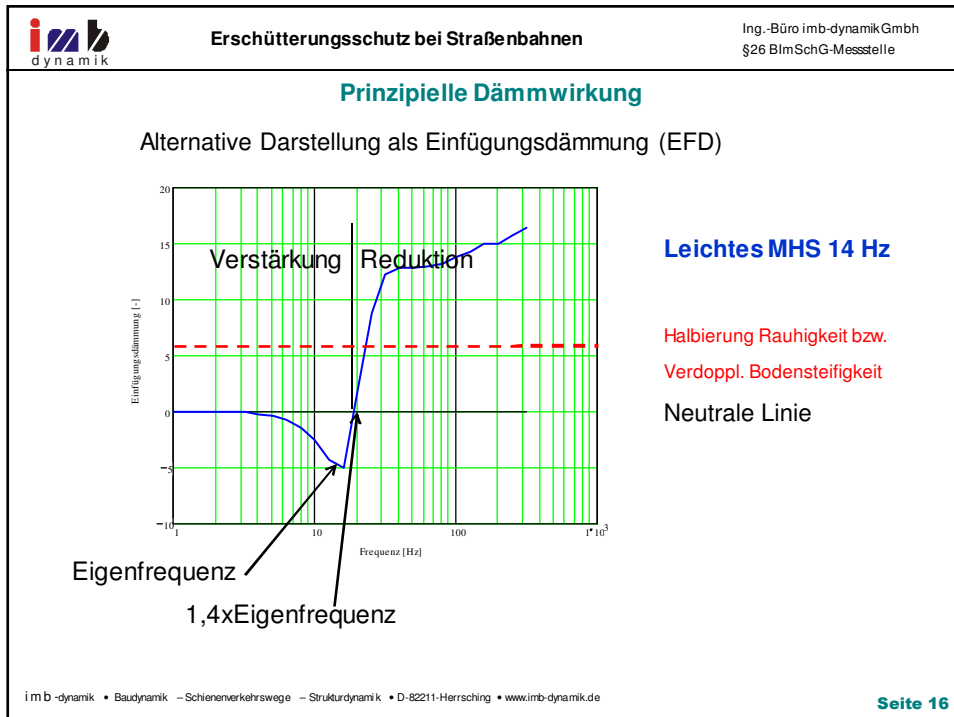
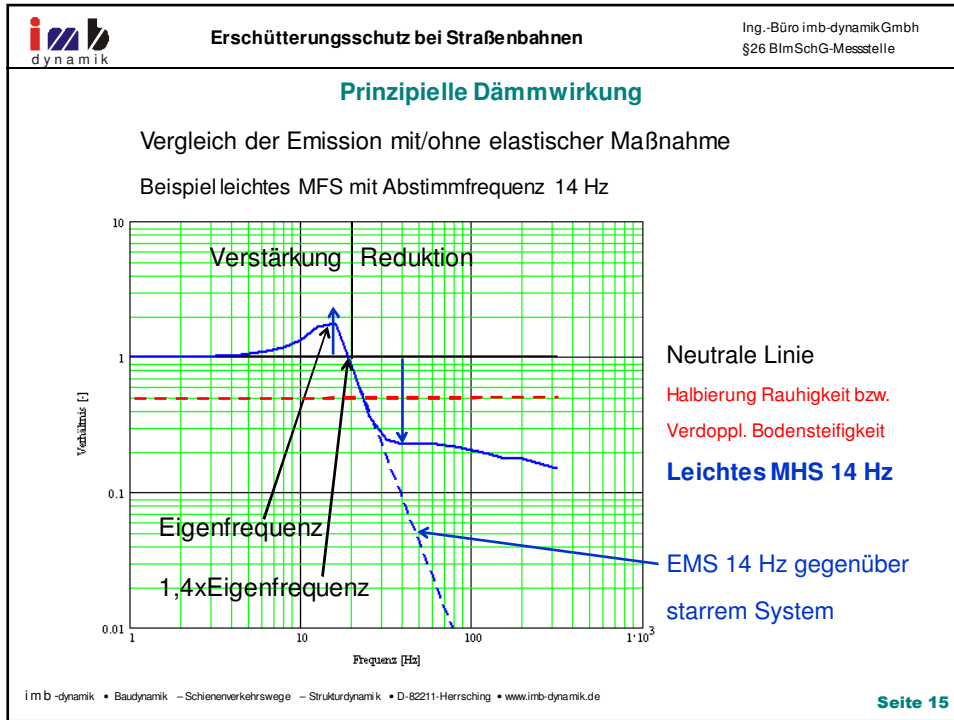
Ing.-Büro imb-dynamik GmbH
§26 BImSchG-Messstelle


