

A stylized bar chart graphic consisting of 15 vertical bars of varying heights, colored in shades of blue. The bars are arranged in a roughly bell-shaped curve, peaking in the center. The bars are positioned behind the letters 'I' and 'R' of the word 'SCIENCE'.

**SCIENCE**



# Normen, Messung und Beurteilung von Erschütterungen bei Schienenbahnen

DI Wolfgang Steinhauser  
Steinhauser Consulting Engineers ZT-GmbH

# Agenda

- Unternehmen
- Normen
  - S9012
  - S9020
- Problemstellung
- Messung von Erschütterungen
- Prognose von Erschütterungen
- Beurteilung

# Agenda

- Unternehmen
- Normen
  - S9012
  - S9020
- Problemstellung
- Messung von Erschütterungen
- Prognose von Erschütterungen
- Beurteilung

# Unternehmen

- 1973 Gründung des Büros durch Univ.Prof.Dr. Peter Steinhauser  
Hauptarbeitsgebiet seit Beginn: Erschütterungen und Sekundärschall
- 1993 Beginn Entwicklung VibroScan-Verfahren
- 2010 Gründung der ZT GmbH

## Arbeitsgebiete:

Erschütterungen und Sekundärschall, Schall, Luftgüte, Klima, Sprengtechnik, Seismik, Beschattung, uvm.

## Internationale Erfahrung

Projekte in Österreich, Deutschland, Schweiz, FL, Italien, Griechenland, Irland, Slowenien, Ungarn, Spanien, Neuseeland, Kanada, uvm.

## Forschung und Entwicklung

mehr als 100 Publikationen, eigene Softwareentwicklung, patentiertes VibroScan Verfahren

# Referenzen Schienenverkehr

- Vollbahn (ÖBB, DB, SBB, adif)
- S-Bahn (Wien, Salzburg, OÖ, NÖ, Vbg, FL)
- U-Bahn (Wien, Athen)
- Straßenbahn (Wien, Linz, Graz)
- Regionalbahnen (Mariazellerbahn, Badener Bahn, LiLo)

# Agenda

- Unternehmen
- Normen
  - S9012
  - S9020
- Erschütterungsausbreitung
- Messung von Erschütterungen
- Prognose von Erschütterungen
- Beurteilung

# Normen

- ÖNORM S9012:  
Beurteilung der Einwirkungen von Schienenverkehrsimmissionen auf den Menschen
- ÖNORM S9020:  
Bauwerkerschütterungen
- ONR 199005:  
Berechnung des sekundären Luftschalls
- RVE 04.02.01 – 03 (Richtlinien des FSV)



# ÖNORM S9012

- Schwingungswahrnehmungen dienen – so wie die anderen Sinne – dem Erkennen der Außenwelt
- angenehme Schwingungseinwirkung: Bewegung, Tanzen, in den Schlaf wiegen, etc.
- Erschütterungen = störende Schwingungen (Analogie beim Schall: Lärm)
- kein eigenes Sinnesorgan: taktile Wahrnehmung
- Erschütterungen fühlbar und hörbar
- Gewöhnung an Erschütterungen möglich (Reisekrankheit)

# Wahrnehmung und Empfindung

| Einwirkung      | Wahrnehmung                 | Empfindung | Instinkt-Reaktion                                |
|-----------------|-----------------------------|------------|--|
| direkter Schall | auditiv durch Ohr           | Fernreiz   | Ortung und Entkommen möglich → Rückzug           |
| Erschütterung   | taktile durch ganzen Körper | Nahreiz    | Ortung und Entkommen NICHT möglich → Erschrecken |
| Sekundärschall  | auditiv durch Ohr           | Nahreiz    | Ortung und Entkommen NICHT möglich → Erschrecken |

# Erschütterungswahrnehmung - Frequenzbereiche

- 3 Frequenzbereiche:
  - Frequenz  $f = 1\text{-}80\text{ Hz}$ : „taktile“ **Ganzkörperwahrnehmung** des Menschen.
  - Frequenz  $f > 80\text{ Hz}$ : Absorption durch Kleidung und Haut. Keine Ganzkörperwahrnehmung möglich, nur Teilkörperwahrnehmung (Finger, Hand, etc.)
  - Frequenz  $f < 4\text{ Hz}$ : Gleichgewichtsorgan kann bei Koordination der Körperfunktionen versagen  
→ Reisekrankheit (Schwindel, Übelkeit)

# Beurteilungsstrategie S9012

- Beurteilungszeitraum:
  - Erschütterungen: Tag/Nacht
  - Sekundärschall: Tag/Abend/Nacht
- Beurteilungskriterien:
  - mittlere Erschütterungs- und Sekundärschallspitzen
  - energieäquivalente Dauerimmissionen
- zweistufige Beurteilung:
  - ausreichender Immissionsschutz im Bereich mit Vorbelastung (zumutbare Immissionen)
  - guter Immissionsschutz: Neubauvorhaben in Bereichen ohne Vorbelastung

