

Erschütterungsschutz im Hochbau

Gebäude wirksam schützen

Thomas Jaquet

Übersicht

Grundlagen und rechtlicher Rahmen
Messung und Prognose
Eigenschaften und Einfluss des Baugrunds
Minderungsmaßnahmen
Fallbeispiele aus Planung und Ausführung
Zusammenfassung

Grundlagen und rechtlicher Rahmen

Vier Schutzziele brauchen unterschiedliche Nachweise

Menschen

Wahrnehmbarkeit und Belästigung

Kennwerte: $KB_{F_{\max}}$ und $KB_{F_{Tr}}$

Bewertung: DIN 4150-2

Bauwerke

Maximale Schwinggeschwindigkeit am maßgebenden Messpunkt

Kennwert: Schwinggeschwindigkeit v_i

Bewertung: DIN 4150-3

Sekundärer Luftschall

Abstrahlung schwingender Decken und Wände

Prognose, Messung und Minderung

Bewertung: VDI 2038 Blatt 3, 24 BImSchV

Sensible Geräte

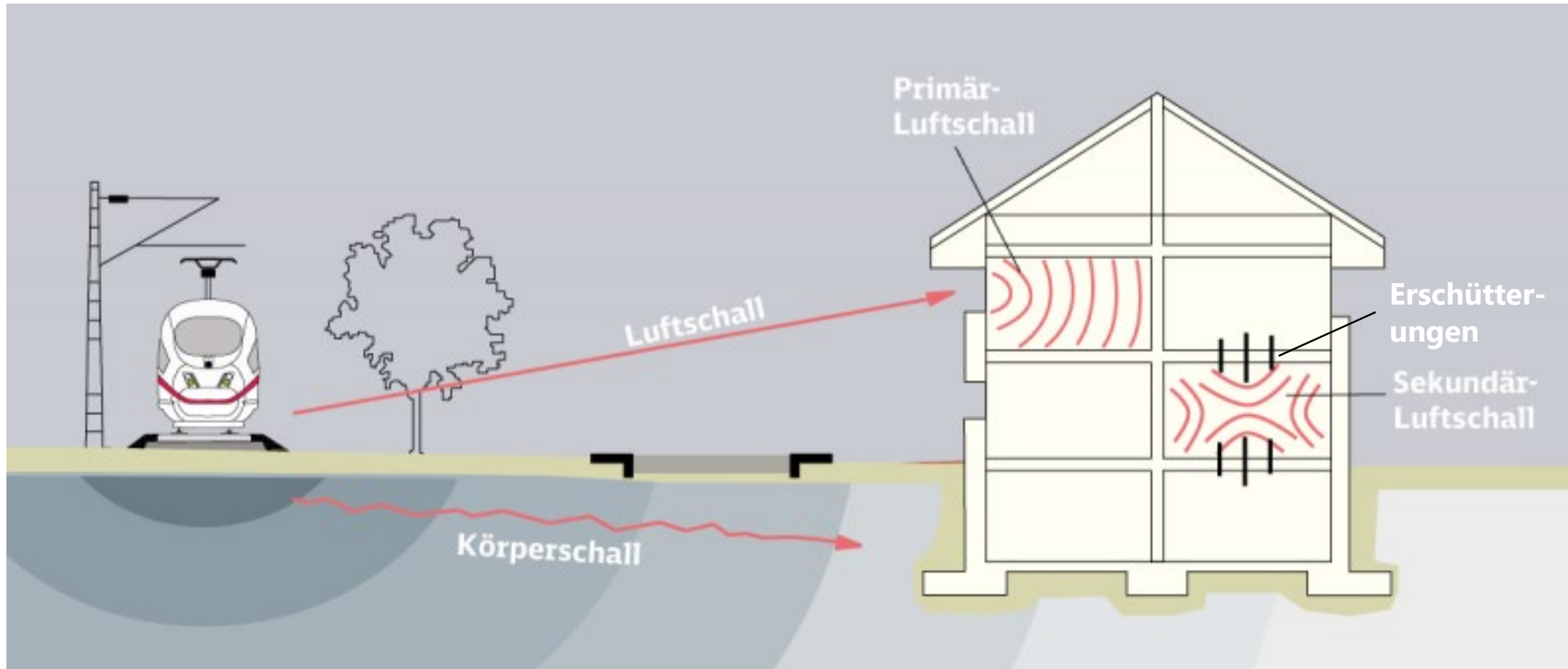
Labor-, Geräte- und Betriebsanforderungen

Zielwerte vor der Prognose definieren

Bewertung: projektspezifische Kriterien

Grundlagen und rechtlicher Rahmen

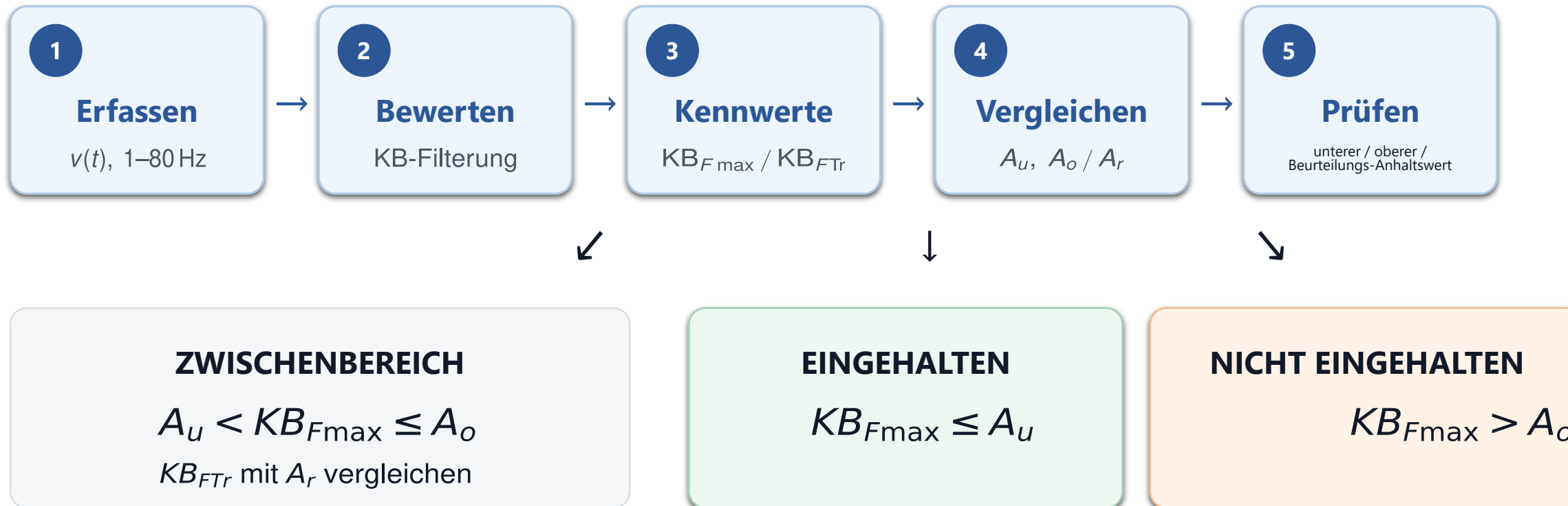
Zwei Wirkpfade müssen getrennt beurteilt werden



Grafik: © Deutsche Bahn AG

Grundlagen und rechtlicher Rahmen

DIN 4150-2: Vom Messsignal zur Beurteilung



Grundlagen und rechtlicher Rahmen

DIN 4150-2:2025-08 präzisiert die Bewertung

Änderungen und Projektfolgen

ÄNDERUNGEN 2025

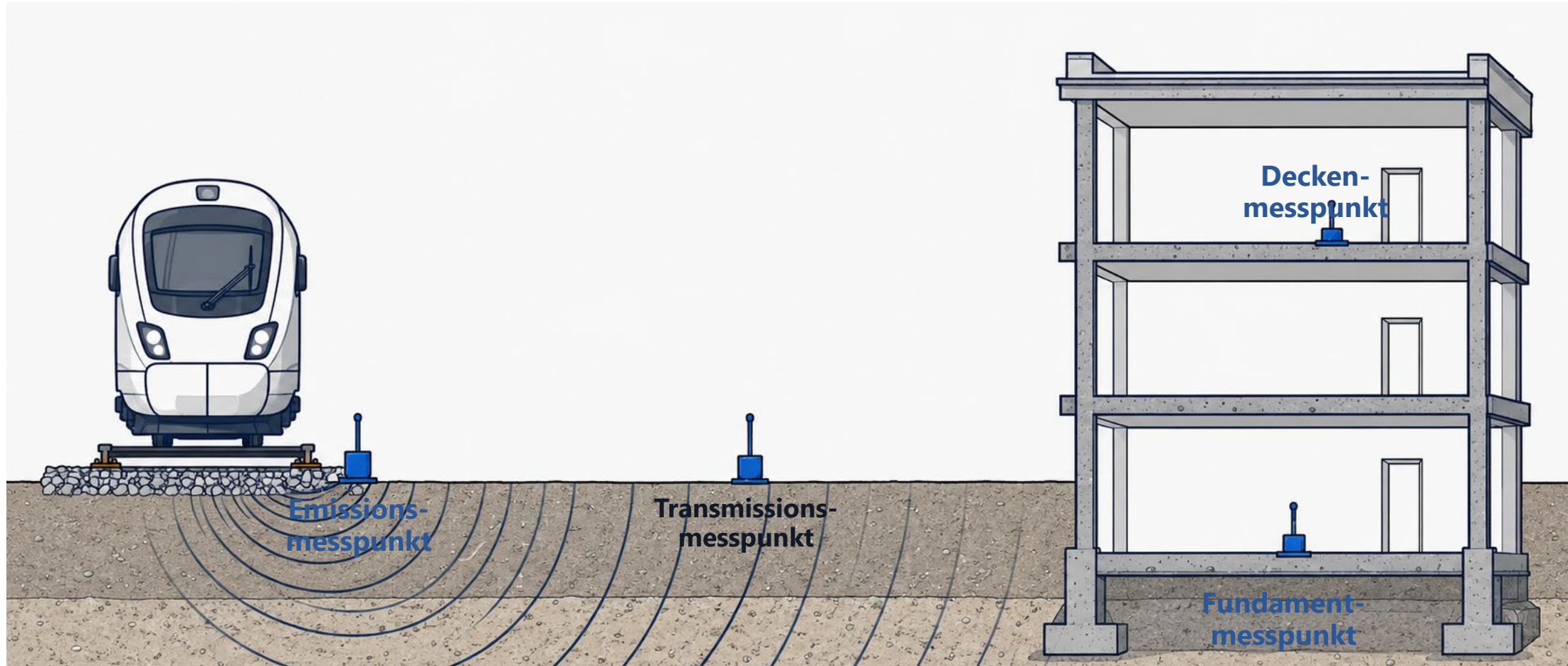
- Schutzbedürftiger Raum neu definiert
- Urbane Gebiete in Tabelle 1 ergänzt
- Nächtlicher A_u -Wert in Zeile 3 geändert
- Schienenverkehr grundlegend überarbeitet