Prinzipiell mögliche aktive Schutzmaßnahmen

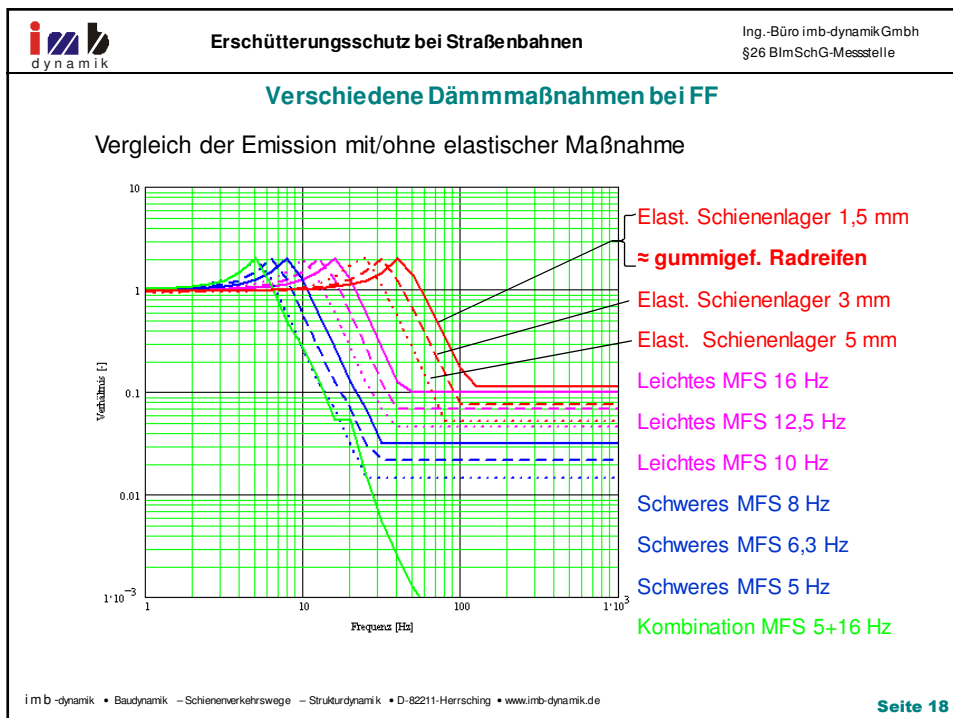
- Reduktion der Anregung (Radunrundheit, Schienenrauigkeit)
 - Abdrehen der Räder, Schleifen der Schienen
 - verbleiben Geometriestörungen bei Weichen und Kreuzungen
- Veränderung der Lasteinleitung in den Untergrund
 - Bodenaustausch, Bodenverbesserung bei Weichschichten
- Elastische Maßnahmen (Dämmung)
 - Fahrzeugseitig: gummigefederte Radreifen.
 - Fahrwegseitig: elastische Schienenlagerung, besohlte Schwellen, USM, leichte und schwere MFS.
 - Die elastischen Maßnahmen sind heute Standard
 - Wesentlich ist die dynamisch wirksame Masse
 - Zur Auslegung sind dynamische Rechenmodelle erforderlich (Resonanzen)