# ÖNORM S9020

- Bauwerksschutz
- 4 (5) Gebäudeklassen
- Schutzziel: Gebrauchstauglichkeit erhalten
  - Wohngebäude: keine Putzrisse
  - Industrie: Standfestigkeit

# Baudynamische Faktoren

| Gebäudeeigenschaften | Baudynamische Wirkung                                       | Angaben   |
|----------------------|---|---|
| Bauwerksdimension    | Gebäudeeigenfrequenz, Übergangsdämpfung                     | Abmessungen und Geschößzahl   |
| Fundamentausführung  | Übergangsdämpfung   | Fundamenttyp (Streifenfundament, Bodenplatte, Tiefgründung)                 |
| Bauweise             | Dämpfung, Gebäudeeigenfrequenz                              | Bauweise (Massiv-, Fertigteil-, Stahlskelett-, Gasbeton-, Holzbauweise)     |
| Deckenkonstruktion   | Deckeneigenfrequenz, Schwingungsverstärkung bzw. –reduktion | Bauweise (Holz-, Leichtbau-, Fertigteil-, oder Massivdecke) und Spannweiten |
| Baugeschichte        | Stabilität, Eigenfrequenzen                                 | Baujahr, Umbauten, Zubauten, Schäden u. dgl.                                |

# Agenda

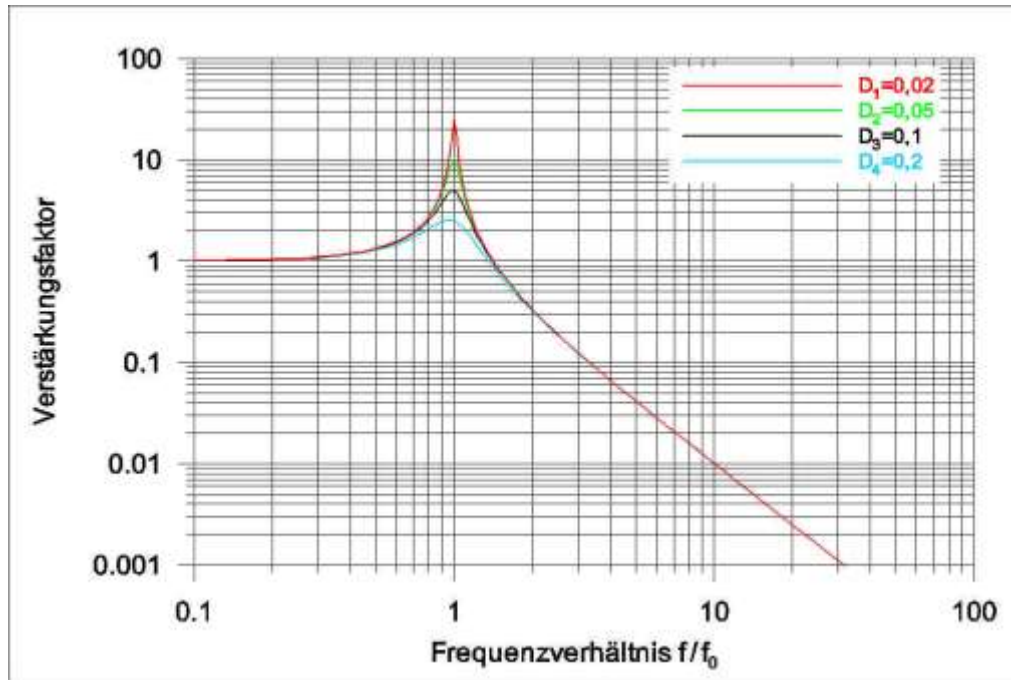
- Unternehmen
- Normen
  - S9012
  - S9020
- Problemstellung
- Messung von Erschütterungen
- Prognose von Erschütterungen
- Beurteilung

# Problemstellung

- Lärm und Erschütterungen = **DIE** Umweltprobleme des Schienenverkehrs
- Erfolg der Lärmbekämpfung → Erschütterungen fallen stärker auf
- Erschütterungsdämmung erfordert Immissionsprognosen
- Erschütterungsimmissionen jedoch durch Rückkopplung Quelle-Empfänger gesteuert



# Resonanz



- Resonanz bei Übereinstimmung von Anregungs- und Eigenfrequenz
- Resonanz bei Dauerschwingung
- **keine „sichere Seite“**

# Agenda

- Unternehmen
- Normen
  - S9012
  - S9020
- Problemstellung
- Messung von Erschütterungen
- Prognose von Erschütterungen
- Beurteilung