FOLGEN FÜR PROJEKTE

- Schutzräume eindeutig festlegen
- Nutzung und Gebietseinstufung dokumentieren
- $KB_{F_{max}}$ mit A_u und A_o beurteilen
- $KB_{F_{Tr}}$ mit A_r beurteilen
- Alte Gutachten nicht ungeprüft fortschreiben

➔ Ausweitung der Konfliktbereiche

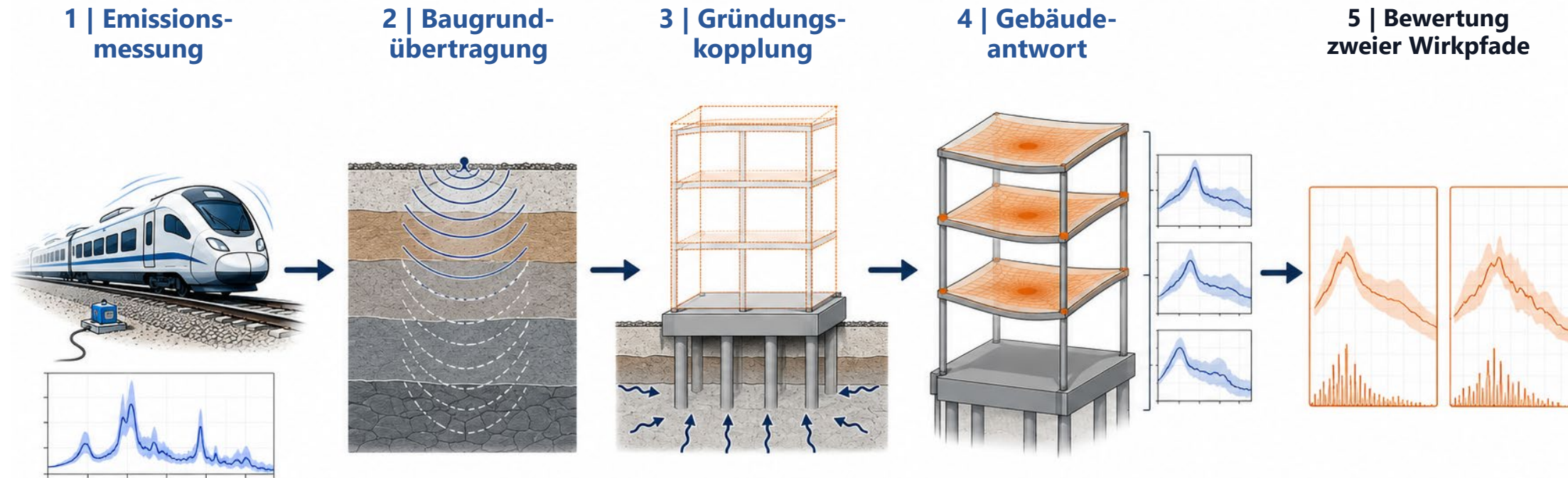
Messung und Prognose: Messorte trennen Quelle, Ausbreitungsweg und Gebäudeantwort



Schematische Messorte; Deckenpunkt im schutzbedürftigen Raum

Messung und Prognose

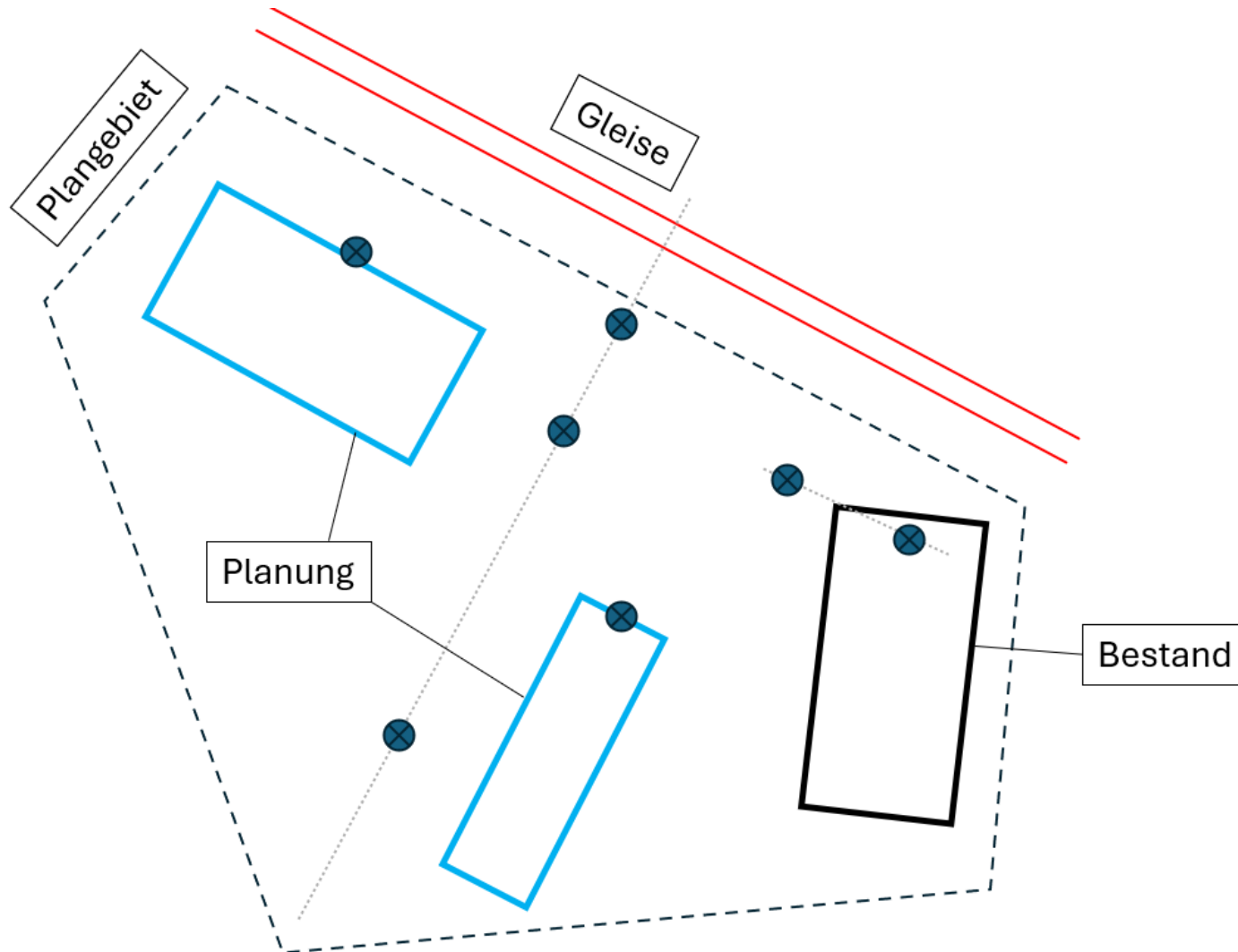
Prognosekette endet bei zwei Wirkpfaden



Quelle – Baugrund – Gründung – Gebäudeantwort – Erschütterungen und sekundärer Luftschall; Unsicherheiten je Baustein ausweisen.

Messung und Prognose

Messkonzept legt Orte, Betrieb und Qualität fest



1 BETRIEBSZUSTÄNDE

Zugarten, Geschwindigkeiten, Gleise und belastbare Ereigniszahl erfassen; Ereignisse und Messdauer dokumentieren.

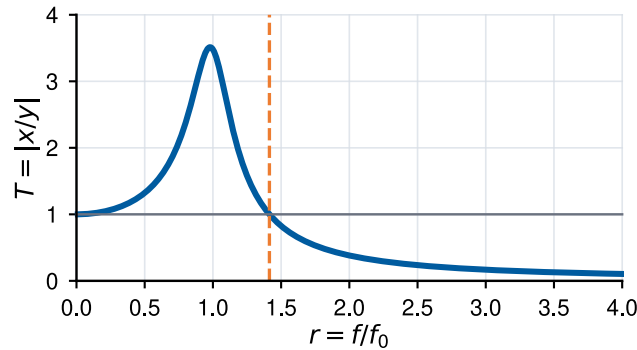
2 MESSORTE

Emission, Freifeld, Gründungsniveau und Bestand räumlich festlegen; Übertragungswege trennbar machen.

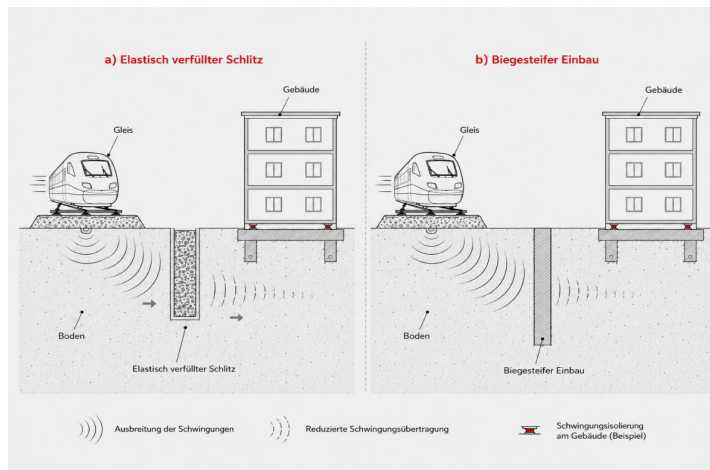
3 MESSQUALITÄT

Orientierung, Ankopplung, Kalibrierung, Synchronisation, Anti-Aliasing und Abtastrate prüfen; Störpegel, Kohärenz und Aussteuerung dokumentieren.

Minderungsmaßnahmen verbinden Ansatzpunkt und Wirkprinzip

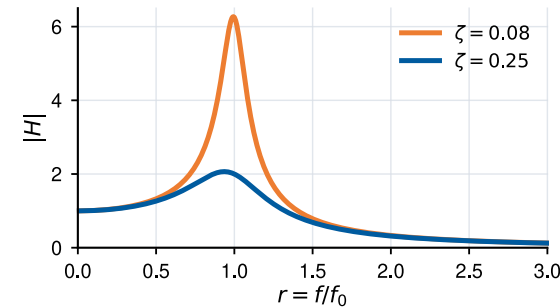


Entkopplung

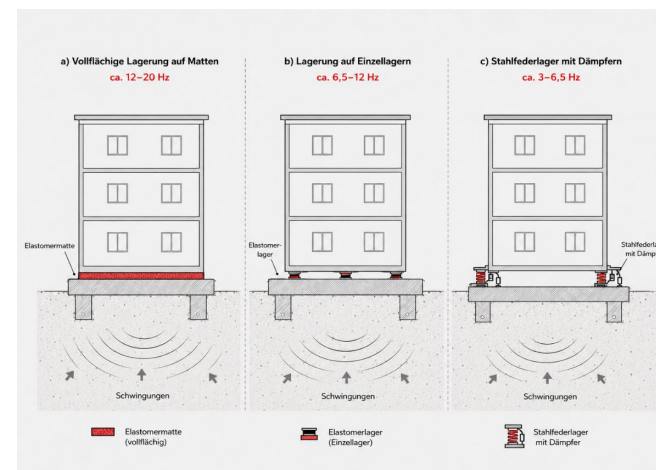


WEG | SCHLITZ ODER BARRIERE

Tiefe und Abstand relativ zur dominanten Wellenlänge; Wirkung rechnerisch oder messtechnisch nachweisen.