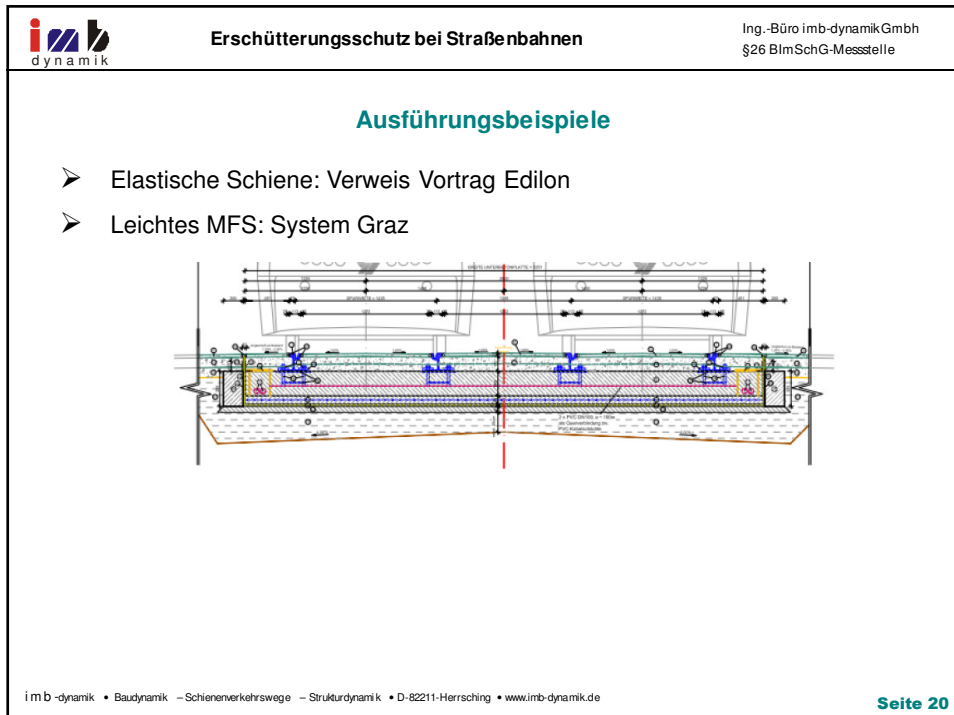
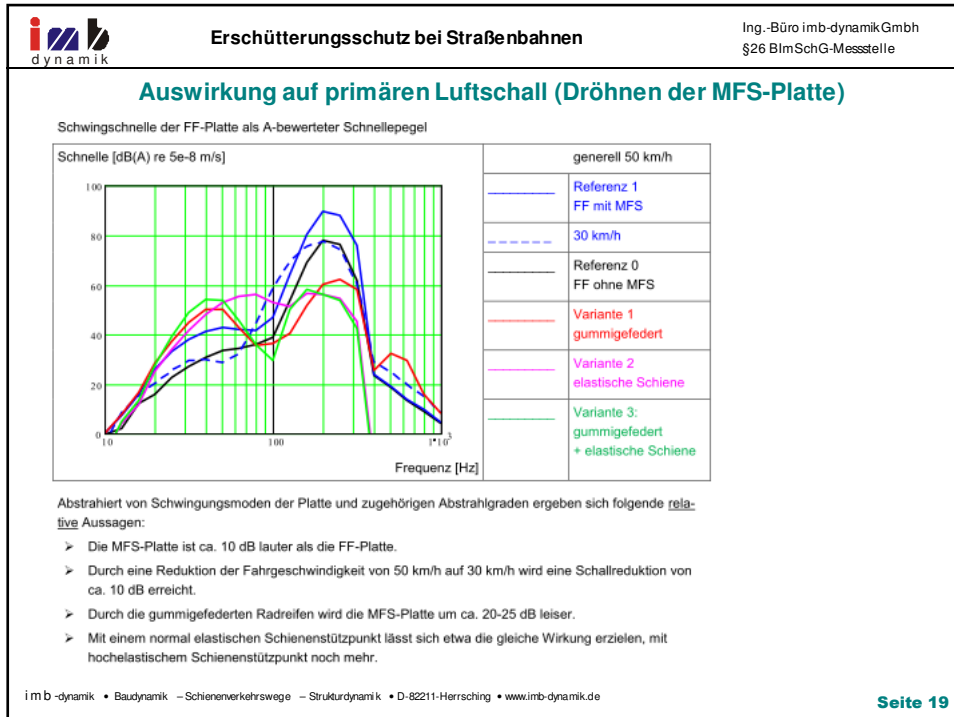
imb -dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturdynamik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de


