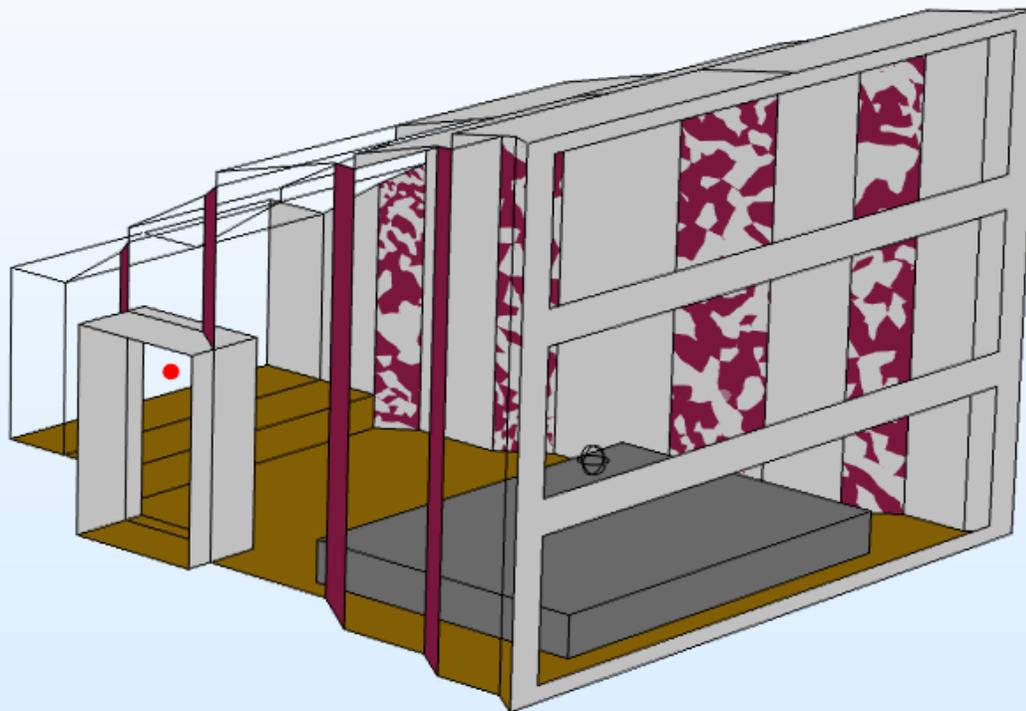


bauphysik*apéro*

BAU- UND RAUMAKUSTIK



Sven Friedel
Dr.rer.nat.

Comsol Multiphysics GmbH
8009 Zürich



Bau- und Raumakustik

Einleitung

Akustiksimulationen

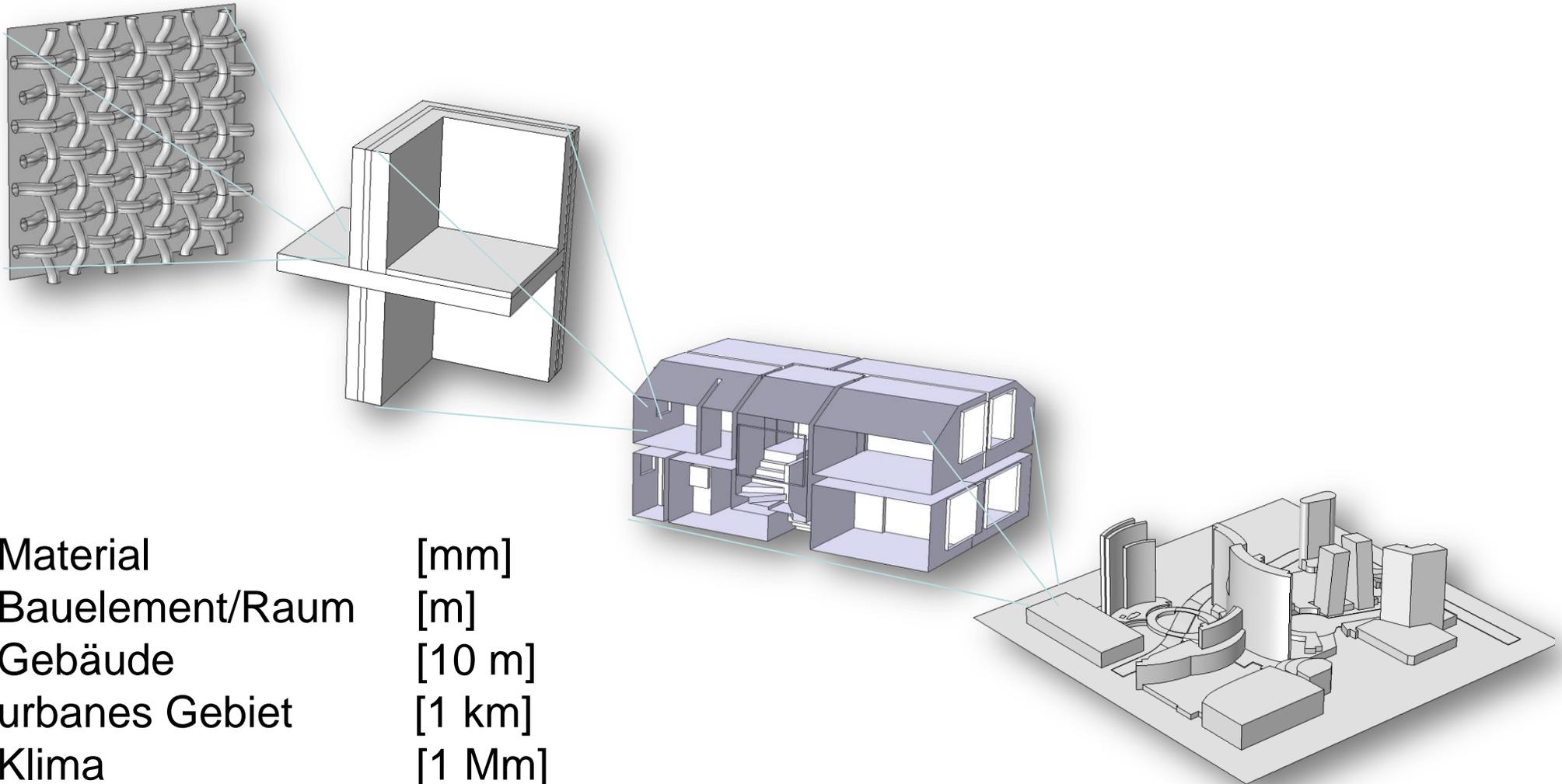
Konzept Simulation Apps

Zusammenfassung

Gebäude sind Multi-Physikalische Objekte



Gebäude sind Multi-Skalen Objekte



Material [mm]
 Bauelement/Raum [m]
 Gebäude [10 m]
 urbanes Gebiet [1 km]
 Klima [1 Mm]
 Akustik-Frequenzen: 20 Hz – 20 kHz