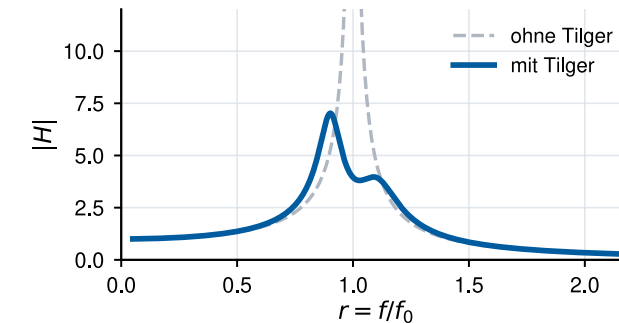


Dissipation

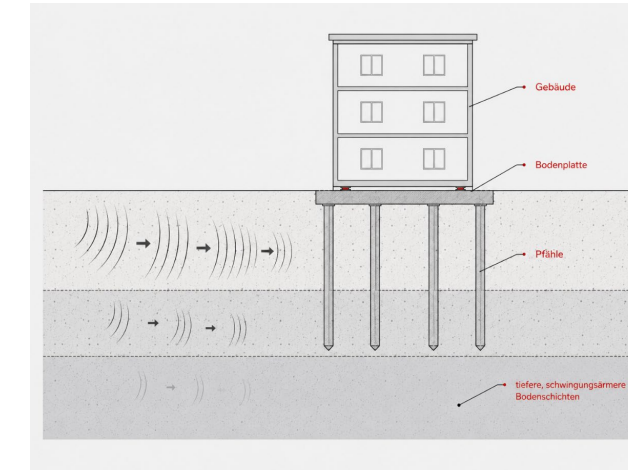


EMPFÄNGER | ELASTISCHE LAGERUNG

Abstimmung, Bewegungen und brückenfreie Trennung; Anschlussdetails früh mitplanen.



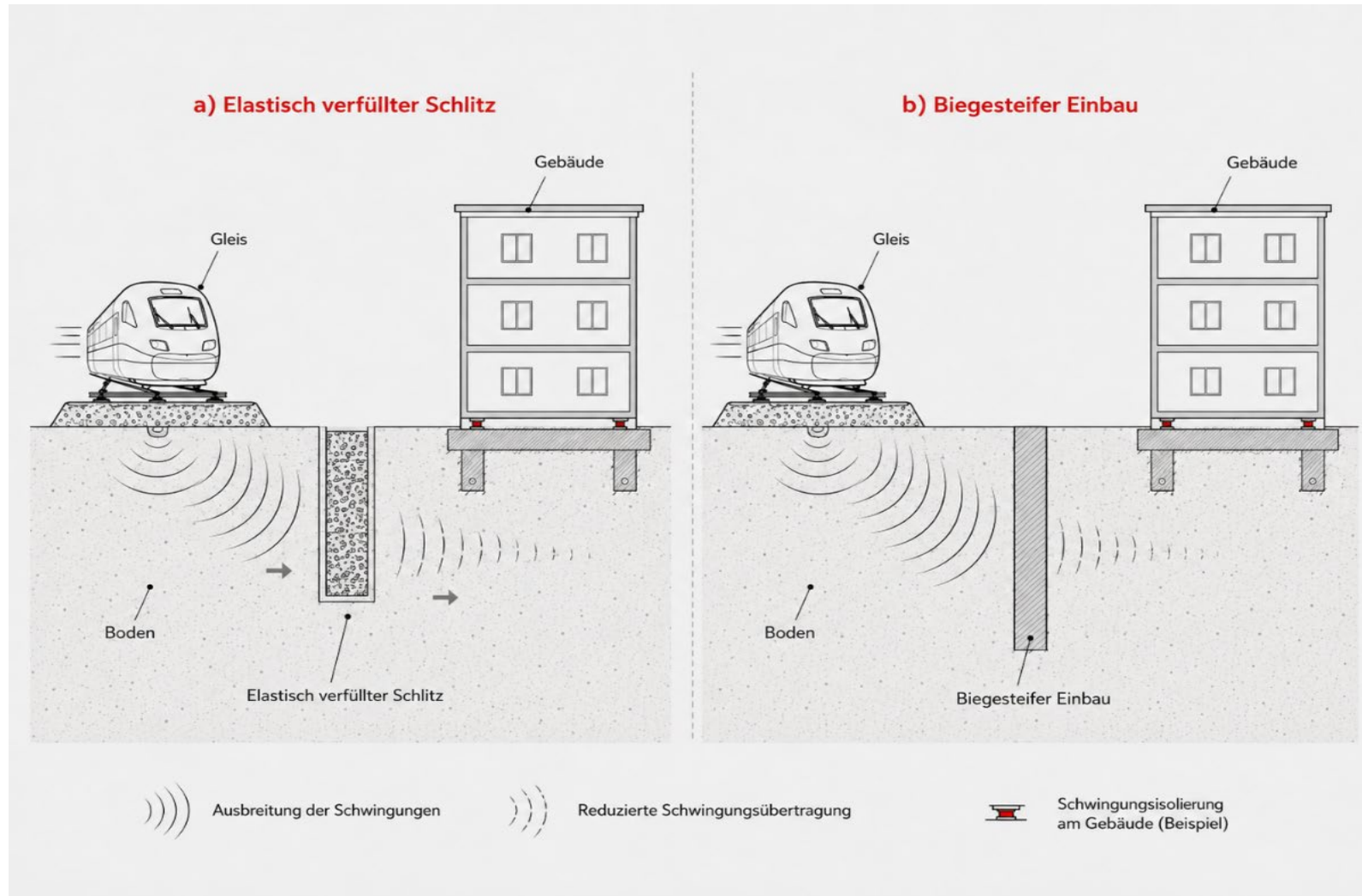
Abgestimmte Tilgung



GRÜNDUNG | KOPPLUNG AUSLEGEN

Kopplung ist frequenzabhängig; keine pauschale Minderungswirkung.

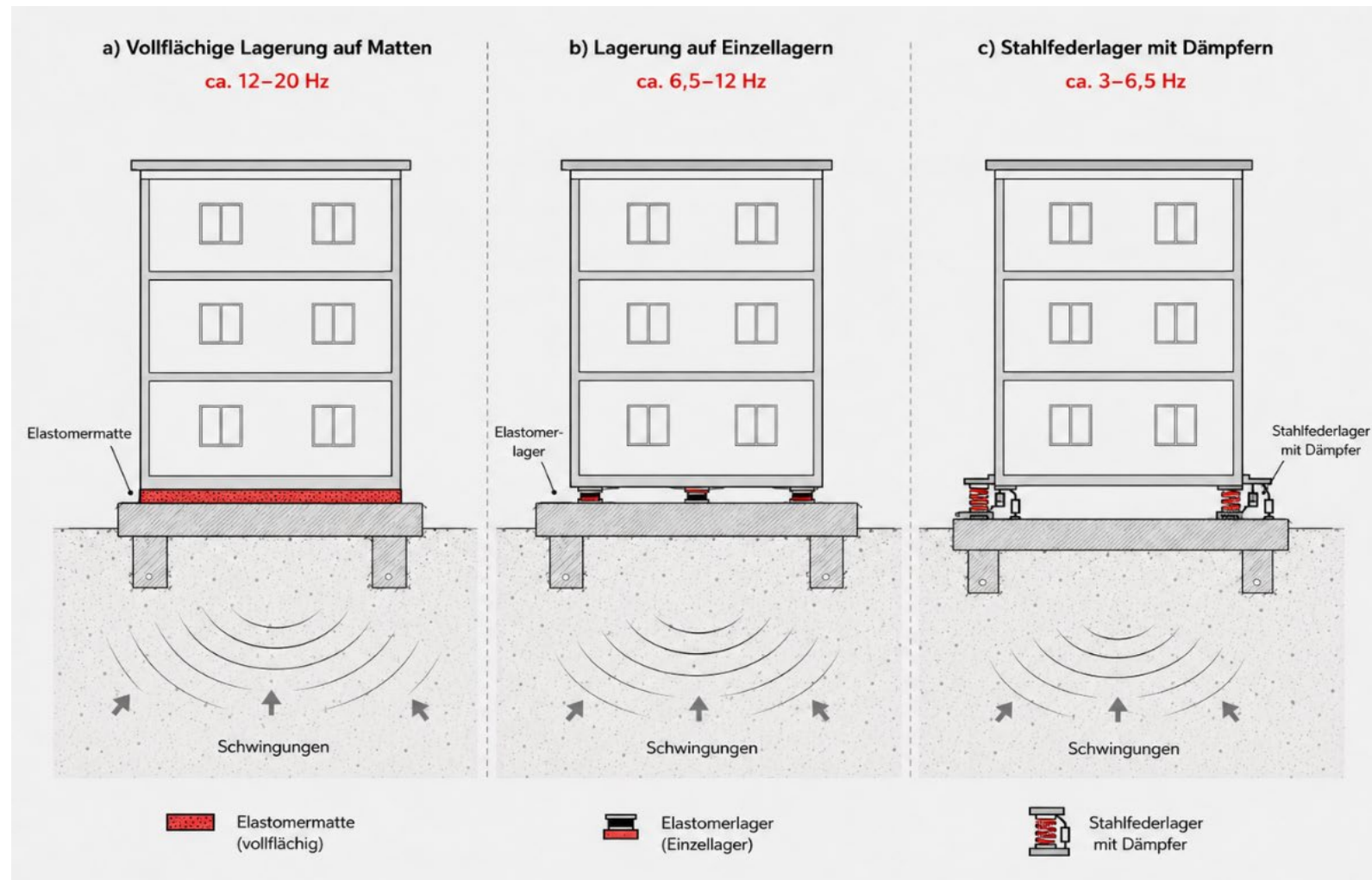
Minderungsmaßnahmen verbinden Ansatzpunkt und Wirkprinzip



WEG | SCHLITZ ODER BARRIERE

Tiefe und Abstand relativ zur dominanten Wellenlänge; Wirkung rechnerisch oder messtechnisch nachweisen.