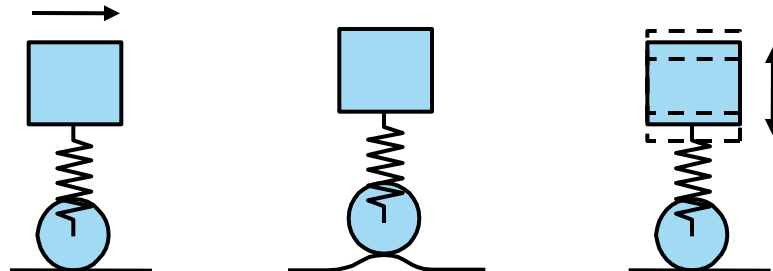
# Schieneverkehrerschütterungen Systemkomponenten

- Emission: Zug, Ober- und Unterbau, Mobilität von Untergrund beeinflusst Emissionsverhalten
- Transmission: Geodynamik des lokalen Untergrunds bestimmt Erschütterungsausbreitung
- Immission: Baudynamik der Anrainergebäude entscheidet über die Schwingungsantwort

Wechselseitige Rückkopplung dieser Teilsysteme  
→ große Bandbreite aller Systemparameter

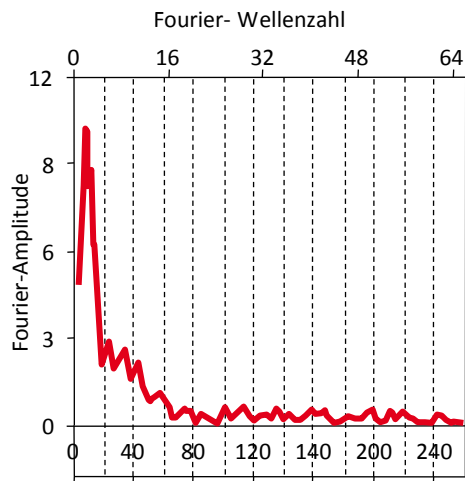
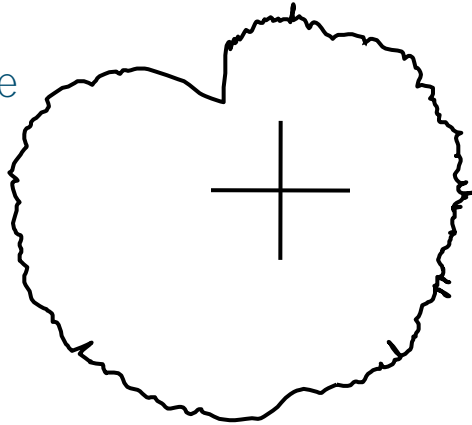
# Schieneverkehrsemissionen

- Rollende Last
- Flachstellen und Unwuchten der Räder
- Weichen und Schienenstöße
- Eigengewicht und ungefederte Massen
- Fahrgeschwindigkeit
- Schwellenabstand und Achskonfiguration
- Dynamisches Verhalten (Mobilität) von Oberbau, Unterbau, Tunnel, etc.
- Trassenführung (Kurven, Tunnel, Damm, etc.)

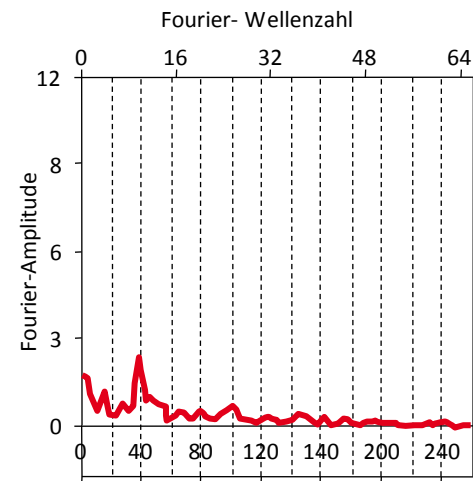
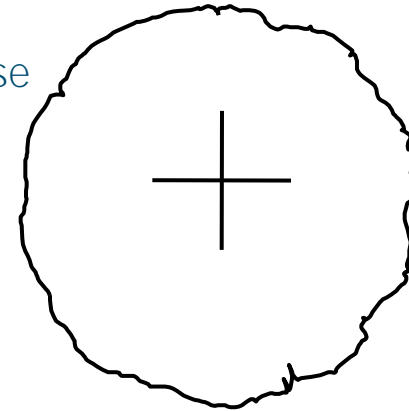