Integrierte Simulation – virtueller Prüfstand

Physikalische
Gesetze

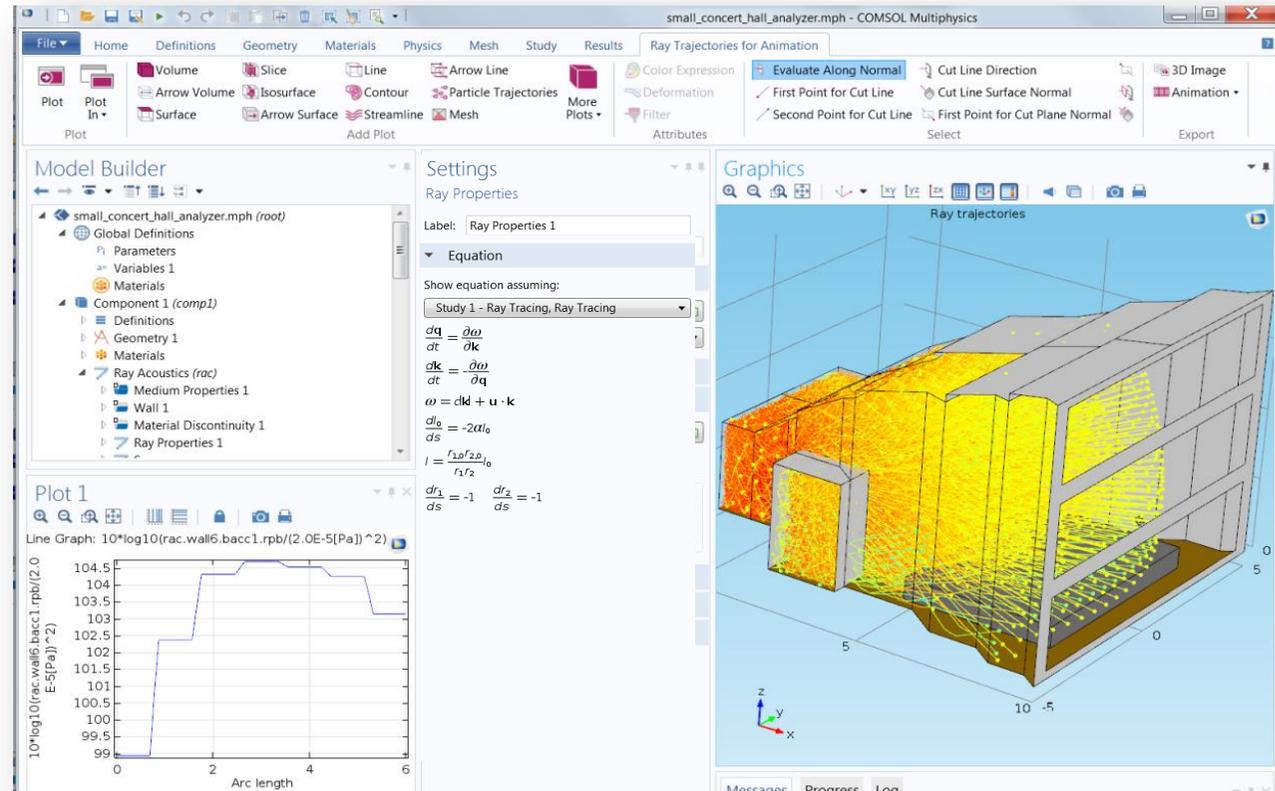
Einheitlicher
Workflow

Parameterisierung
und Optimierung

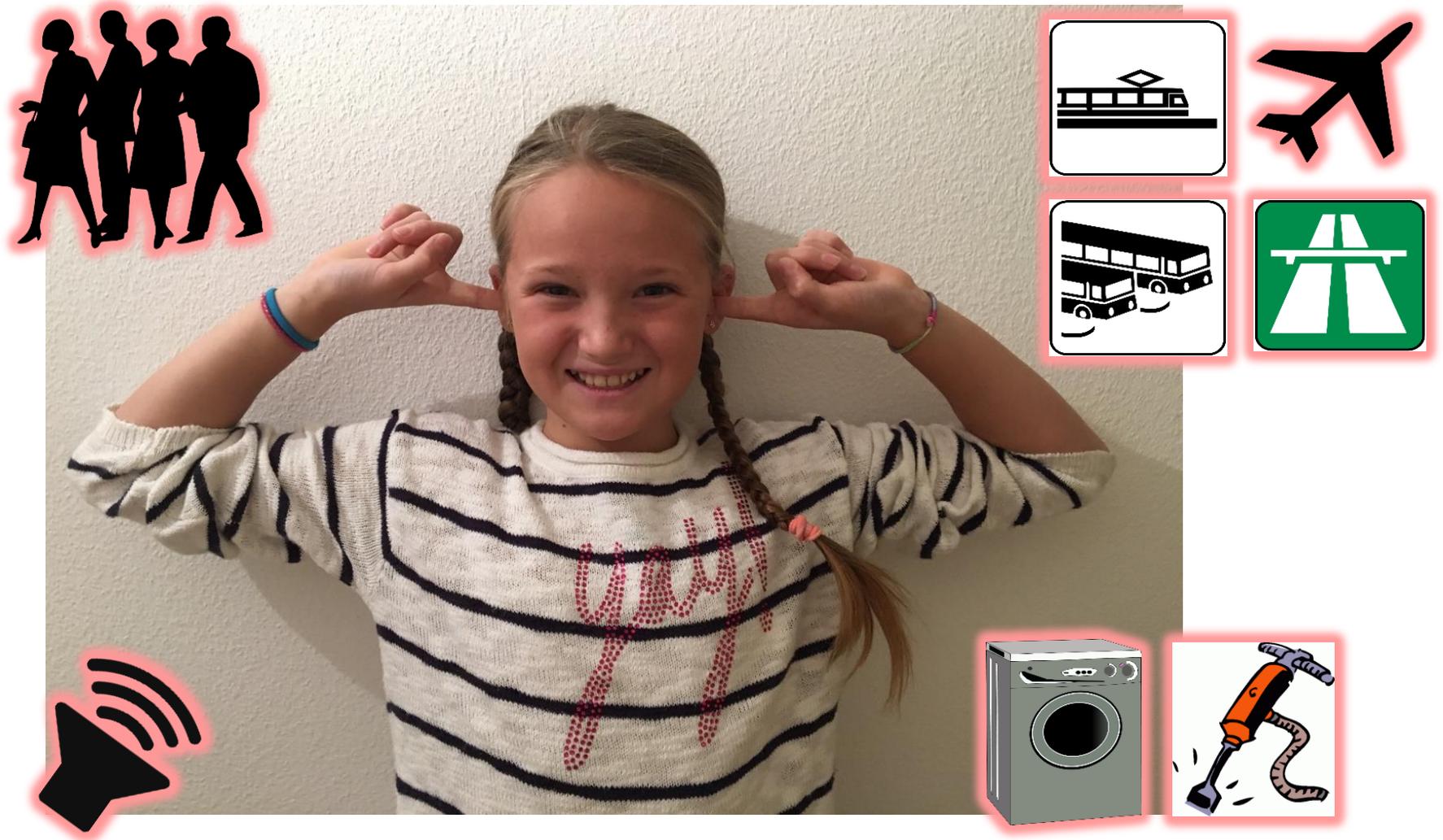
Schnittstellen

Transparenz

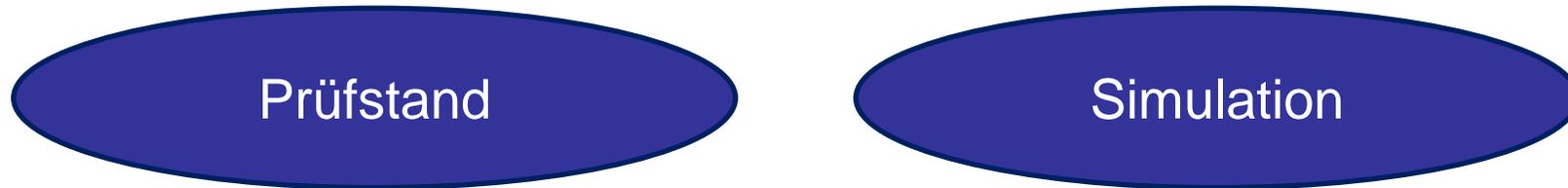
Applikations-
Entwicklung



Mehr Menschen, mehr Verkehr, mehr Geräte



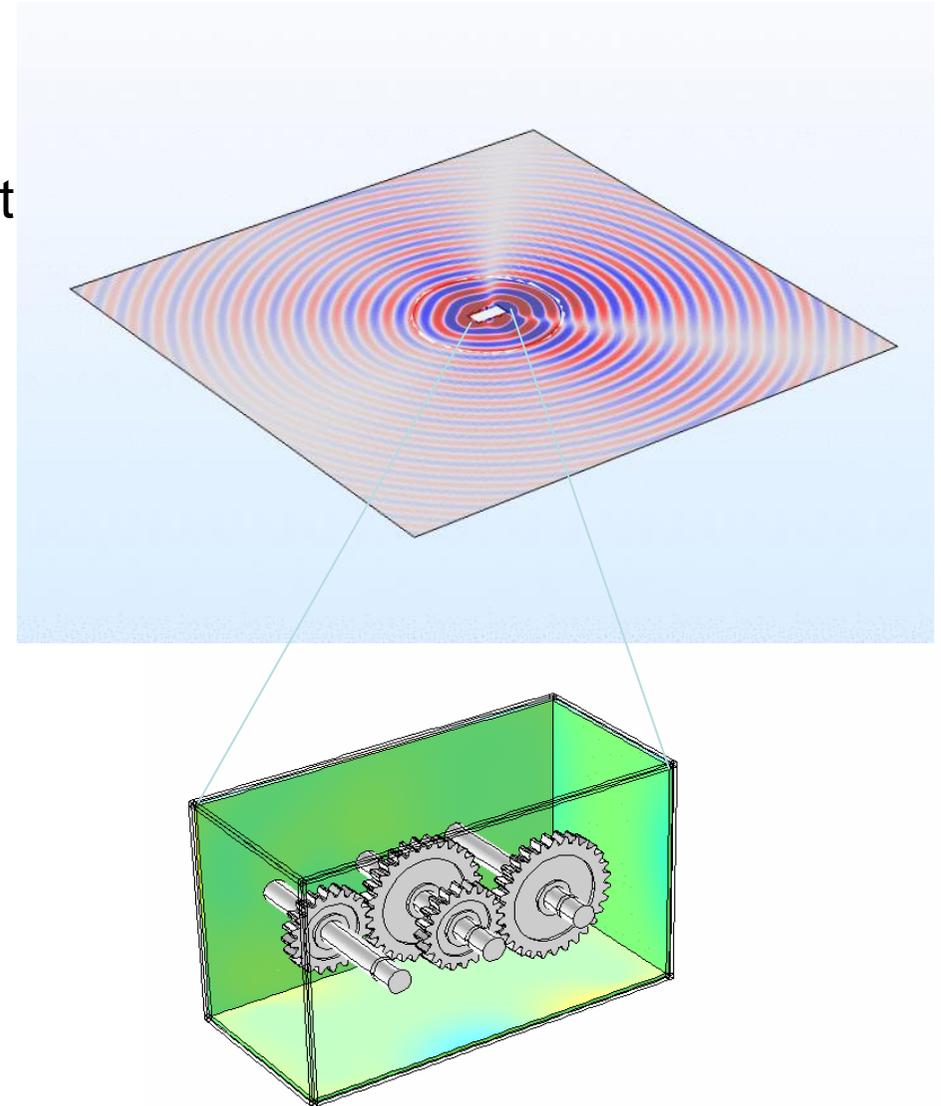
Prüfstand und Simulation Hand-in-Hand



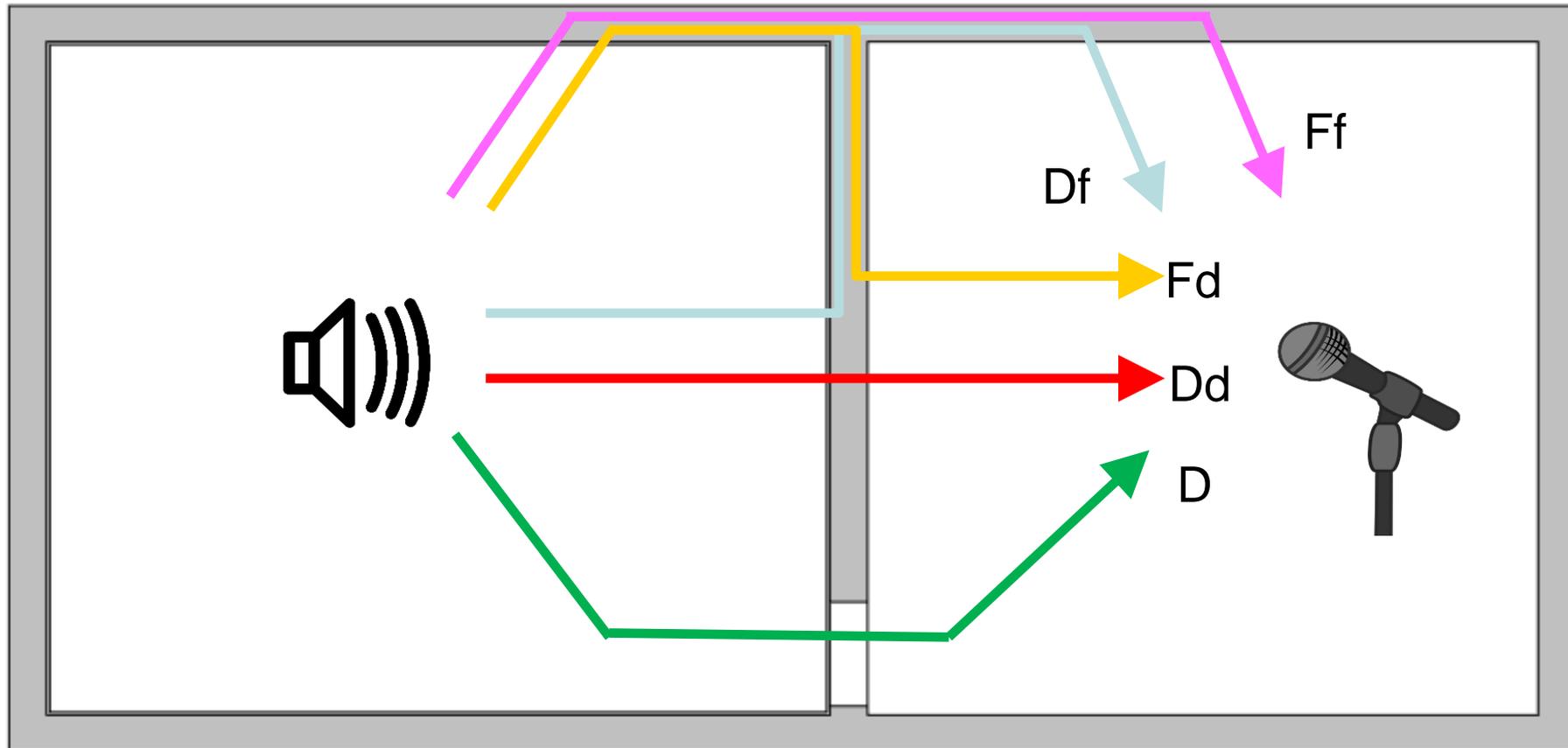
- Simulation ersetzt den Prüfstand nicht sondern ergänzt ihn
- Prüfstand liefert wertvolle Informationen über Eigenschaften von Bauelementen und Materialien durch einfache Sender-Empfänger Konfigurationen
- Simulation nutzt diese Informationen um Schallausbreitung in ganzen Räumen vorherzusagen.
- Erhöhung der Nutzungsqualität, Vermeidung von Bauschäden und –sünden
- nicht die perfekte Lösung – aber eine bessere!
- virtueller Prüfstand zum Testen von Ideen – Wagemut mit geringen Kosten!