Seite 14



		Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen	Ing.-Büro imb-dynamik GmbH §26 BImSchG-Messstelle
Elastische Schutzmaßnahmen			
Feste Fahrbahn Gummigefederte Radreifen Kontinuierliche elastische Schienenlagerung (z.B. Edilon) <i>Elastische Schwellenschuhe</i> Leichtes MFS (10 bis 20 Hz) flächig gelagert, nur konstruktiv bewehrt Schweres MFS (5 bis 10 Hz) Einzellager (Elastomer oder Stahlfedern) bemessene Bewehrung MFS-Kombination Stahlfedern 5 Hz + IMFS 16 Hz	SchO <i>Gummigefederte Radreifen</i> <i>(Hoch)elastischer Schienenstützpunkt</i> 60 kN/mm, 22,5 kN/mm, 10 kN/mm <i>Elastische Schwellenbesohlung</i> <i>Unterschottermatten (USM)</i> <i>MFS mit Schottertrog</i> <i>Prinzipiell wie bei der Vollbahn</i>		
imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturdynamik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de		Seite 17	





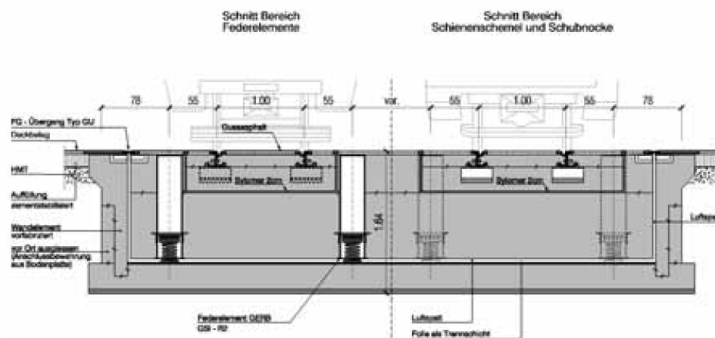


Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen

Ing.-Büro imb-dynamik GmbH
§26 BImSchG-Messstelle


Ausführungsbeispiele

➤ Kombination schweres/leichtes MFS: Tram Basel



imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturtechnik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de

Seite 21



Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen

Ing.-Büro imb-dynamik GmbH
§26 BImSchG-Messstelle

Sonderfall Theodor Körner Straße

Leichtes MFS: System Graz mit 16 Hz Abstimmfrequenz

Problem: große Erschütterungsverstärkung auf Holzdecken und geringe akustische Wirkung

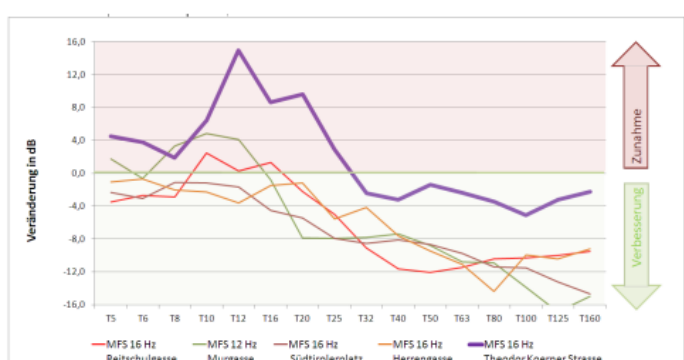



Abbildung 4-1 Gemessene Wirksamkeit in der Theodor Körner Straße im Vergleich mit anderen Straßenzügen

imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturtechnik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de

Seite 22



Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen

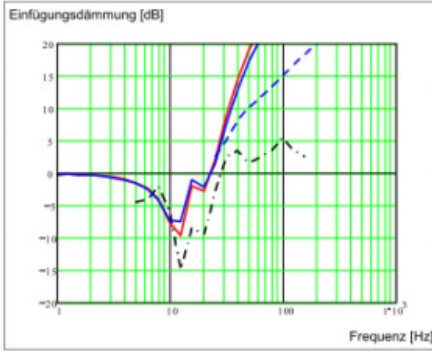
Ing.-Büro imb-dynamik GmbH
§26 BImSchG-Messstelle

Sonderfall Theodor Körner Straße

Aufklärung im Rahmen des Expertenteams in mehreren Schritten

Schritt 1: Simulation mit Standardvorgehensweise

Berücksichtigung Längsrichtung und Bodenschichtung




Einfügungsdämmung [dB]

Frequenz [Hz]