# Flachstellen von Rädern

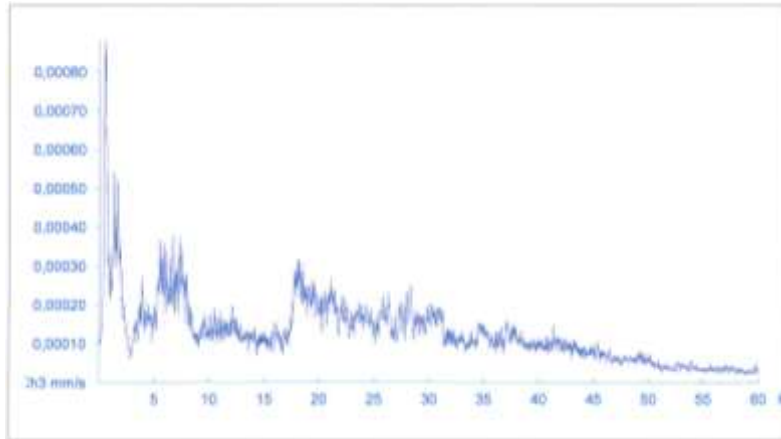
Rad mit  
Klotzbremse



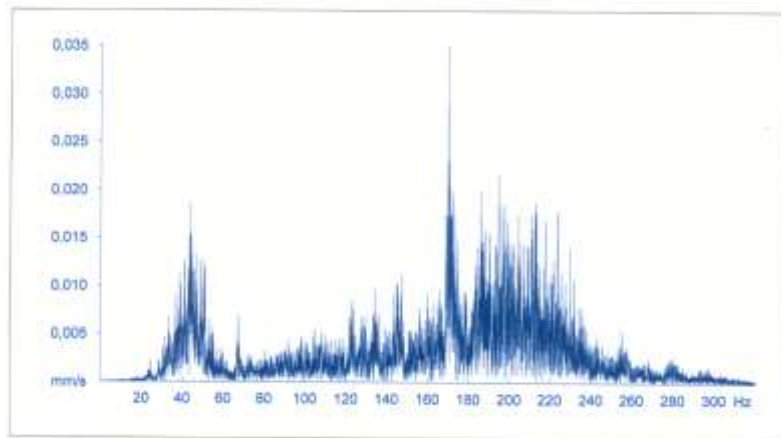
Rad mit  
Scheibenbremse



# Rückkopplung mit Fahrweg-Untergrund



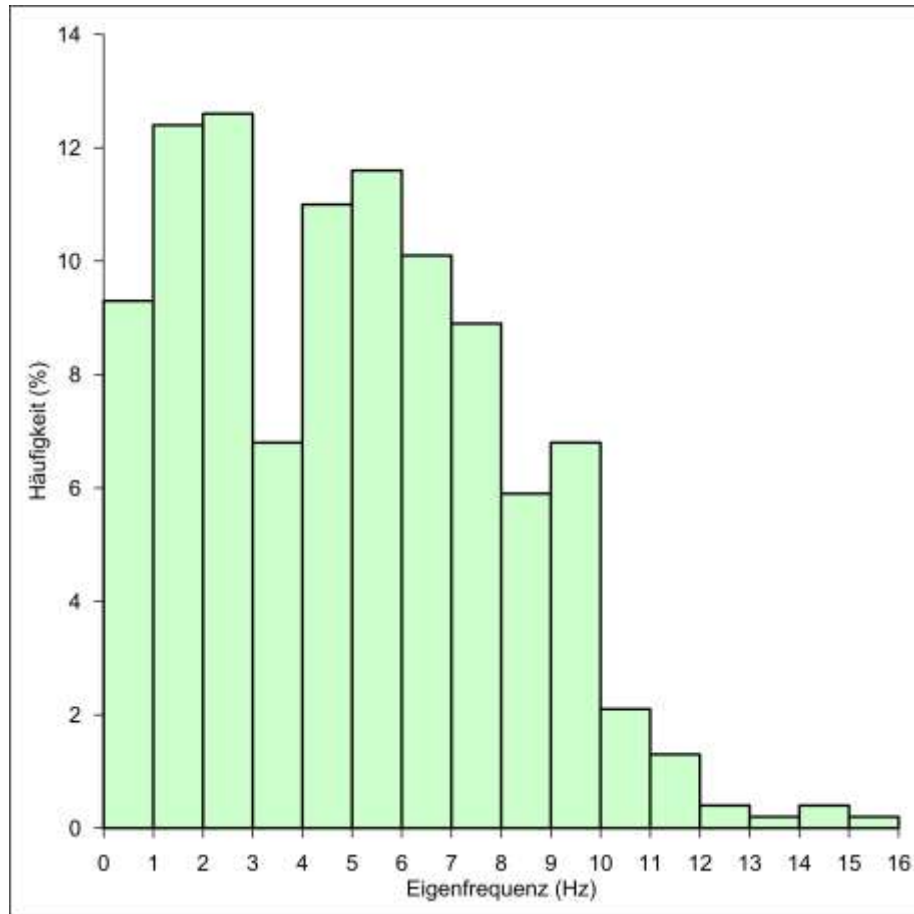
- Schotterbettüberbau auf extrem weichem Quartär  $f_{\max} = 0,5 \text{ Hz}$