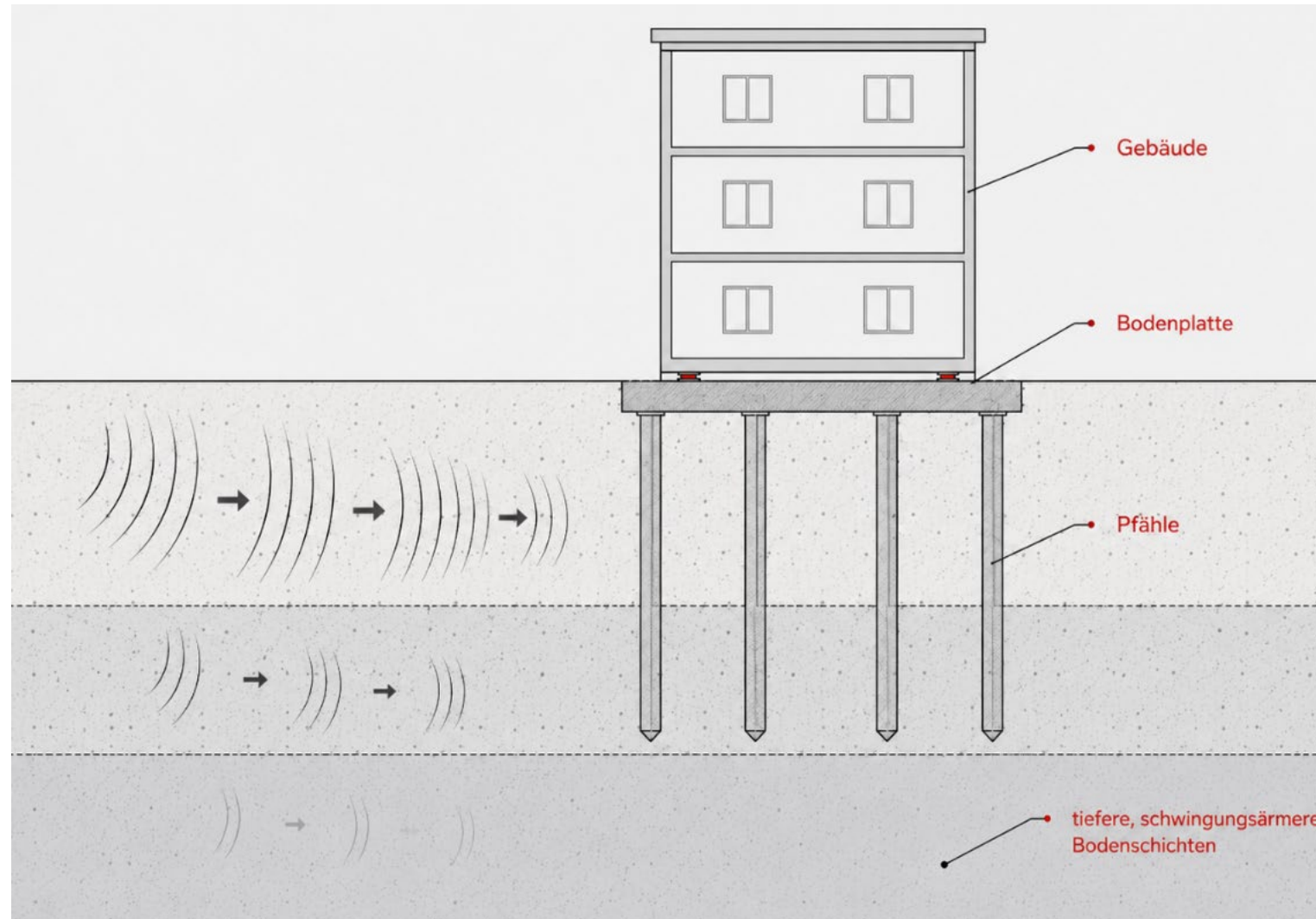
Minderungsmaßnahmen verbinden Ansatzpunkt und Wirkprinzip



EMPFÄNGER | ELASTISCHE LAGERUNG

Abstimmung, Bewegungen und
brückenfreie Trennung; Anschlussdetails
früh mitplanen.

Minderungsmaßnahmen verbinden Ansatzpunkt und Wirkprinzip



GRÜNDUNG | KOPPLUNG AUSLEGEN

Kopplung ist frequenzabhängig; keine pauschale Minderungswirkung.

Minderungsmaßnahmen: Wirksamkeit hängt von Frequenzband und Ansatzpunkt ab

Ansatzpunkt	Beispiel	Wirkprinzip	Entscheidend im Nachweis
Quelle	Fahrweg / Oberbau	Anregung im relevanten Frequenzband reduzieren	Spektrum, Betrieb und Zuständigkeit
Ausbreitungsweg	Schlitz / Barriere	Wellen reflektieren, umlenken oder streuen	Tiefe und Abstand relativ zur Wellenlänge
Empfänger	Elastische Gebäudelagerung	Kopplung oberhalb der Abstimmung reduzieren	Resonanz, Brücken, Bewegungen und Robustheit
Tragwerk	Versteifung / Dämpfung / Tilger	Moden verschieben / Resonanz dämpfen / schmalbandig tilgen	Eigenformen, Dämpfung, Abstimmung und Streuung

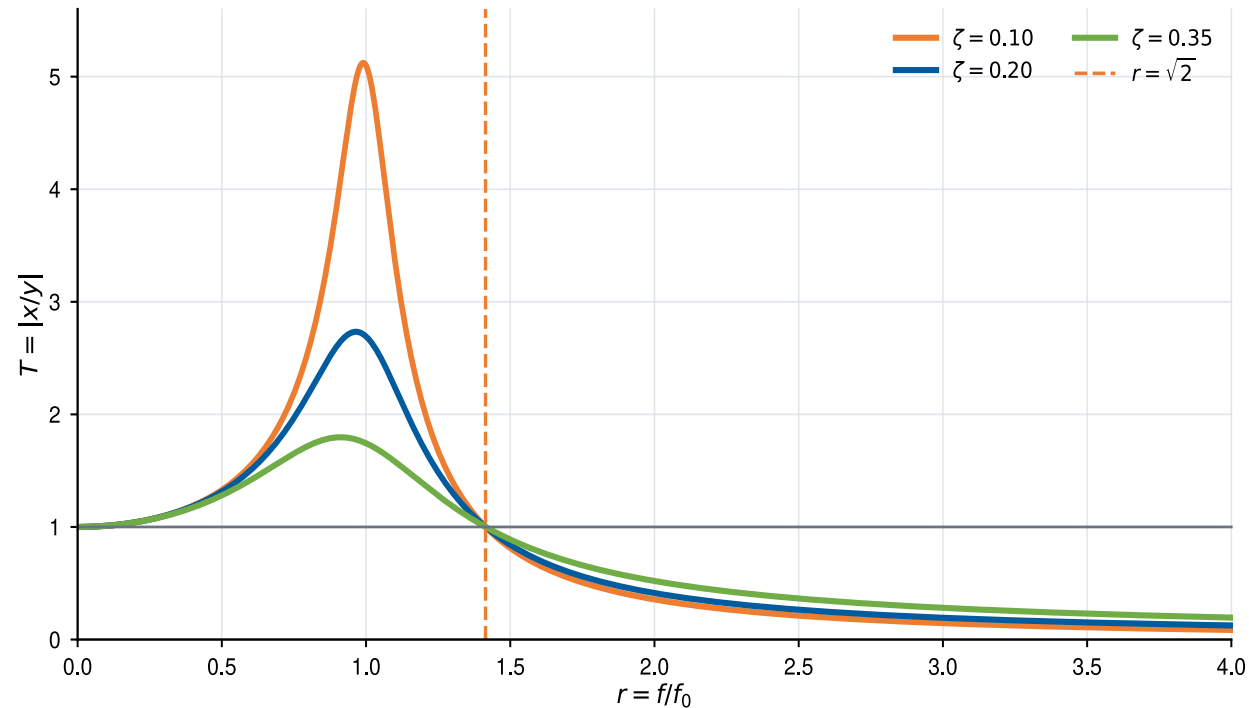
Pfahlgründung und steifere Bodenplatte verändern die Kopplung – ohne frequenzabhängigen Nachweis keine pauschale Minderungsmaßnahme.

Minderungsmaßnahmen: Isolation beginnt erst oberhalb des Resonanzbereichs

$$r \approx 1$$

Resonanzbereich

Dämpfung und Betriebsstreuung begrenzen die Spitze



$$r > \sqrt{2}$$

Isolationsbereich

Übertragungsgrad $T < 1$

Mehr Dämpfung senkt die Resonanzspitze, schwächt aber die Isolation bei hohen Frequenzverhältnissen.

Messung und Prognose

Gebäudeantwort schließt die Prognosekette

GEBÄUDEANTWORT

$$H_G(f) = \frac{V_{\text{Decke}}(f)}{V_{\text{Fundament}}(f)}$$

- Eigenfrequenzen, Moden und Dämpfung bestimmen die Verstärkung.
- Decken, Wände und Kerne getrennt betrachten.

SEKUNDÄRER LUFTSCHALL

- Schwingende Bauteilflächen strahlen Luftschall ab.
- Abstrahlgrad, Raumakustik und Raummoden sind frequenzabhängig.
- Prognose, Messung und Bewertung nach VDI 2038 Blatt 3.

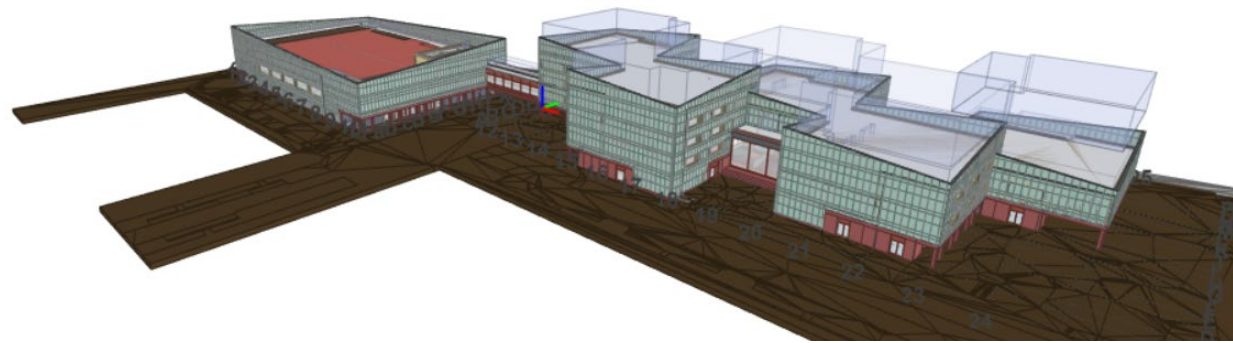
$$V_{\text{Decke}}(f) = H_G(f) V_{\text{Fundament}}(f) \implies L_{p, \text{sek}}(f)$$

Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

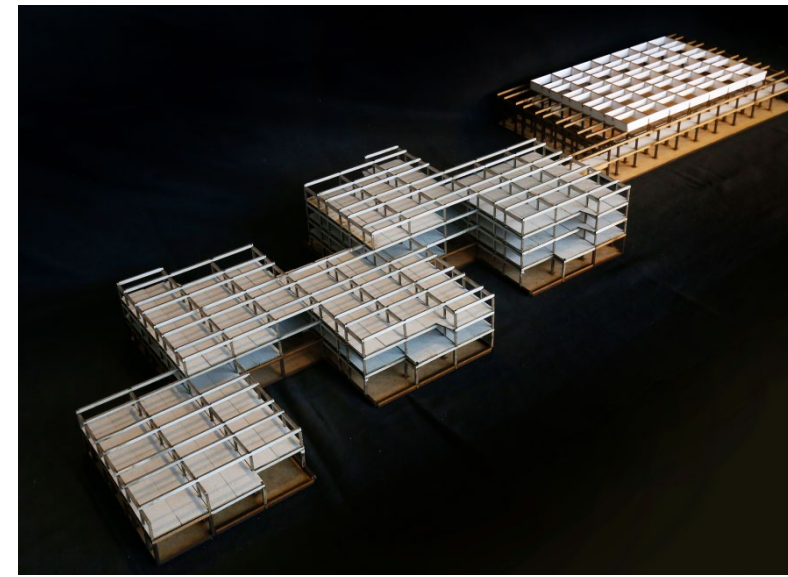
Beispiel 1: Elastische Gebäudelagerung

Schulgebäude neben Bahnlinie (Abstand 25 m)

- Baudynamische Analyse
- Baugrundanalyse
- Analyse der Übertragungsfunktionen
- Schall- und Erschütterungsprognose
- Design von Minderungsmaßnahmen



Quelle: Gina Barcelona

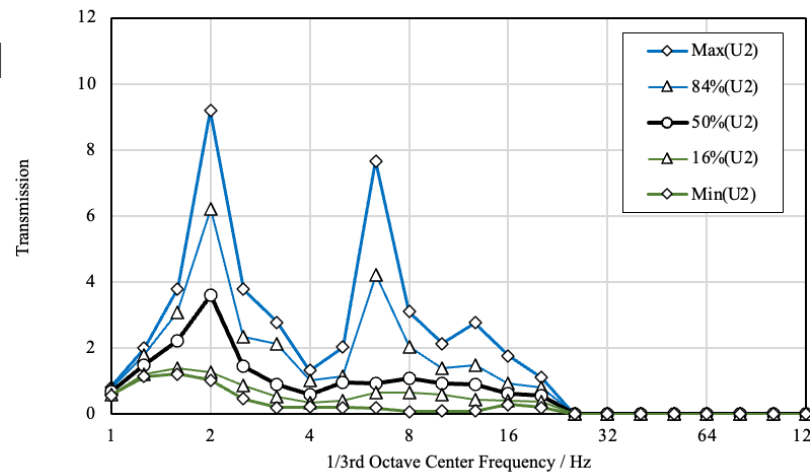


Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

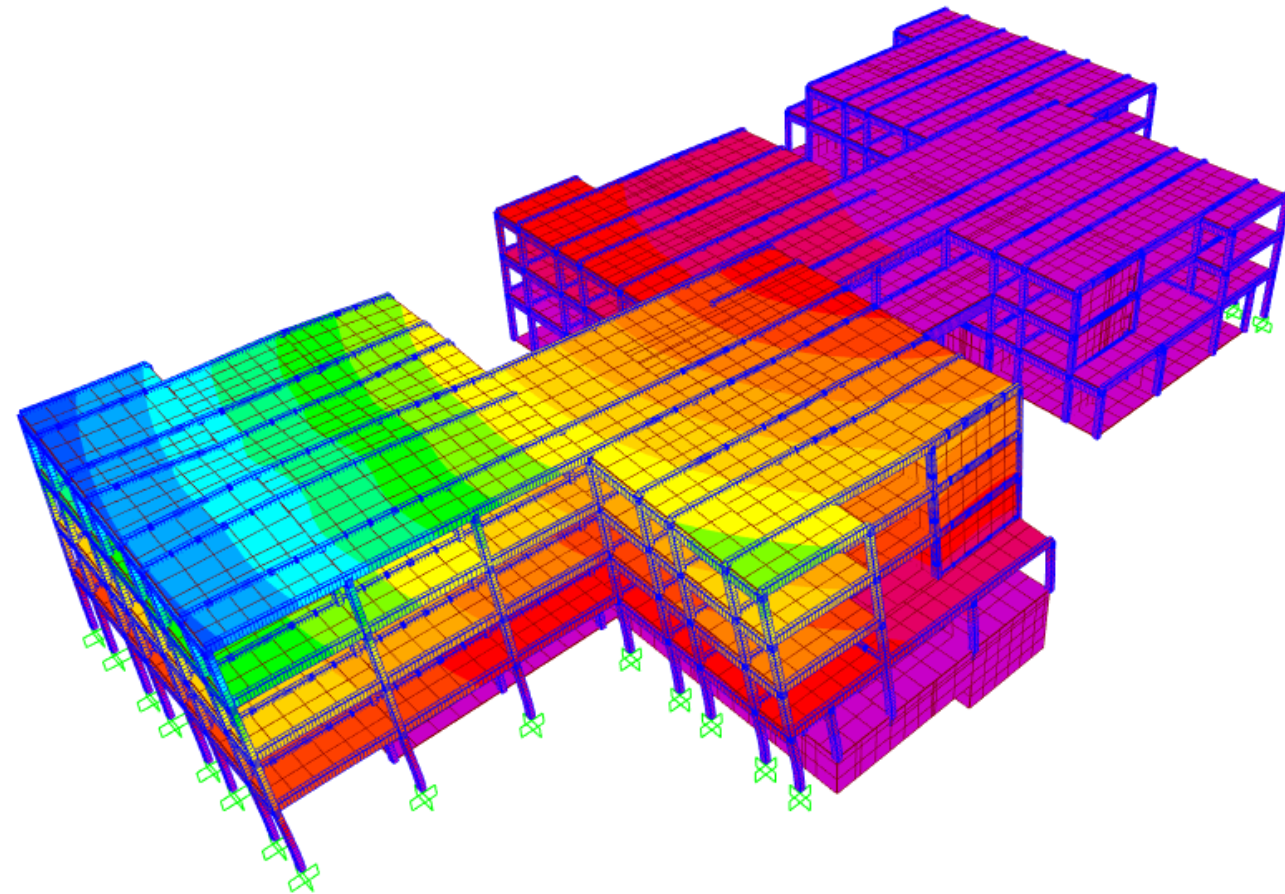
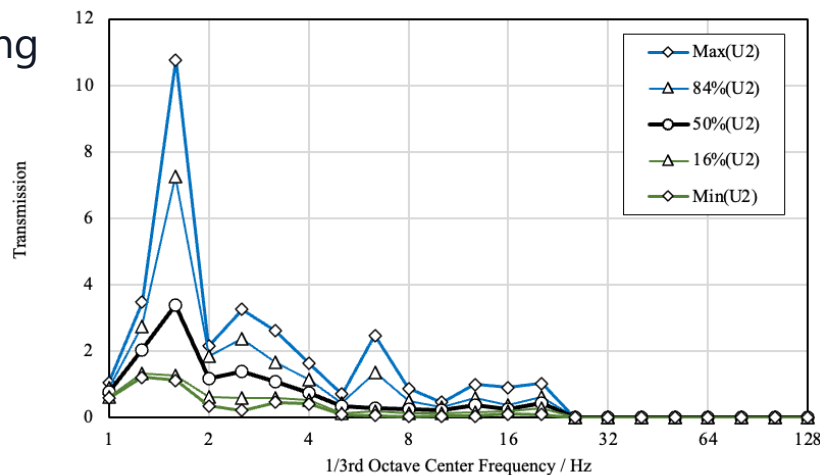
Analyse des Gesamtmodells

Flachgründung Bodenplatte

horizontal



Tiefgründung



Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

Baudynamische Ertüchtigung

Anforderungen

Horizontale Eigenfrequenz $f_h > 4$ Hz
Vertikale Eigenfrequenz $f_v > 16$ Hz

Verbesserung durch Modifikation

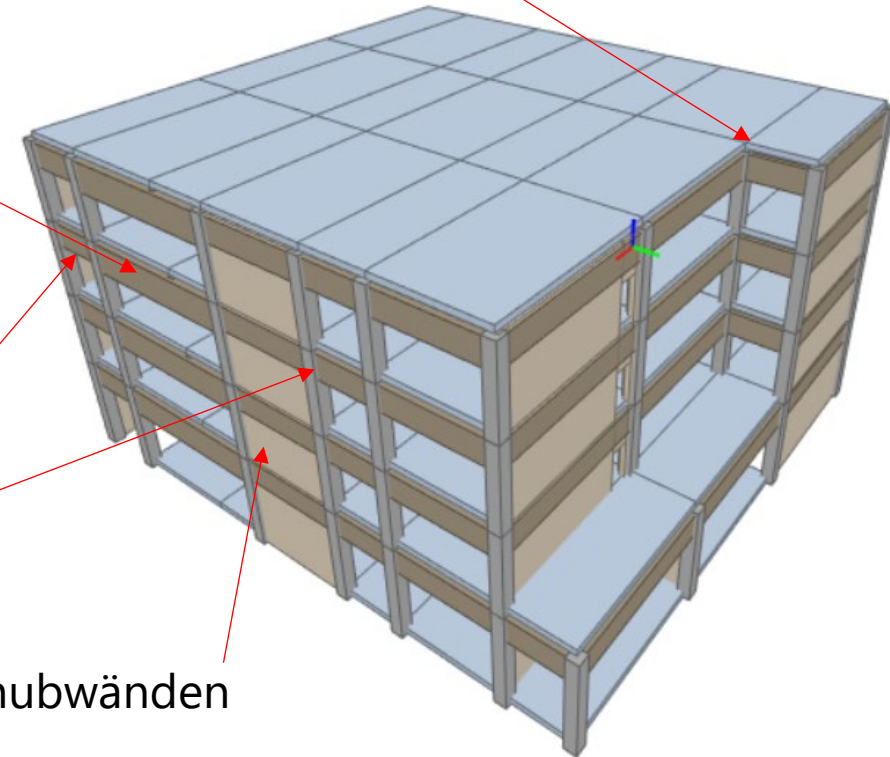
- Ortbeton

Ausbildung Plattenbalkendecke
Höhere Deckenstärke / Kassettendecke
→ Verbesserung durch Modifikation

Statische Höhe Unterzüge

Biegesteife Anschlüsse (Rahmenbildung)