—	Berechnet, $\eta=0,1$
—	Berechnet, $\eta=0,2$
- - -	qualitativ, $\eta=0,2$ Boden als Kontinuum
- - - - -	gemessen

Die Charakteristik der gemessenen EFD (2 Resonanzeinbrüche bei ca. 12,5 und 20 Hz) kann qualitativ abgebildet werden, nicht aber die Größe der Resonanzverstärkung.
Es zeigt sich, dass so die gemessene Situation nicht ausreichend simuliert werden kann.

imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturtechnik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de
Seite 23

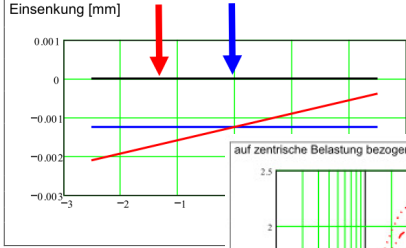


Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen

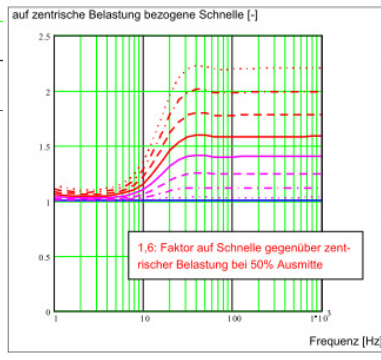
Ing.-Büro imb-dynamik GmbH
§26 BImSchG-Messstelle

Sonderfall Theodor Körner Straße

Schritt 2: erweiterte Simulation -> Berücksichtigung der Querrichtung, ausmittige Belastung:



Einsenkung [mm]



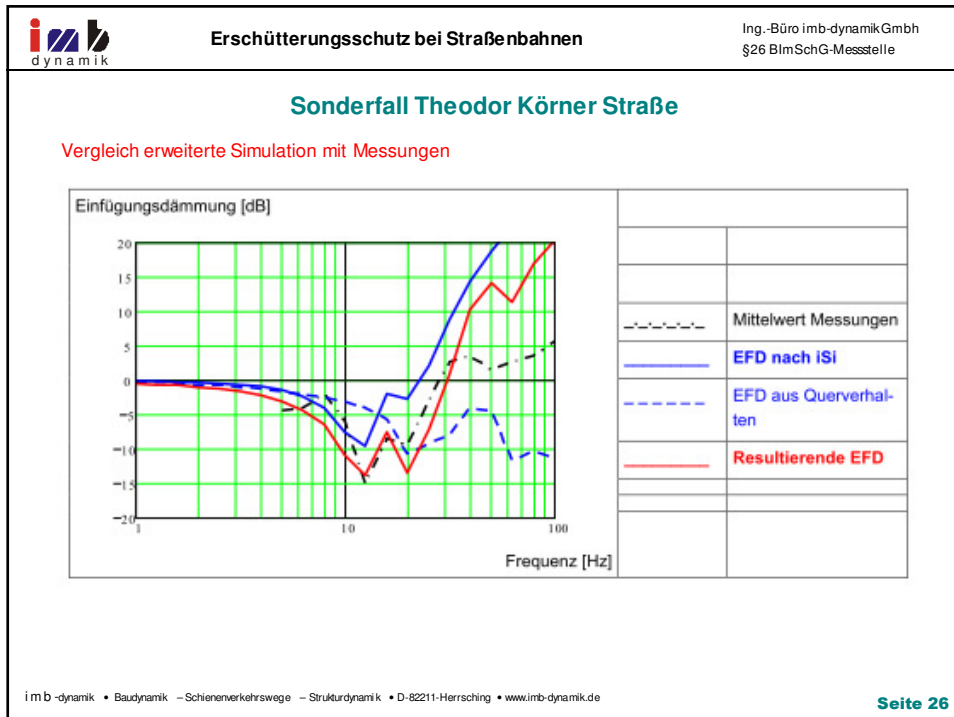
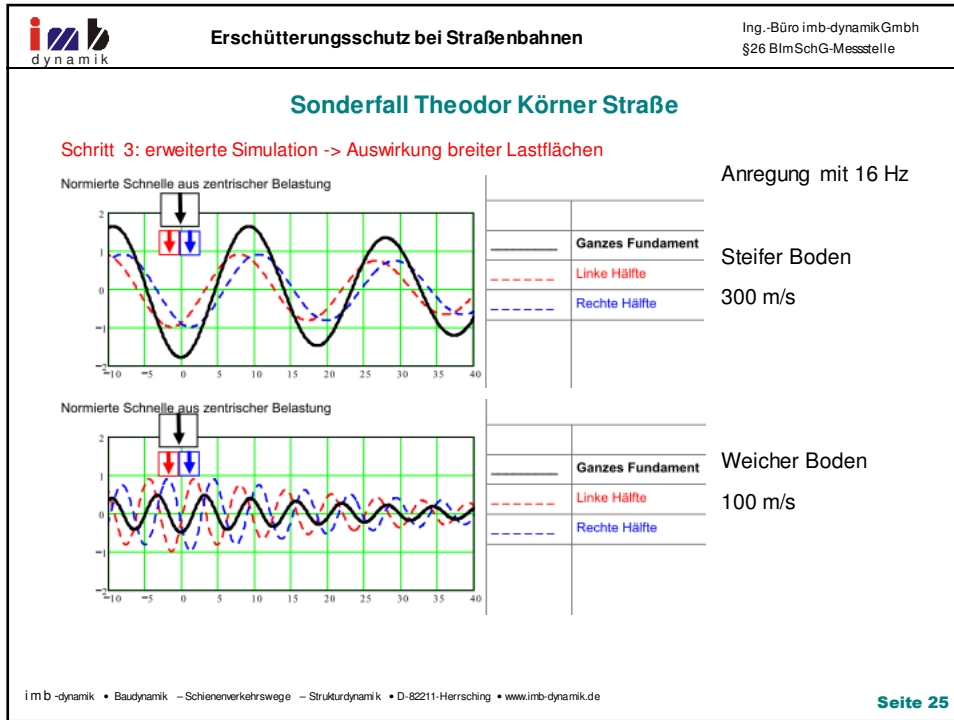
auf zentrische Belastung bezogene Schnelle [-]