- Schotterbettüberbau auf steifem Tertiär  $f_{\max} = 170 \text{ Hz}$

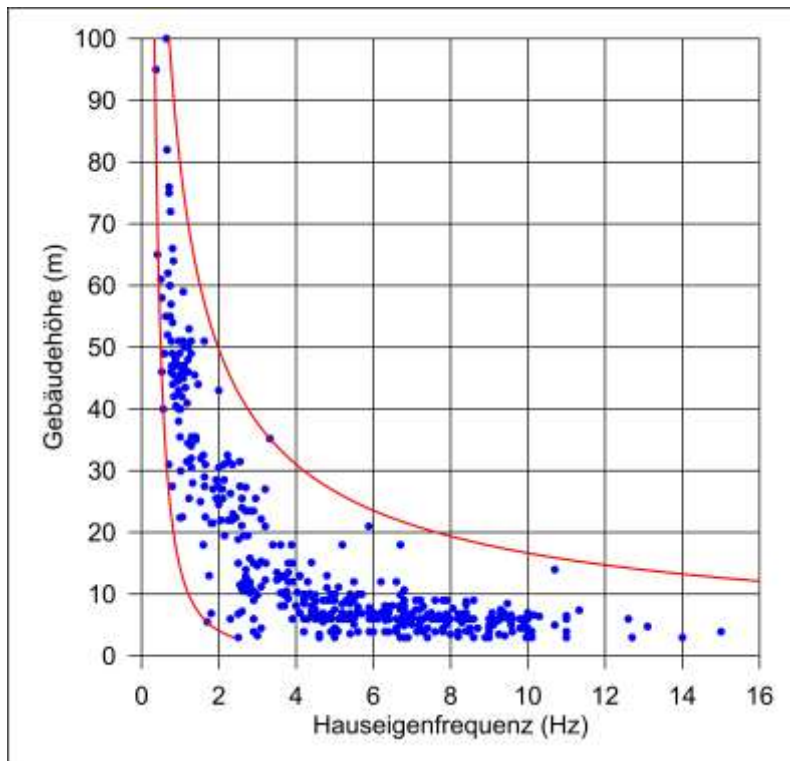
→ Mobilität der Tragstruktur für Emission mitbestimmend