Akustiksimulation

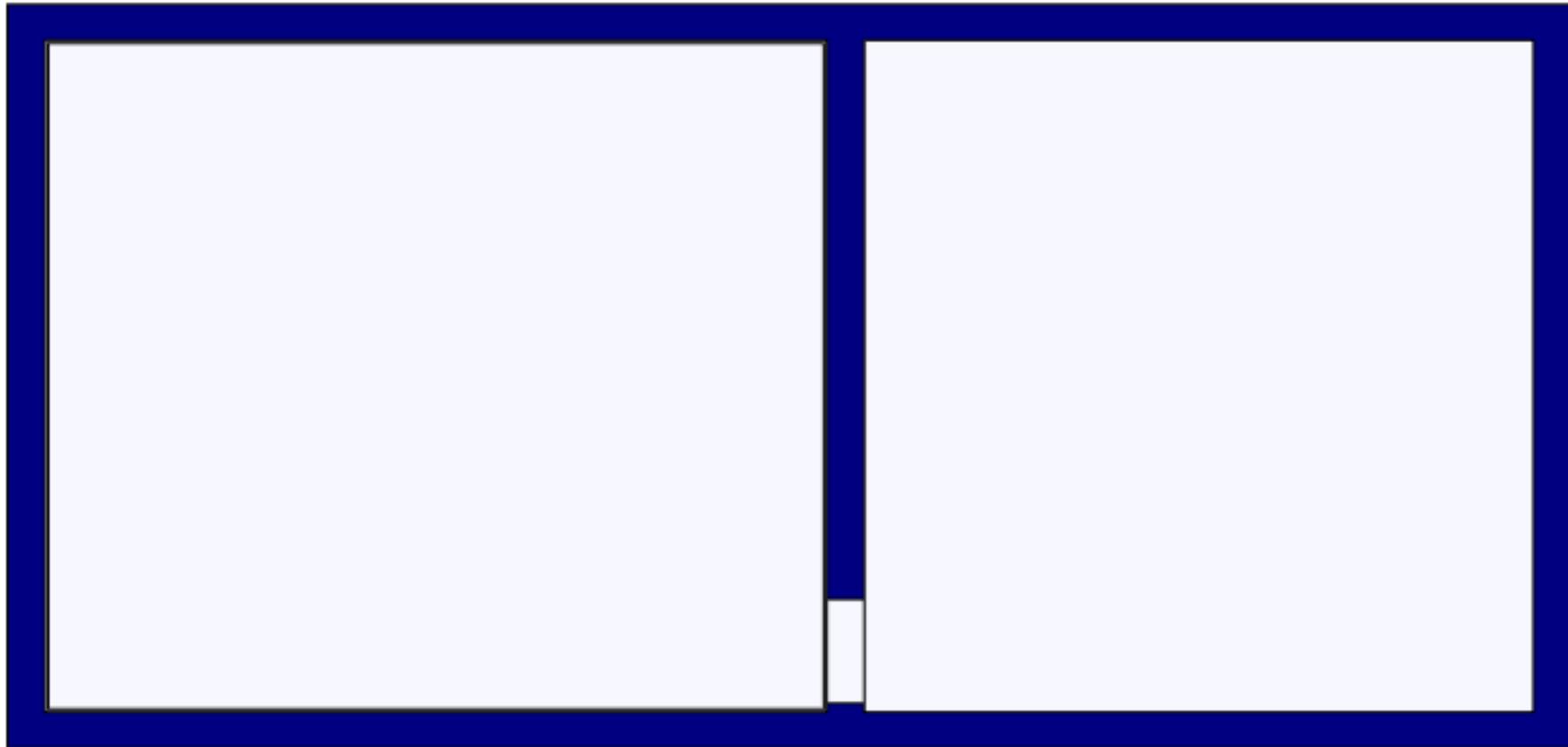
- Ausbreitung mechanischer Energie in Luft (Raumakustik) und im Bauwerk (Bauakustik) → Wellengleichung
- Schallquellen sind mechanische Vibrationen (Struktur-Akustik Kopplung)
- Reflexion, Absorption, Beugung
- Grenzen des Modells werden gesetzt durch
 - Grösse von Raum und Gebäude
 - Frequenz
 - Art der berücksichtigten Übertragungsmechanismen