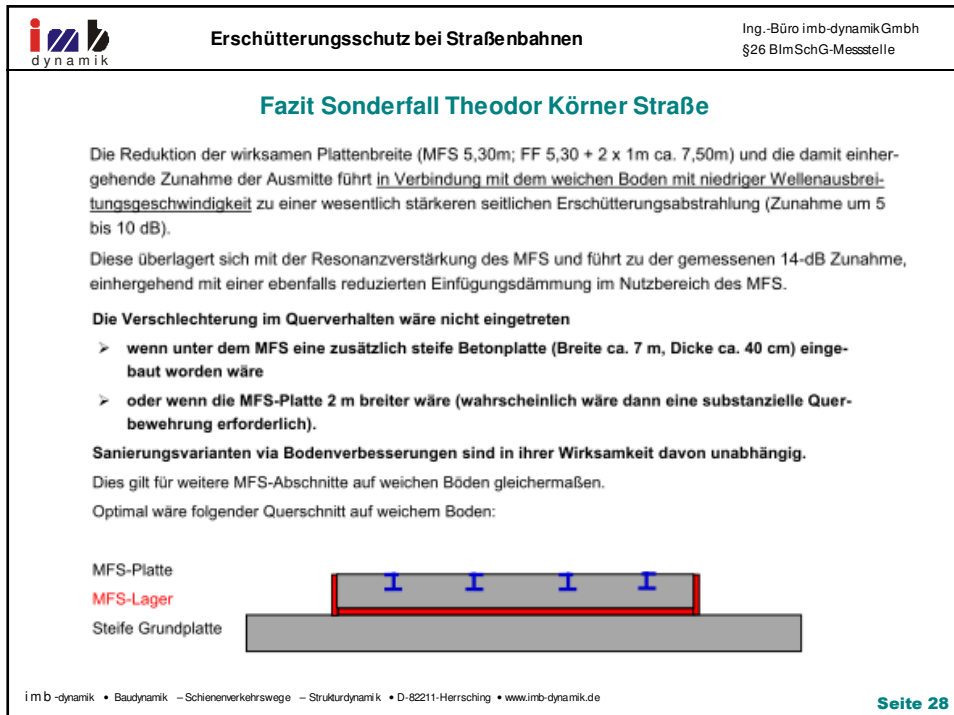
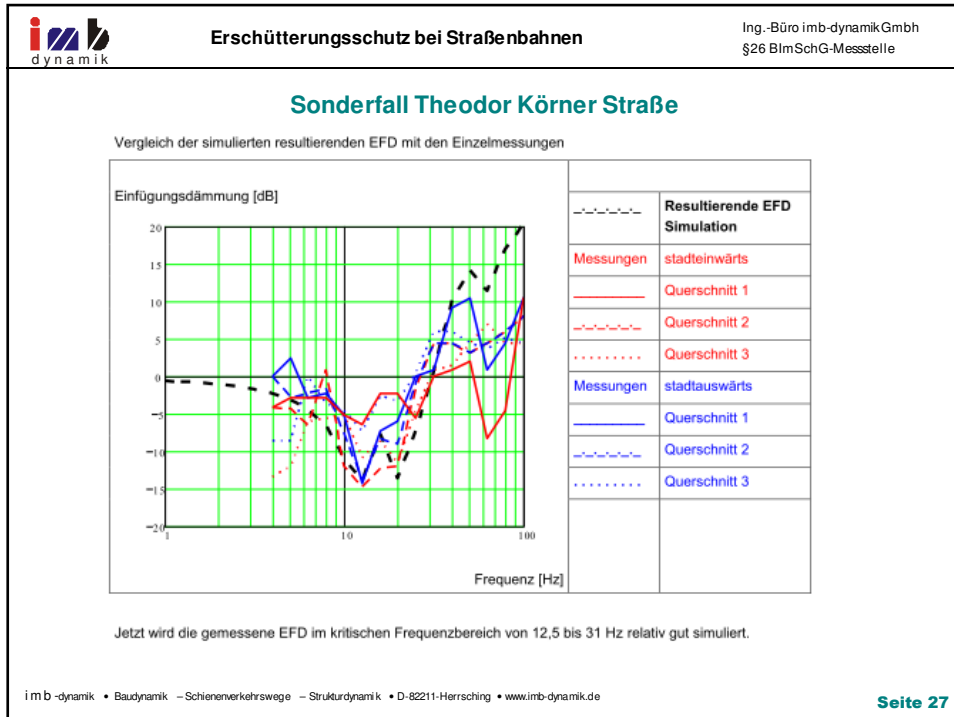
Frequenz [Hz]