# Gebäudeeigenfrequenzen



Bandbreite 0,4 – 16 Hz bei knapp 500 Gebäuden

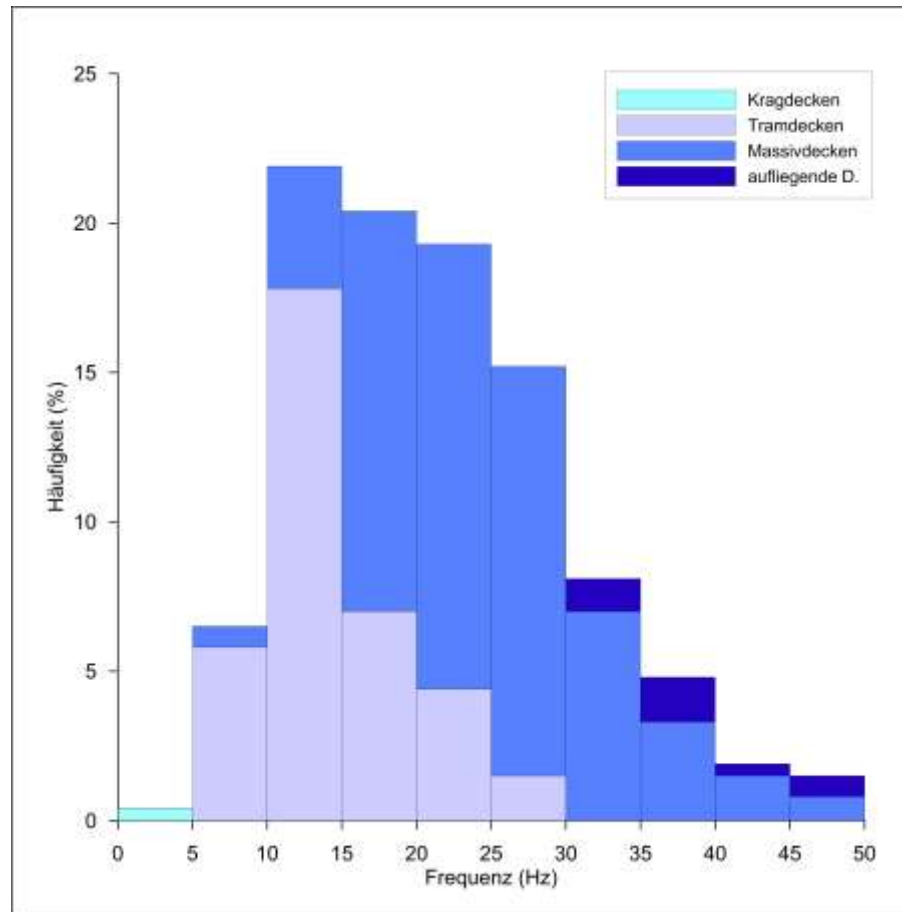
# Höhenabhängigkeit der Eigenfrequenzen



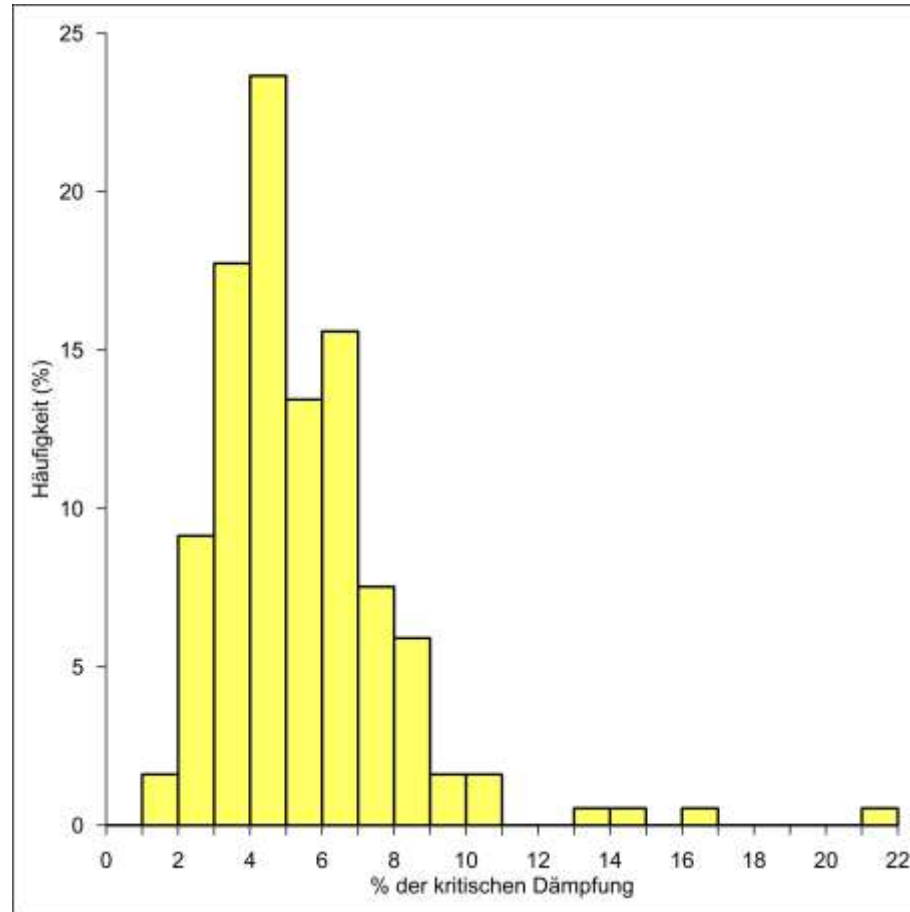
- Bandbreite gemessener Eigenfrequenzen nimmt progressiv zu je niedriger die Bauhöhe
- Hochhauseigenfrequenzen im Bereich um ca. 1 Hz
- Eigenfrequenzen von 2-10 Hz am wahrscheinlichsten