Komponenten der Schallübertragung

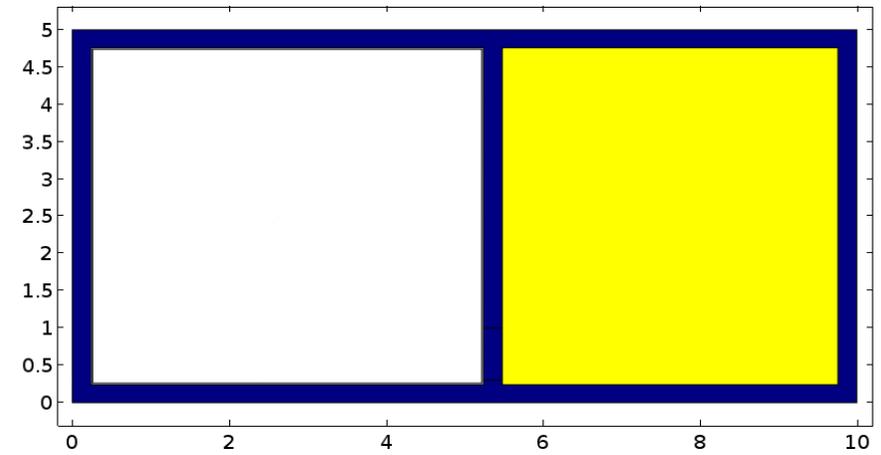


Sinusförmige Anregung 500 Hz

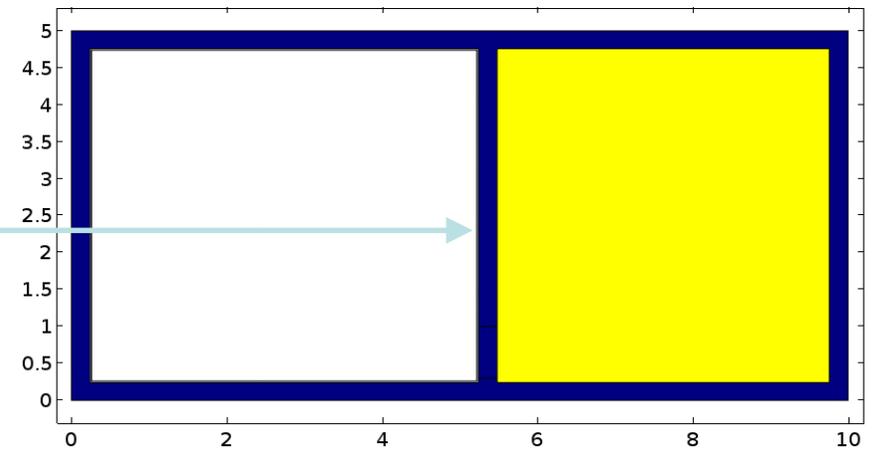


Einfluss Körperschall

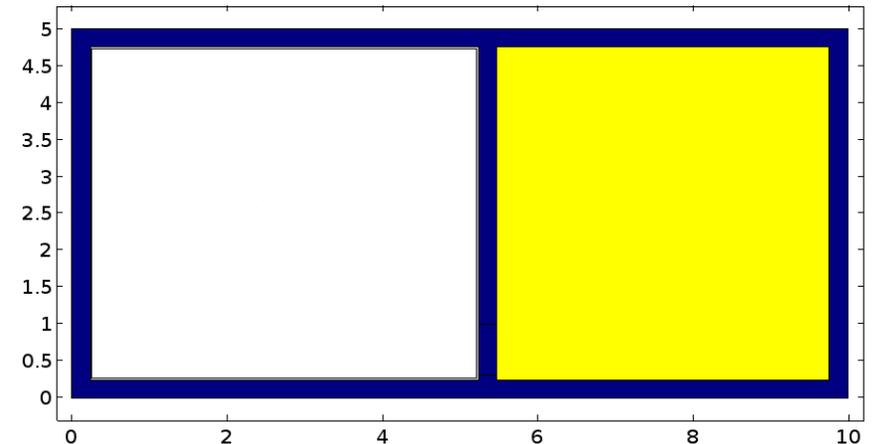
1) Raum 1 ungedämmt



2) Raum 1, Trennwand gedämmt



3) Raum 1, umfassend gedämmt

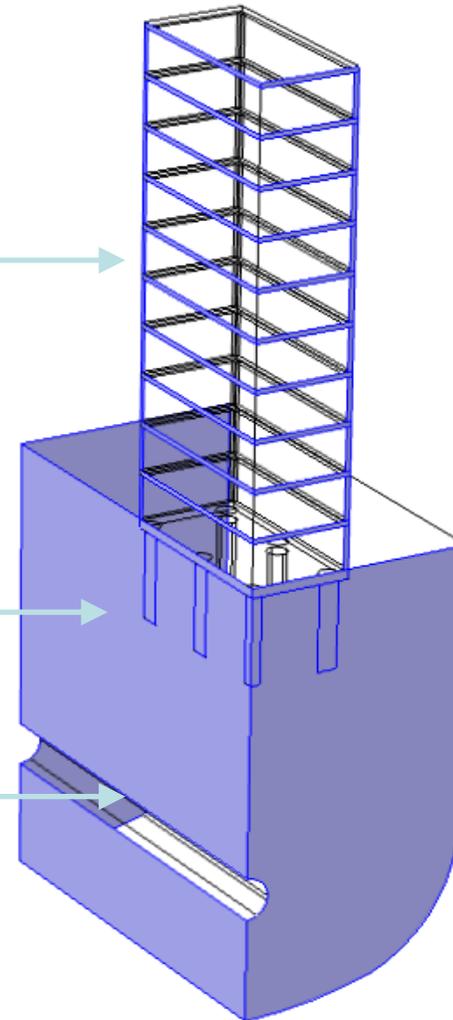


3D Beispiel: U-Bahn Lärm in Gebäuden

10-stöckiges Hochhaus, nur $\frac{1}{4}$ ist modelliert wegen Symmetrie

Gründungspfähle

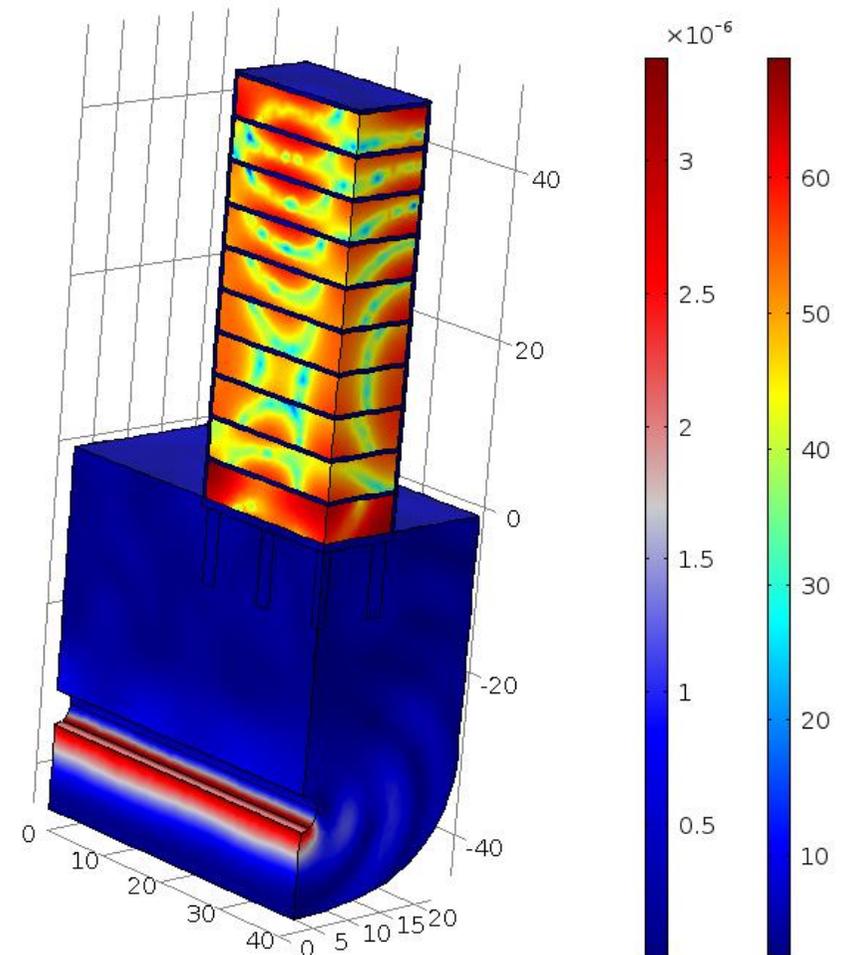
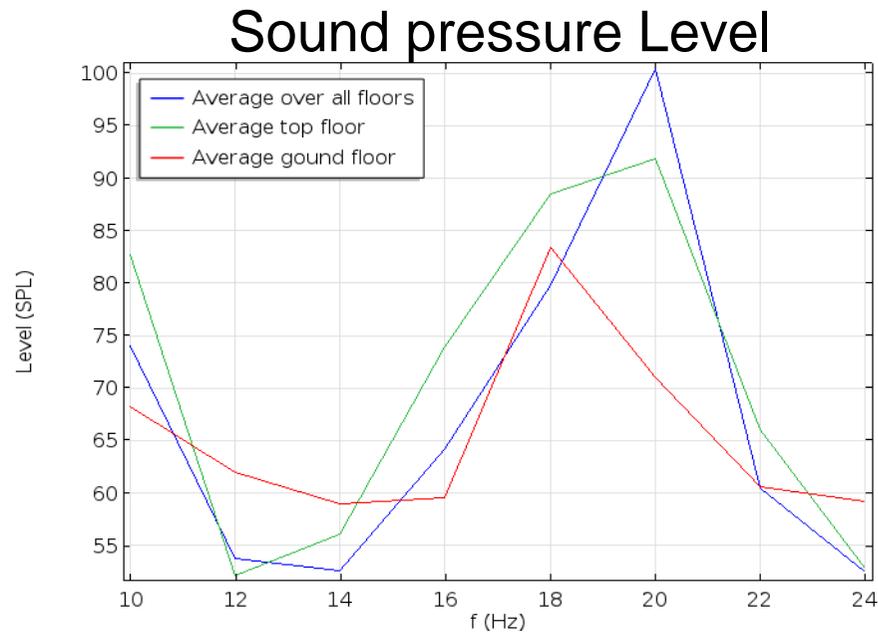
U-Bahn in Tunnel erzeugt niederfrequente Erschütterungen