Ausbildung von weiteren Schubwänden

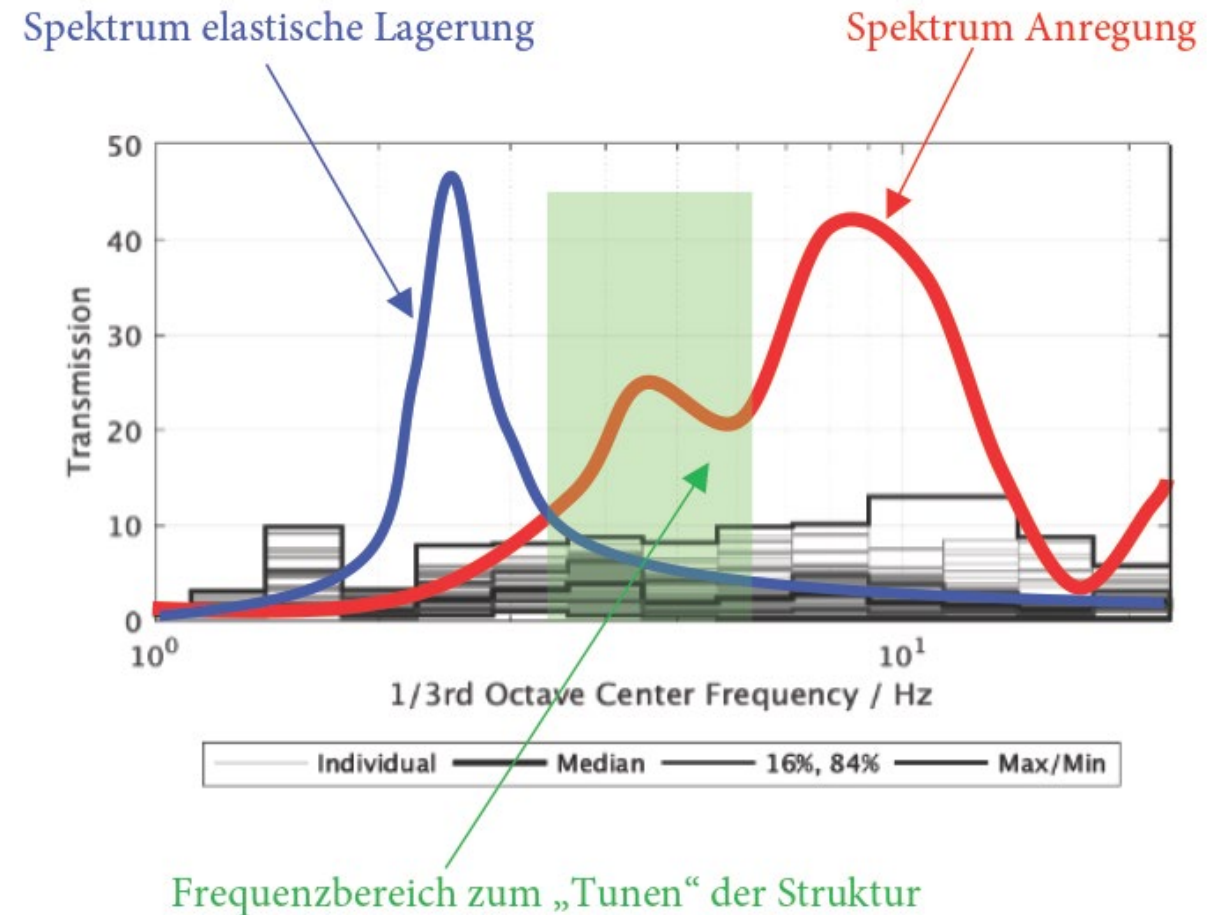


Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

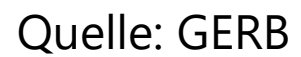
Methode zur Auswahl der elastischen Lagerungsfrequenz:

Parameter der elastischen Gebäudelagerung

- vertikal: $2,5 \text{ Hz} \leq f \leq 3,1 \text{ Hz}$
- horizontal: $2,0 \text{ Hz} \leq f \leq 2,5 \text{ Hz}$
- Dämpfung: $0,03 \leq D \leq 0,05$
- Zusätzliche Dämpfer um den Torsionsmode zu dämpfen



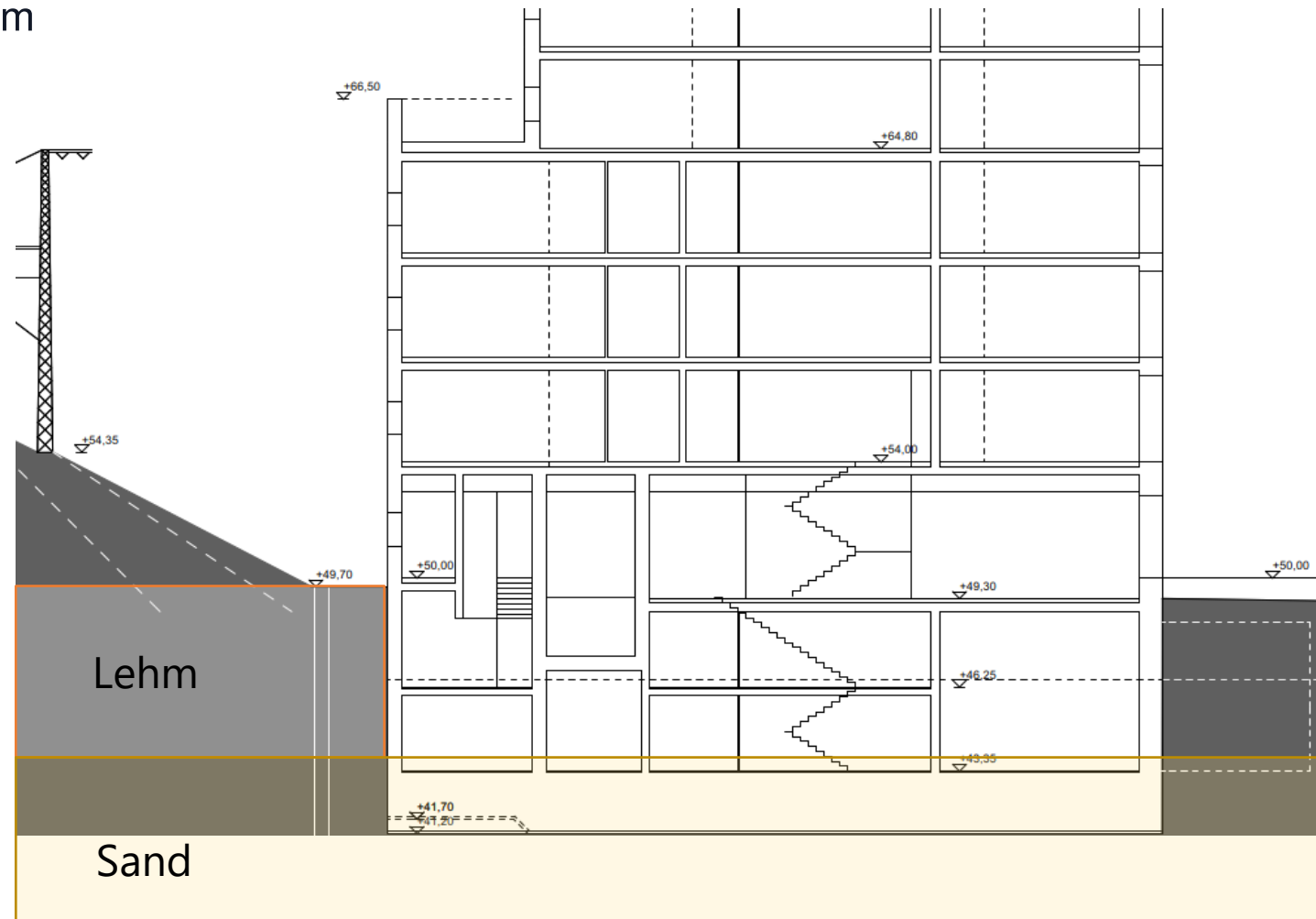
PEUTZ



Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

Beispiel 2: Biegesteife Bodenplatte

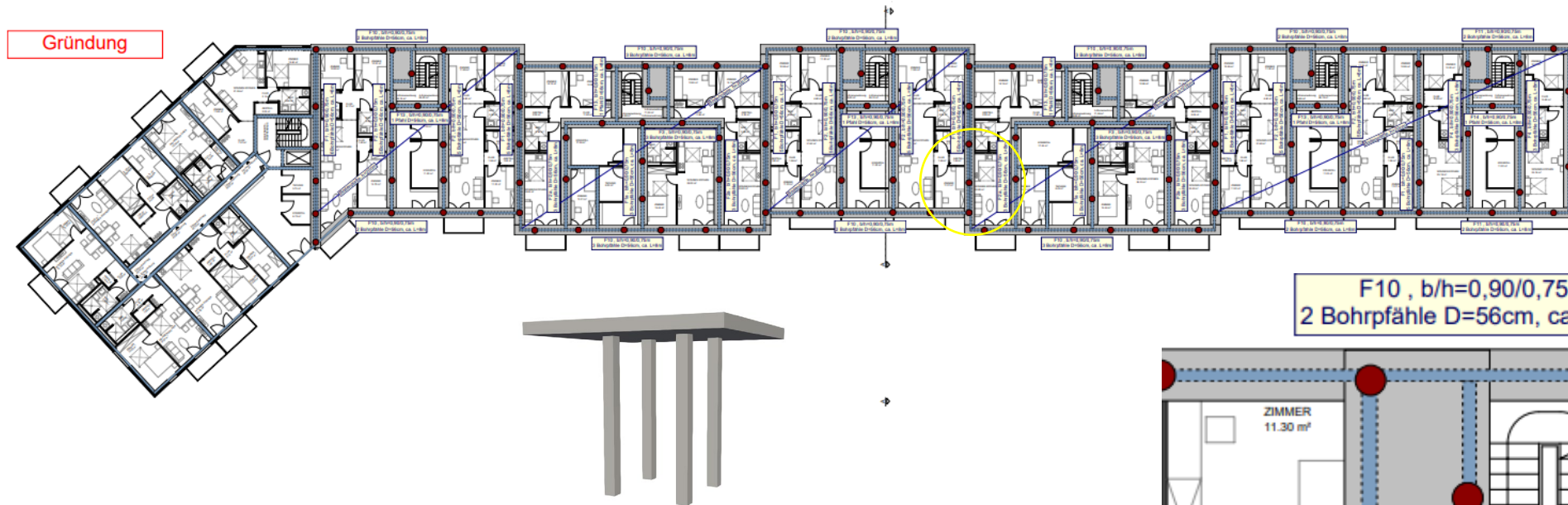
Variante: ausgesteifte Bodenplatte, $d = 1\text{ m}$



Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

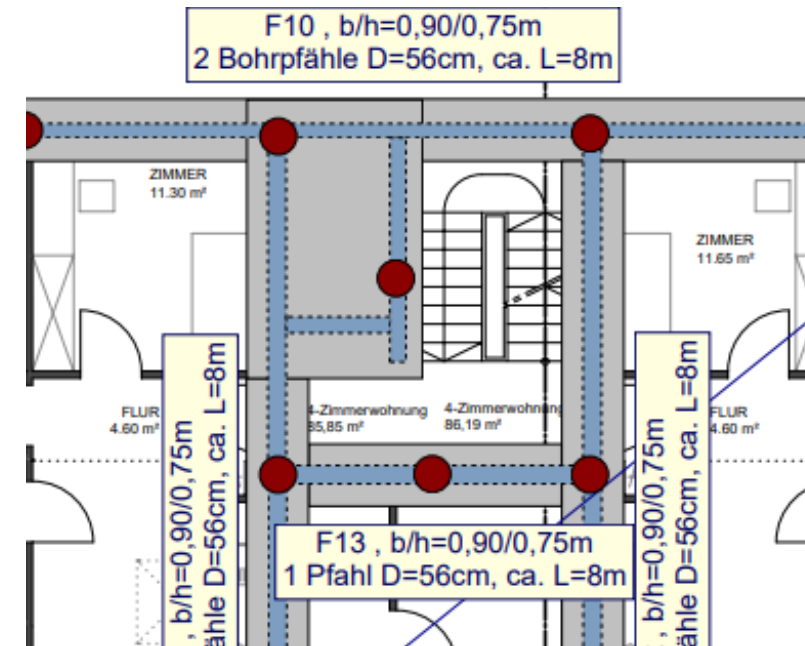
Beispiel 3: Pfahlgründung

Wohnquartier Heiligensee



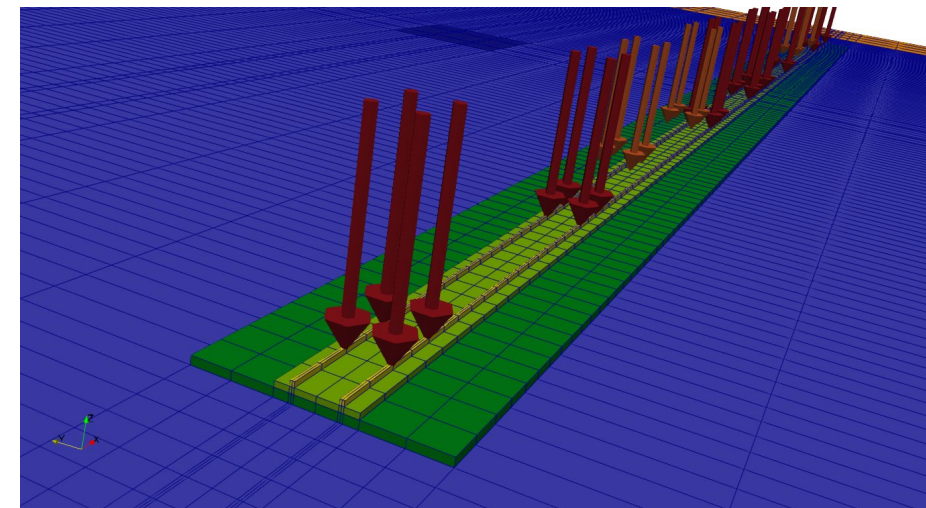
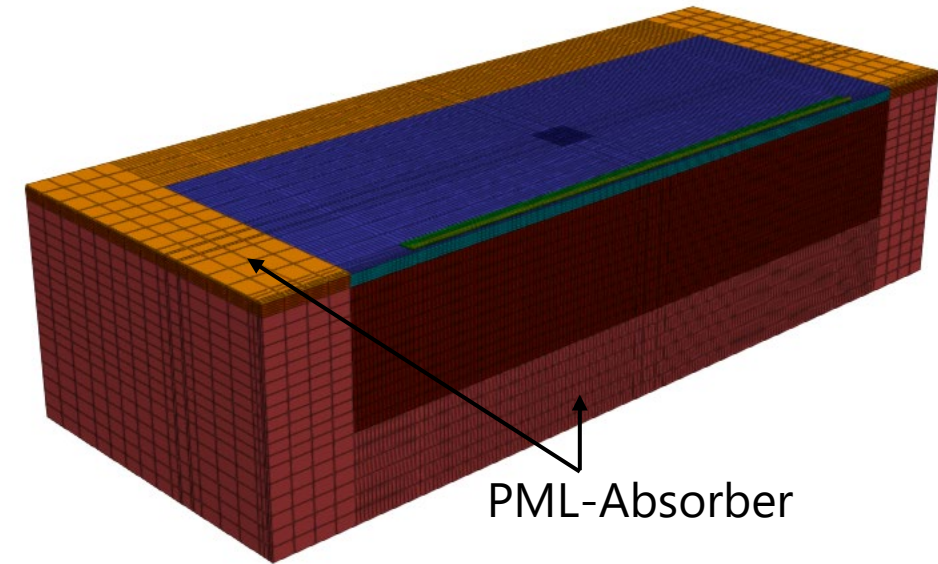
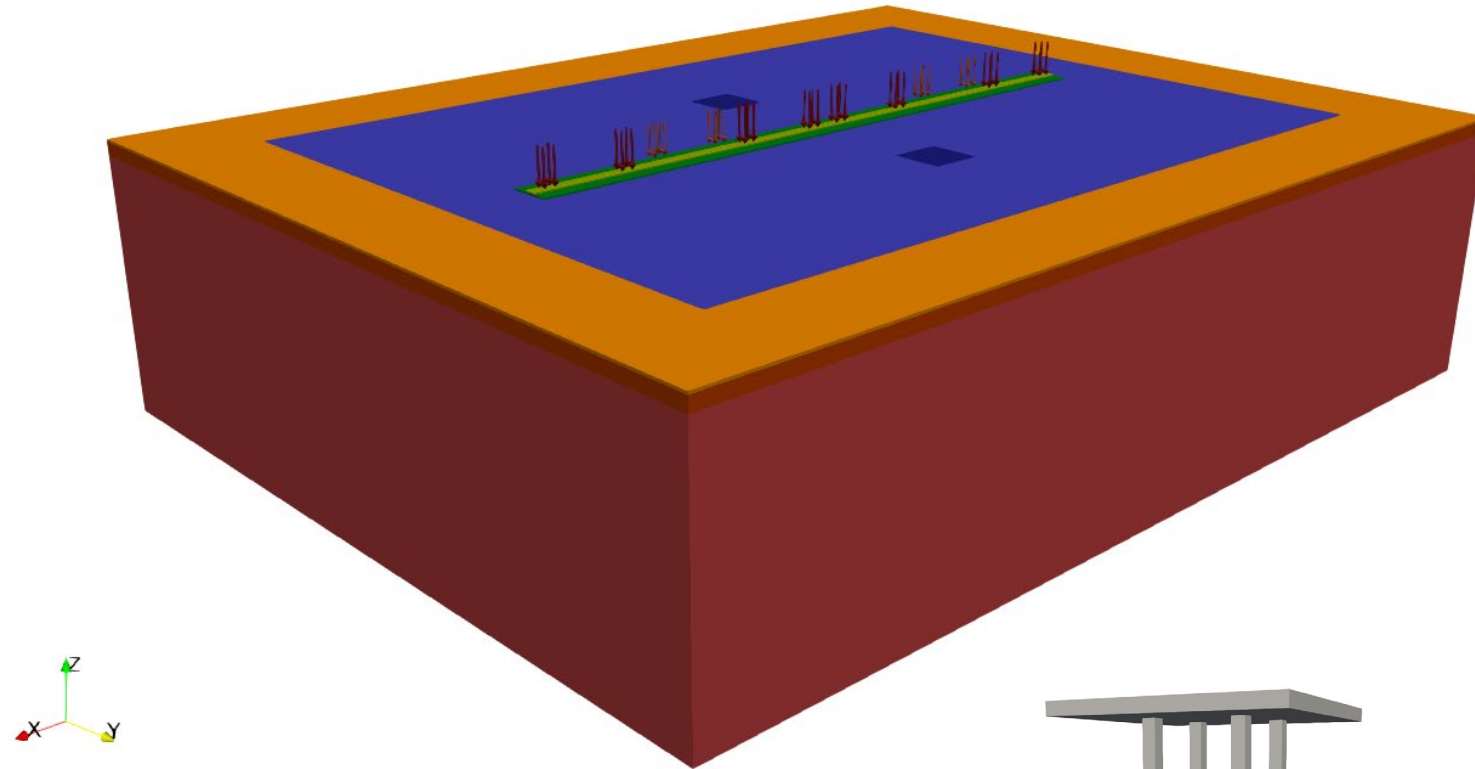
Ziel: Übertragung Free Field → Pfahl

$$T(\Omega) = \frac{\hat{u}_{z,p}(\Omega)}{\hat{u}_{z,ff}(\Omega)} = \frac{\hat{u}_{z,p}(\Omega)}{\hat{u}_{z,ff}(\Omega)} = \frac{\hat{u}_{z,p}(\Omega)}{\hat{u}_{z,ff}(\Omega)}$$



Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

3D-FEM-Modell

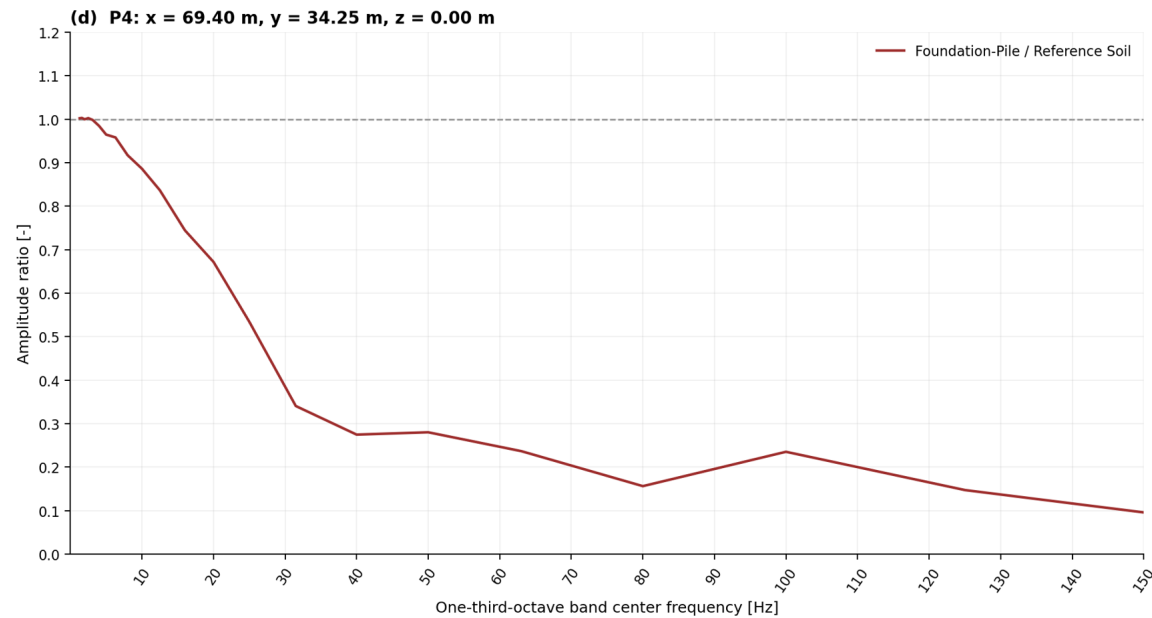


Pfahlgründung

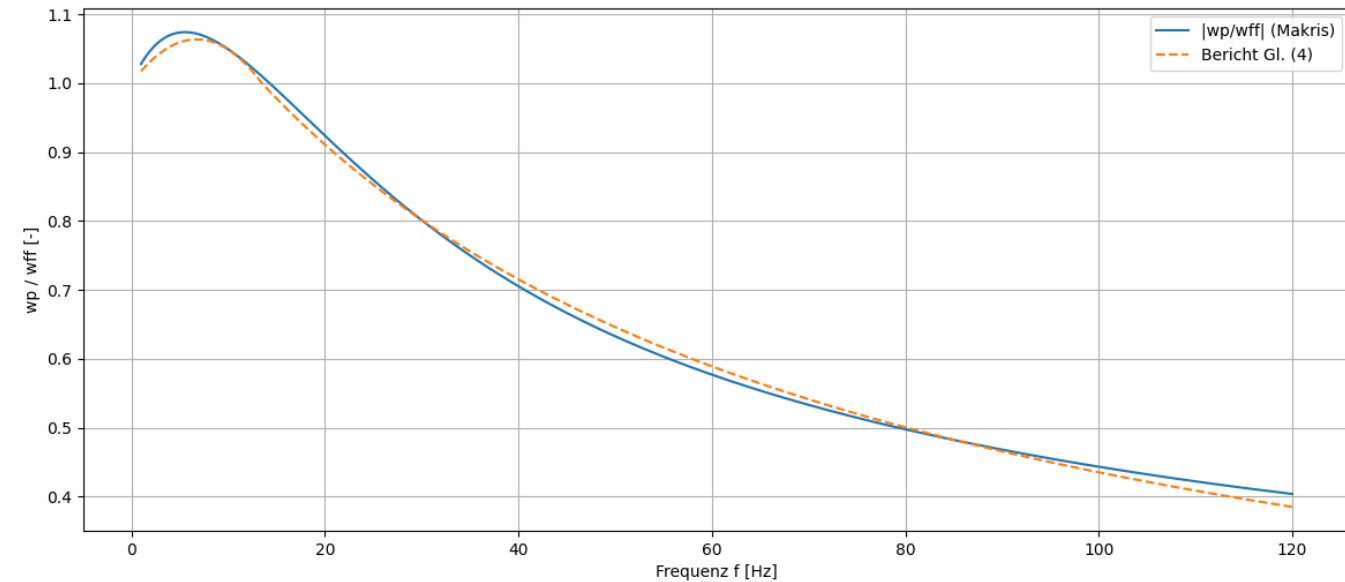
Zuglast

Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

Vergleich FEM- und Makris-Lösung



Analytische Lösung nach Makris

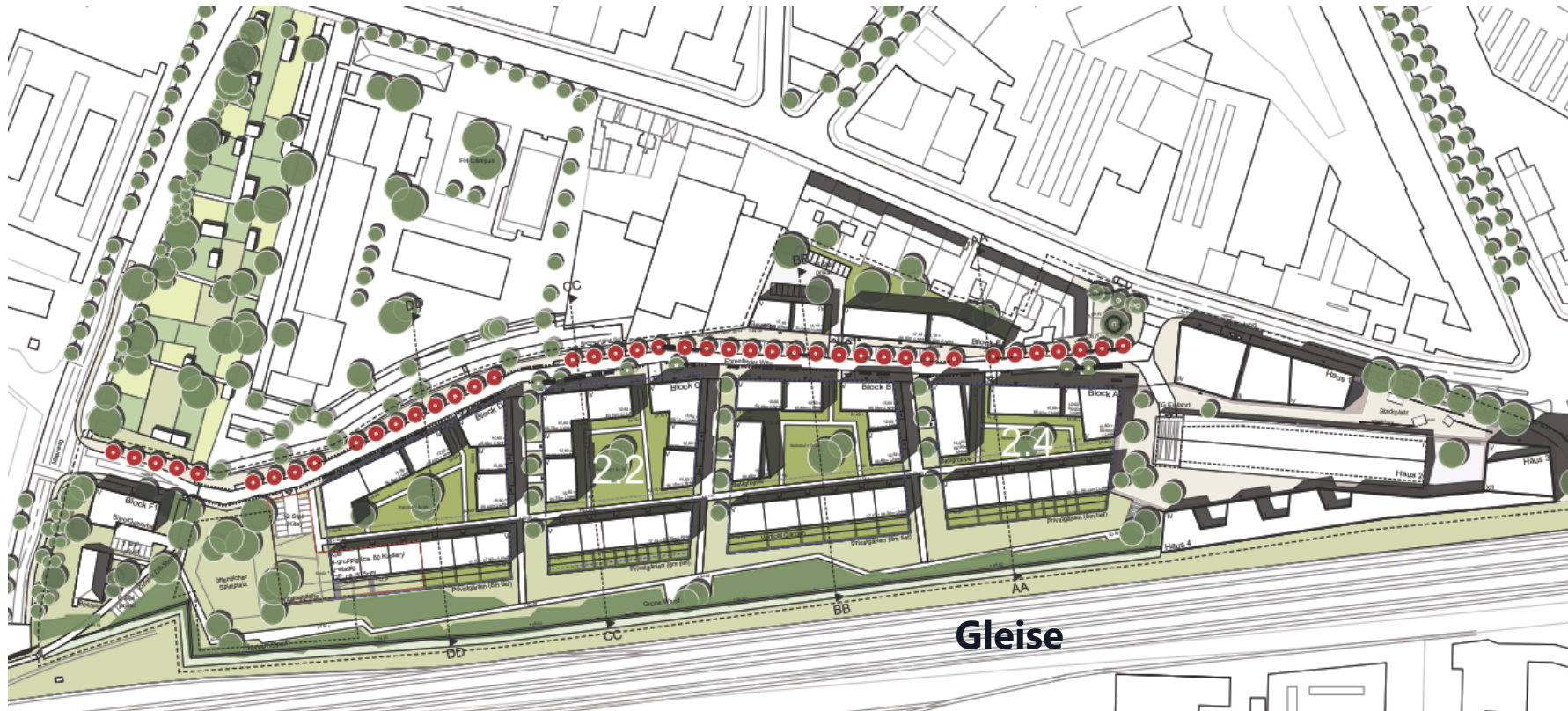


Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

Beispiel 4: QS auf der Baustelle

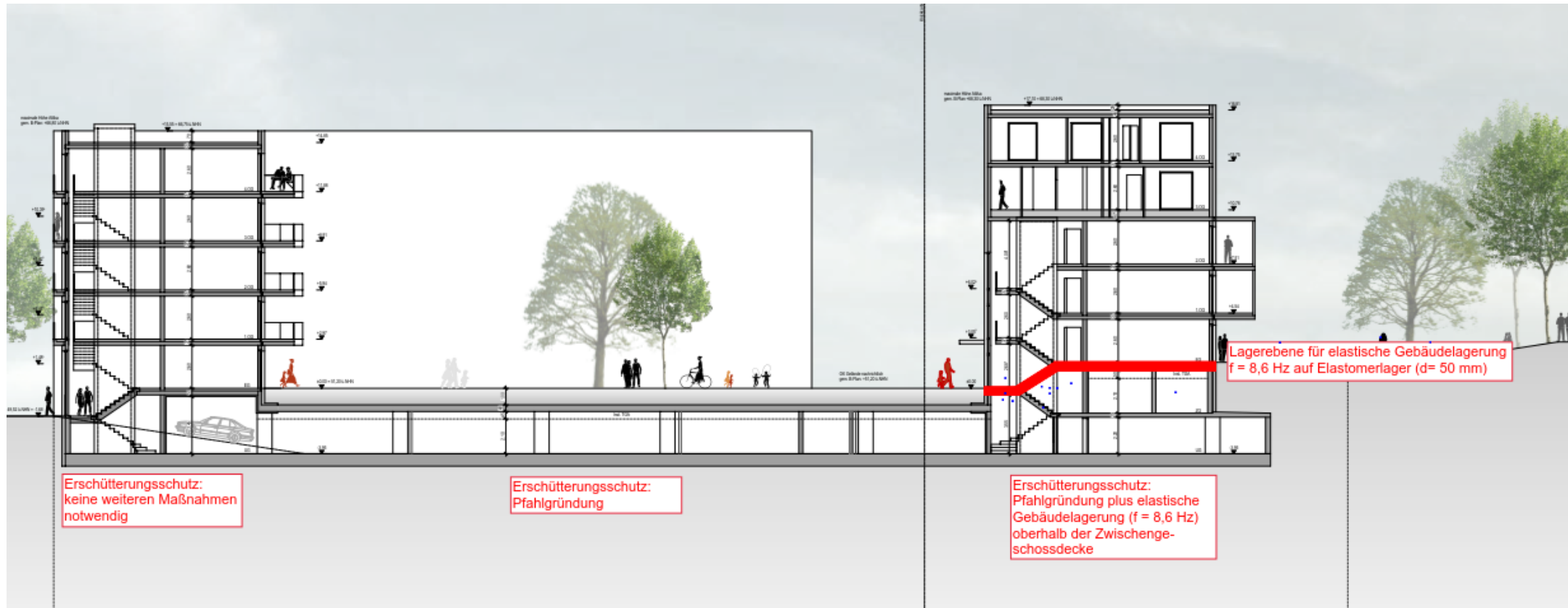
Wohnquartier Ehrenveedel in Köln

Quelle: Schienenverkehr



Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

Beispiel 4: QS auf der Baustelle – Wohnquartier Ehrenveedel in Köln



Fallbeispiele aus Planung und Ausführung

Beispiel 4: Qualitätssicherung auf der Baustelle – Wohnquartier Ehrenveedel in Köln



Zusammenfassung

Die wichtigsten Erkenntnisse

- Nachvollziehbare Messungen brauchen eine gute Dokumentation.
- Ergebnisse müssen vor Ort verifiziert werden.
- Messung und Berechnung ergänzen sich.
- Minderungsmaßnahmen reichen von elastischer Lagerung bis zur konstruktiven Ertüchtigung.
- Wirksame Lösungen entstehen im Zusammenspiel von Architektur, Tragwerksplanung und Baugrund.
- Wechselwirkungen und Anregungsfrequenzen schließen pauschale „sichere Seiten“ aus.
- **Entscheidend sind pragmatische und wirtschaftliche Lösungen.**

Kontakt: Thomas Jaquet | thomas.jaquet@peutz.de | 0231 / 725 4991-71