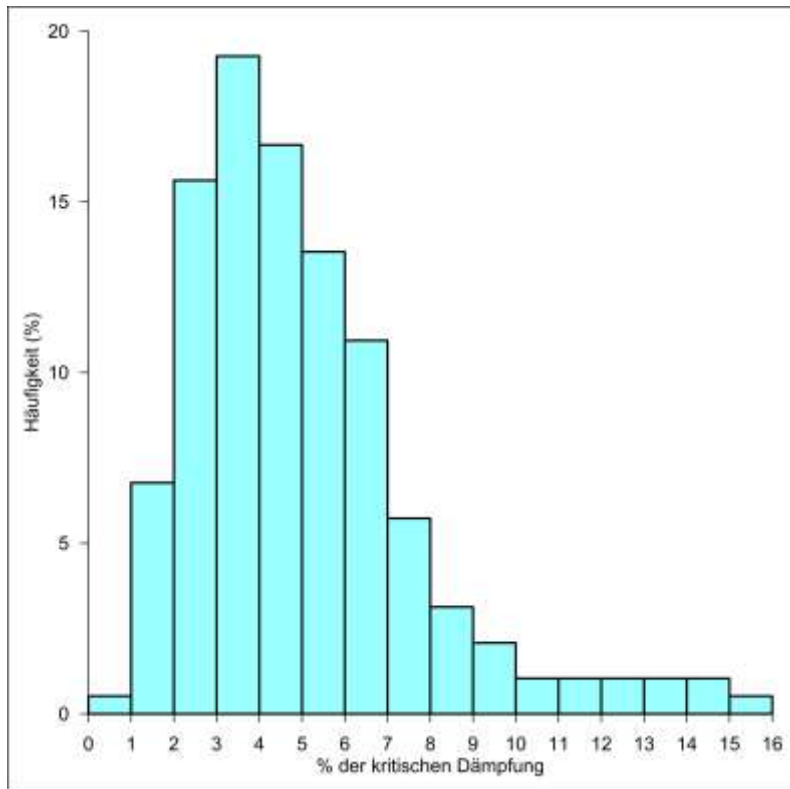
# Deckeneigenfrequenzen - Streubreite



# Deckendämpfung



# Gebäudedämpfung



- Charakteristische Häufigkeitsverteilung der Gebäudedämpfung für Einfamilienwohnhäuser nach ISO 4866:
- Median 4%
- Dämpfung nimmt mit Gebäudehöhe ab

# Messung von Erschütterungen

- Emission
- Transmission
- Immission
- baudynamische Messungen

= Grundlage für weitere Vorgangsweise

# Agenda

- Unternehmen
- Normen
  - S9012
  - S9020
- Problemstellung
- Messung von Erschütterungen
- **Prognose von Erschütterungen**
- Beurteilung

# VibroScan Schwingungsgenerator



# Baudynamischer Shaker



# Agenda

- Unternehmen
- Normen
  - S9012
  - S9020
- Problemstellung
- Messung von Erschütterungen
- Prognose von Erschütterungen
- **Beurteilung**



# Beurteilung von Erschütterungen

- Grundlage = Messdaten
  - Emission
  - Transmission
  - Immission
  - Baudynamik
- Ergebnis kann Einfügedämmmaß für elastische Lagerung sein

# Richtwerte des Beurteilungserschütterungsmaximums $E_{max}$

| Gebiets-<br>kategorie | Bezeichnung   | $E_{max}$ für ausreichenden<br>Erschütterungsschutz |       | $E_{max}$ für guten<br>Erschütterungsschutz |       |
|-----------------------|---|---|-------|---|-------|
|                       |   | Tag   | Nacht | Tag   | Nacht |
| 1                     | Ruhegebiet, Kurgebiet, Krankenhaus  | 188   | 18,8  | 94  | 9,4   |
| 2                     | Wohngebiet in Vororten, Wochenendhaus-Gebiet,<br>ländliches Wohngebiet, Schulen                     | 250   | 18,8  | 125   | 9,4   |
| 3                     | städtisches Wohngebiet, Gebiet für Bauten land-<br>und forstwirtschaftlicher Betriebe mit Wohnungen | 250   | 18,8  | 125   | 9,4   |
| 4                     | Kerngebiet, Gebiet für Betriebe ohne<br>Erschütterungs- und Lärmemission                            | 310   | 25,0  | 188   | 12,5  |
| 5                     | Gebiet für Betriebe mit geringer Erschütterungs-<br>und Lärmemission <sup>a</sup>                   | 380   |       | 250   |       |
| 6                     | Gütererzeugungs- und Dienstleistungsstätten <sup>a</sup>  | 500   |       | 380   |       |

<sup>a</sup> Ausgewiesene Ruheräume sind getrennt zu betrachten, jedoch ist eine Einordnung in die Gebietskategorie 4 anzustreben.