- - - - -	Ausmitte 80%
- - - - -	Ausmitte 70%
- - - - -	Ausmitte 60%
- - - - -	Ausmitte 50%
- - - - -	Ausmitte 40%
- - - - -	Ausmitte 30%
- - - - -	Ausmitte 20%
- - - - -	Ausmitte 10%
—	Zentrische Belastung

1,6: Faktor auf Schnelle gegenüber zentrischer Belastung bei 50% Ausmitte

imb-dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturtechnik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de
Seite 24





 i m b d y n a m i k	Erschütterungsschutz bei Straßenbahnen	Ing.-Büro imb-dynamik GmbH §26 BImSchG-Messstelle
Fazit		
<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="373 445 1198 517">➤ Gummigefederter Radreifen Geringe Sekundärluftschallreduktion, erschütterungsneutral, Reduktion Plattendröhnen<li data-bbox="373 533 1198 640">➤ Hochelastische Schienenlagerung (Edilon) Sekundärluftschallreduktion, ev. erschütterungsverstärkend, sehr große Schieneneinsenkungen, wasserempfindlich<li data-bbox="373 656 1198 757">➤ Leichtes MFS Gute Sekundärluftschallreduktion, bei Holzdecken erschütterungsverstärkend, Plattenbreite bei weichen Böden beachten, rel. kostengünstig<li data-bbox="373 772 1198 880">➤ Schweres MFS Sehr gute Sekundärluftschallreduktion, gute Erschütterungsreduktion, Plattenbreite bei weichen Böden beachten, wasserempfindlich, sehr teuer		
<p data-bbox="331 976 911 992">imb -dynamik • Baudynamik – Schienenverkehrswege – Strukturdynamik • D-82211-Herrsching • www.imb-dynamik.de</p> <p data-bbox="1187 981 1262 999" style="text-align: right;">Seite 29</p>		