3D Beispiel: U-Bahn Lärm in Gebäuden

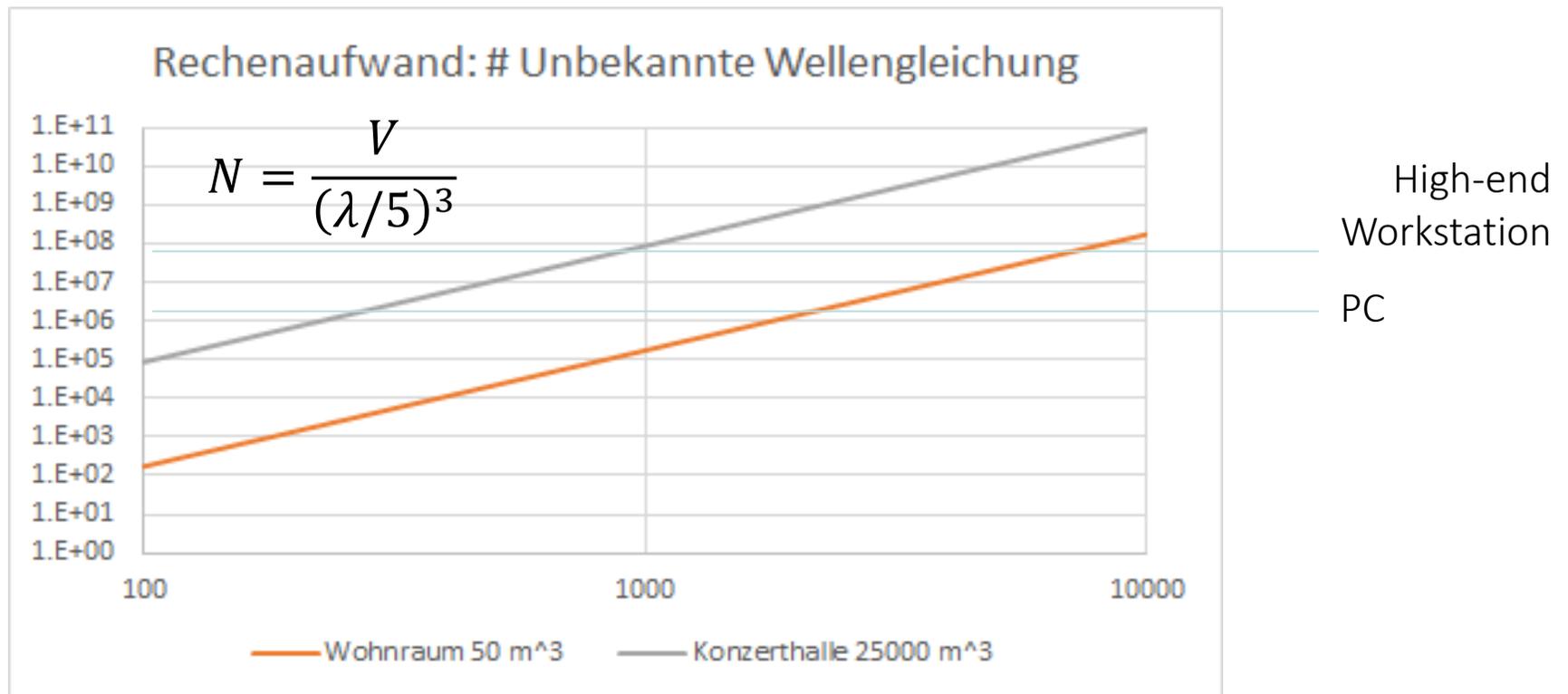
Schritt 1: Lösung Vibrationsproblem

Schritt 2: Lösung Akustikproblem mit
Anregung durch Vibration



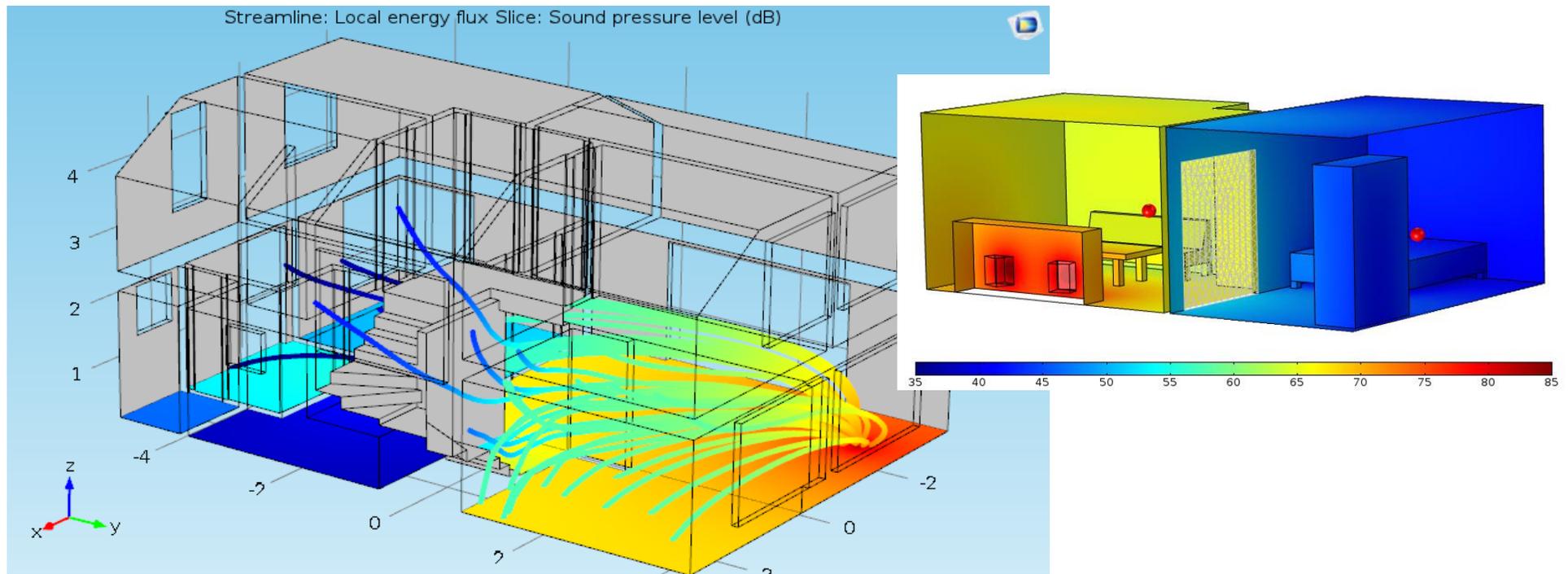
Grenzen der Wellenakustik

- erfordert Lösung der Wellengleichung im Laufraum und in Festkörpern
- pro Wellenlänge mind. 5 Gitterzellen ($\sim N =$ Unbekannte in Gleichung)
- numerische Zellengrösse bei 100 Hz \rightarrow 66 cm, bei 10 kHz \rightarrow 6 mm!