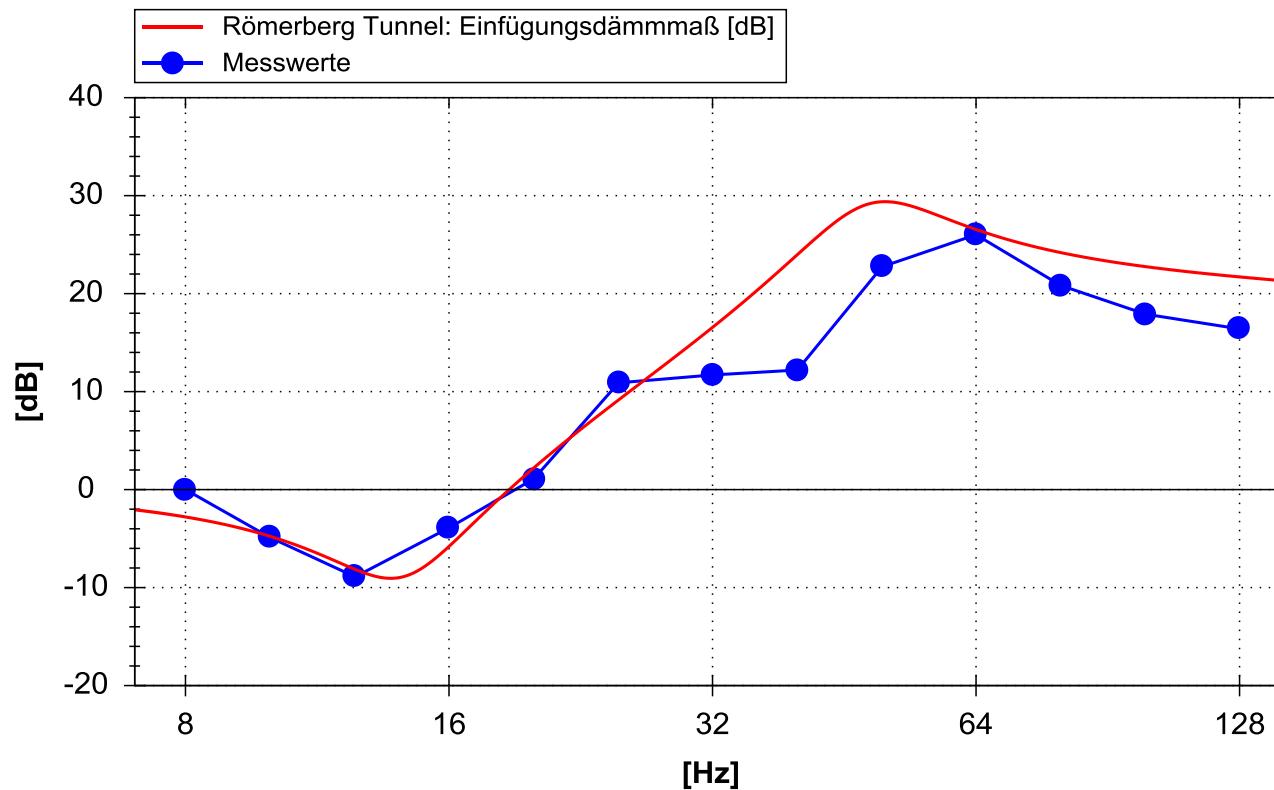
# Richtwerte der Beurteilungerschütterungsdosis $E_r$

| Gebiets-<br>kategorie | Bezeichnung   | Richtwert für ausreichenden<br>Erschütterungsschutz |       | Richtwert für guten<br>Erschütterungsschutz |       |
|-----------------------|---|---|-------|---|-------|
|                       |   | Tag   | Nacht | Tag   | Nacht |
| 1                     | Ruhegebiet, Kurgebiet   | 1,65  | 1,59  | 0,85  | 0,84  |
| 2                     | Wohngebiet in Vororten, Wochenendhaus-Gebiet,<br>ländliches Wohngebiet  | 2,2   | 1,59  | 1,12  | 0,84  |
| 3                     | städtisches Wohngebiet, Gebiet für Bauten land-<br>und forstwirtschaftlicher Betriebe mit Wohnungen   | 2,2   | 1,59  | 1,12  | 0,84  |
| 4                     | Kerngebiet (Büros, Geschäfte Handel, Verwaltung ohne<br>wesentliche Emission, Wohnungen), Gebiet für Betriebe<br>ohne Erschütterungsemission        | 2,7   | 2,1   | 1,65  | 1,09  |
| 5                     | Gebiet für Betriebe (gewerbliche und industrielle<br>Gütererzeugung und Dienstleistungsstätten) mit geringer<br>Erschütterungsemission <sup>a</sup> | 3,2   |       | 2,2   |       |
| 6                     | Gütererzeugungs- und Dienstleistungsstätten mit großer<br>Erschütterungsemission <sup>a</sup>   | 5,0   |       | 3,2   |       |

<sup>a</sup> Ausgewiesene Ruheräume sind getrennt zu betrachten, jedoch ist eine Einordnung in die Gebietskategorie 4 anzustreben.

# Ergebnis der Beurteilung

## Römerberg Tunnel



- 13 Hz – MFS: Verstärkung im Eigenfrequenzband messbar !

# Zusammenfassung

- Messung aller Parameter (Emission Transmission, Immission, sowie Baudynamik) zur Erschütterungsdämmung notwendig
- **Bei Erschütterungsdämmung keine „sichere Seite“** – Überdimensionierung unmöglich
- Wahl des Dämmmaterials entscheidend für Erfolg oder Misserfolg
- FAST jedes Problem kann gelöst werden



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

DI Wolfgang Steinhauser

Steinhauser Consulting Engineers ZT GmbH

[wolfgang.steinhauser@stce.at](mailto:wolfgang.steinhauser@stce.at)