Alternative 1: Akustische Diffusion

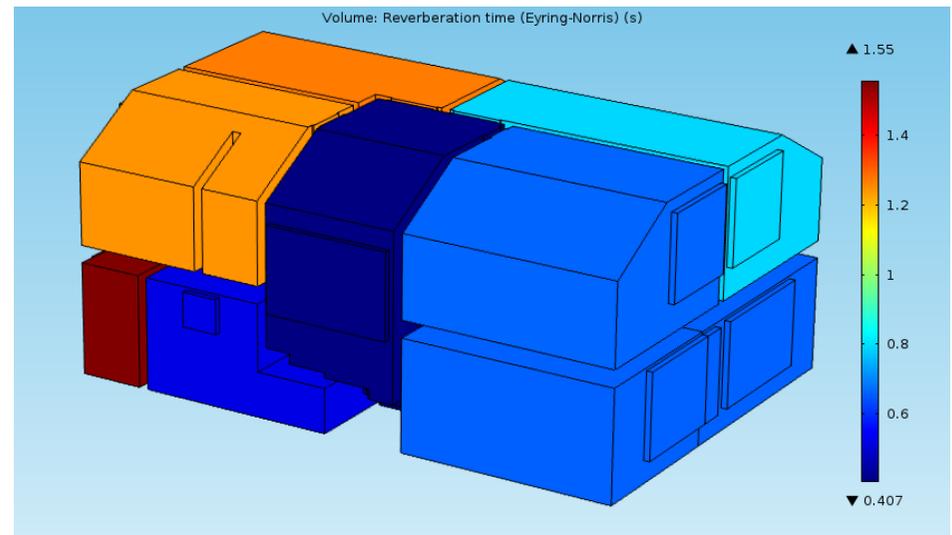
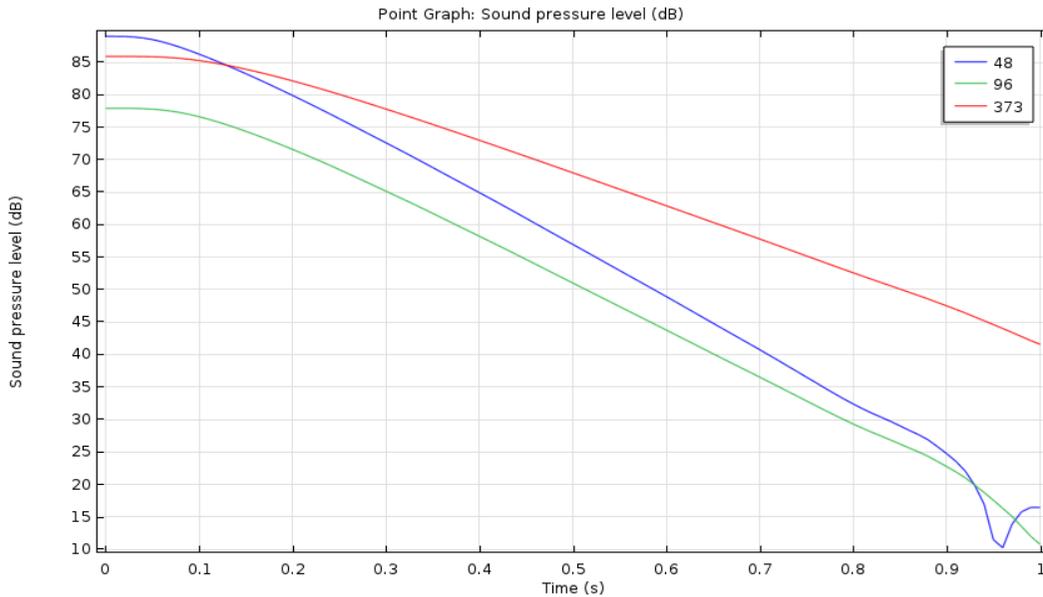
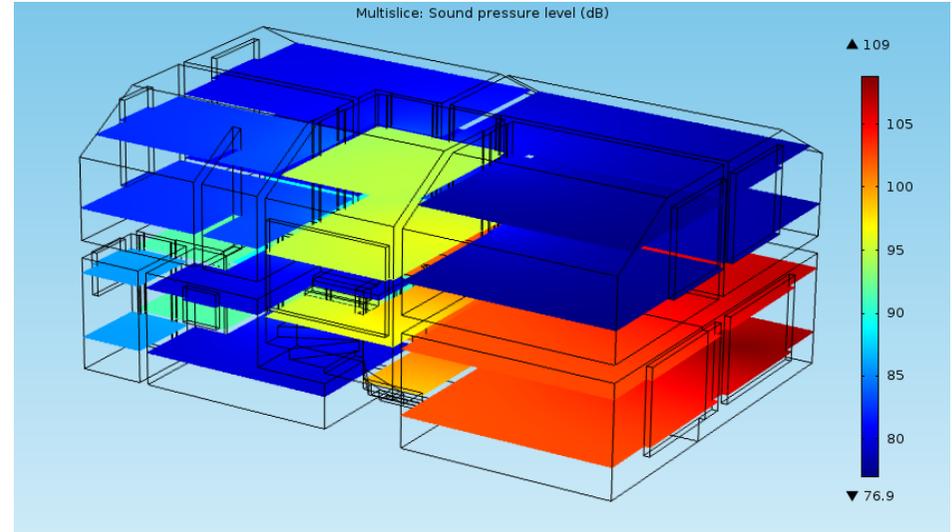
- Welle wird nicht mehr komplett aufgelöst, sondern nur noch ihre Energiedichte
- keine Information über Phase und Laufzeit, keine Strukturkopplung
- Hochfrequenznäherung in grösseren Gebäuden → Lärmpegel-Simulation
- Absorption und Transmission durch Wände kann vorgegeben werden → Nachhall



Akustische Diffusion in Einfamilienhaus

Typische Ergebnisse:

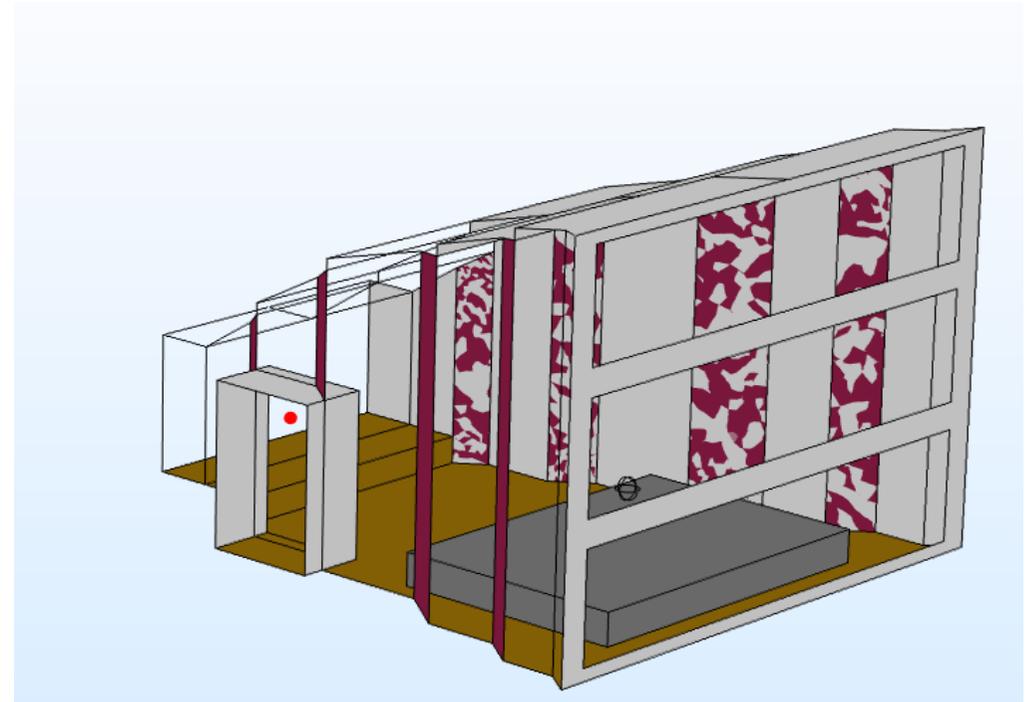
- Schalldruckpegel dB (oben rechts)
- Eyring-Norris Nachhallzeit T_{60} für jeden Raum (unten rechts)
- Abklingzeit der Energie für beliebige Punkte (unten links)



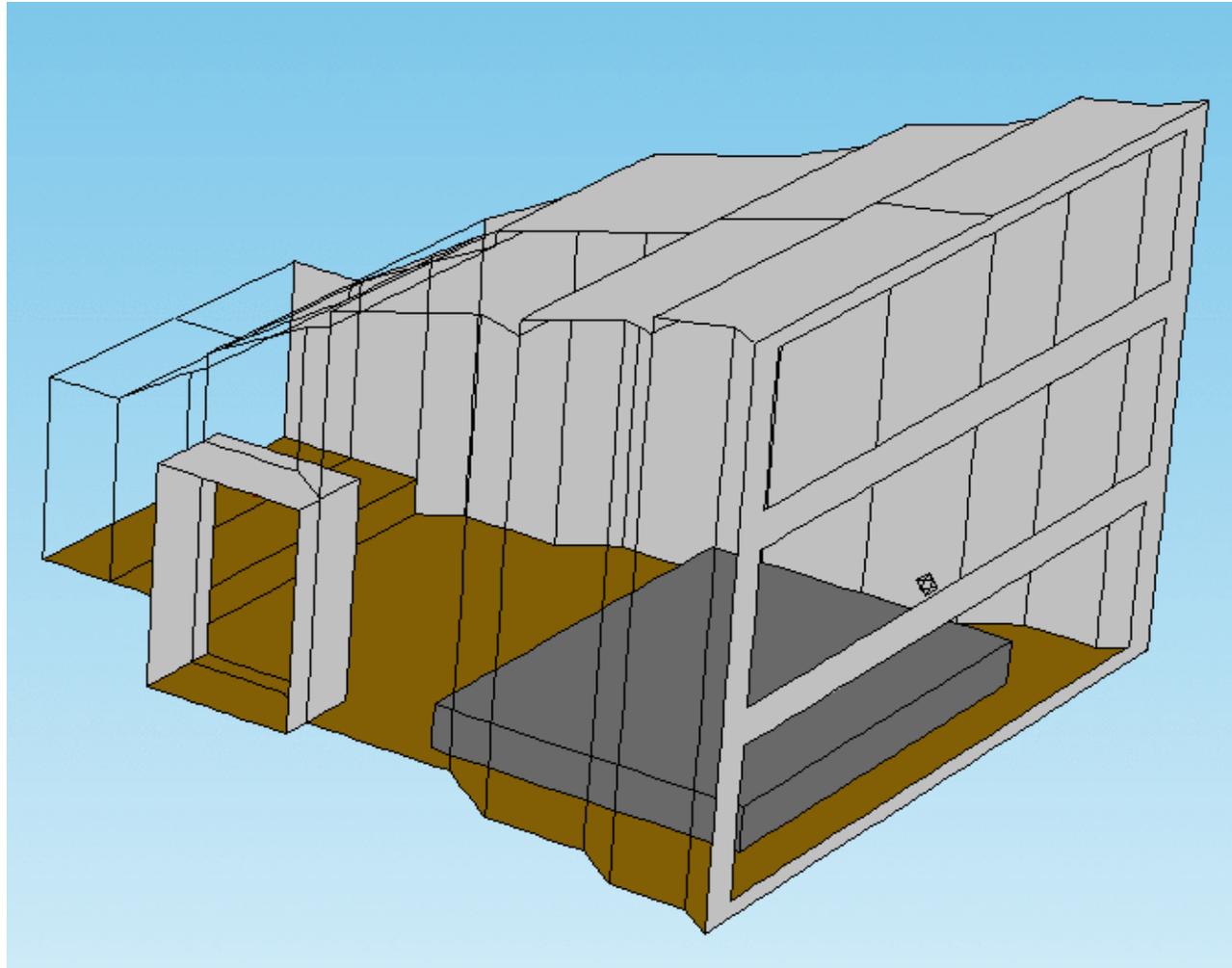
Alternative 2: Strahlenakustik

- Für hohe Frequenzen, sehr grosse Räume und höchste Ansprüche wie:
 - Direktschall
 - Frühreflexion
 - Laufzeit
 - Sprachverständlichkeit

- Beispiel: Konzerthalle
- Berechnet wird die Trajektorie eines Partikels, dass sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet sowie reflektiert und absorbiert werden kann.



Schalltrajektorien in eine Konzerthalle



Das neue Konzept Simulation Apps

- Bedienung einer vorbereiteten Simulation in Ihrem Web-Browser
- Vordefinierte Ein- und Ausgaben, soviel Flexibilität wie der Designer zulässt.
- Interaktion mit Architekten, Bauherren, Messingenieuren

Small Concert Hall Analyzer

File Home

Reset to Default Values User Input

Compute Animate Simulation

Report Open Documentation Documentation

Small Concert Hall Analyzer

Source

x-coordinate: 0.5 m

y-coordinate: -1.0 m

z-coordinate: 1.5 m

Microphone

x-coordinate: 7 m

y-coordinate: 0 m

z-coordinate: 1.5 m

Diameter: 40 cm

Ray Settings

Frequency component: 1000 Hz

End time: 0.8 s

Number of rays: 4000

Expected computation time with default settings: 35 s

Absorption Coefficients

Entrance area: 0.3

Floor: 0.1

Walls: 0.05

Windows: 0.01

Seating area: 0.6

Diffusers

Use diffusers

Total absorption of diffusers: 0.15

Scattering coefficient of diffusers: 0.1

The diffusers reflect the sound in random directions with a probability given by the scattering coefficient of the diffusers. The computed ray paths will therefore vary.

Geometry Diffusers Ray Trajectories Sound Pressure Level Filtered Impulse Response

Zusammenfassung

Gebäude sind Multiphysik- und Multiskalen Objekte – Integration von Informationen inklusive Simulationsergebnissen sollte angestrebt werden.

Integrierte Simulation hat in den letzten Jahren enorm an Vorhersagekraft gewonnen, komplexe Szenarien können realistisch nachgebildet werden.

In der Akustik gibt es keine «one-size-fits-all» Lösung – je nach Raumgrösse und Frequenz sind Wellenakustik, akustische Diffusion oder Strahlakustik zu wählen.

Virtueller Prüfstand nicht nur für Bauphysiker, sondern auch Architekten, Entwickler von Audiosystemen oder Prüfeinrichtungen.