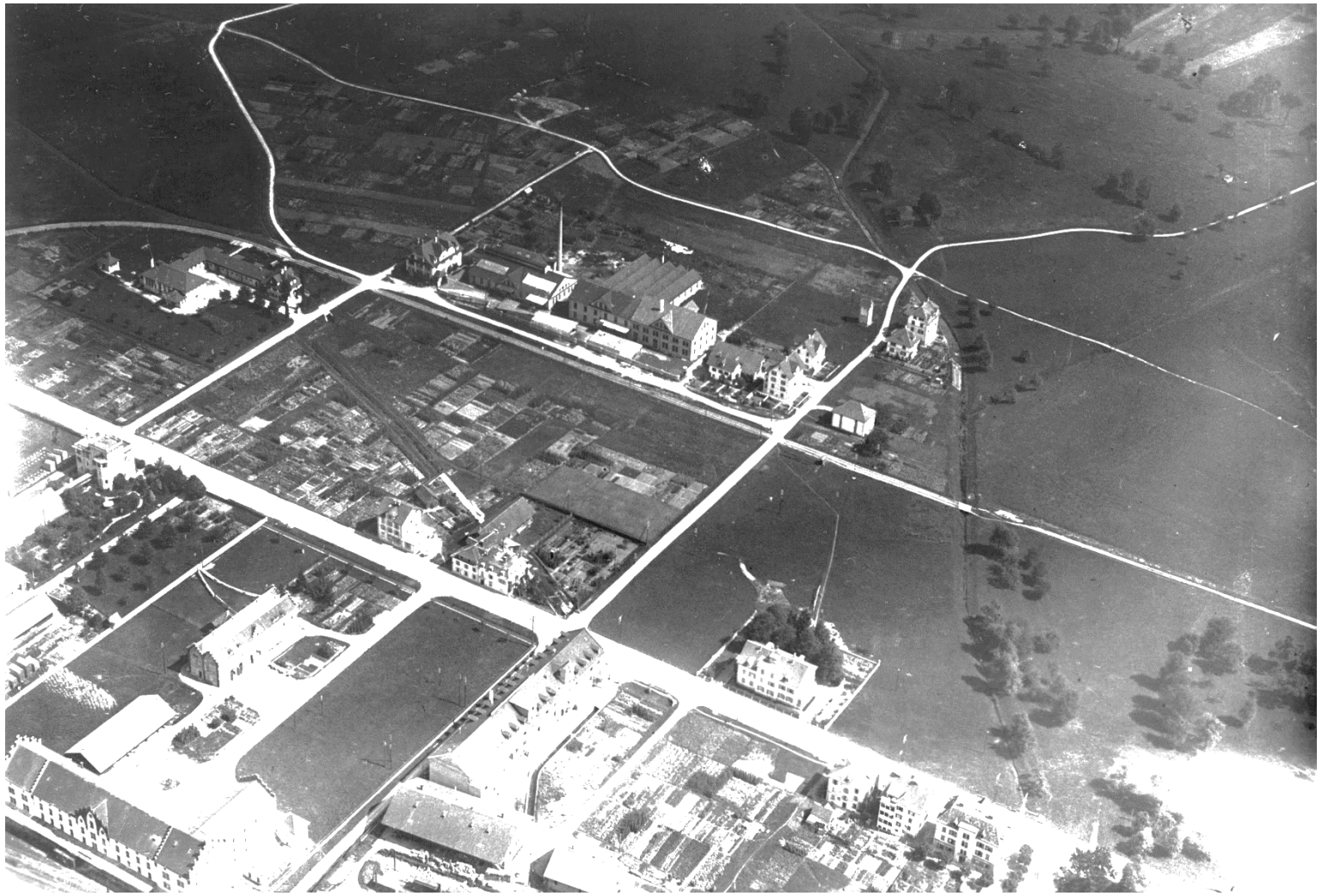
Erschütterungsausbreitung in der Umgebung einer Servo- Transferpresse:

Daniel Gsell | ZC Ziegler Consultants AG

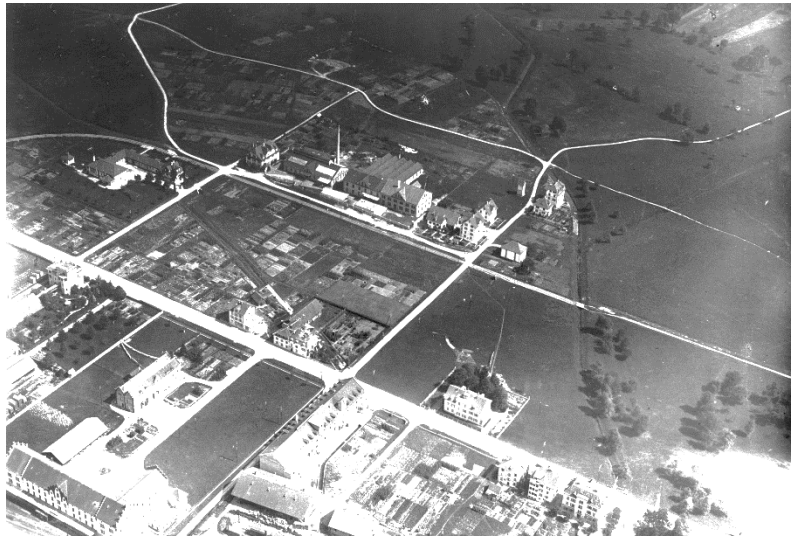
Hilmar Meienberg | V-ZUG AG

- **Ausgangslage**
  - Arealentwicklung
  - Problemstellung
- **Presse**
  - Funktionsweise
  - Stösselkurven
- **Erschütterungsausbreitung**
  - Gebäudestruktur und Bodenmodell
  - FE-Modell
- **Messung – Simulation**
- **Spezielle Problemstellung**
- **Zusammenfassung**

Gelände um 1922



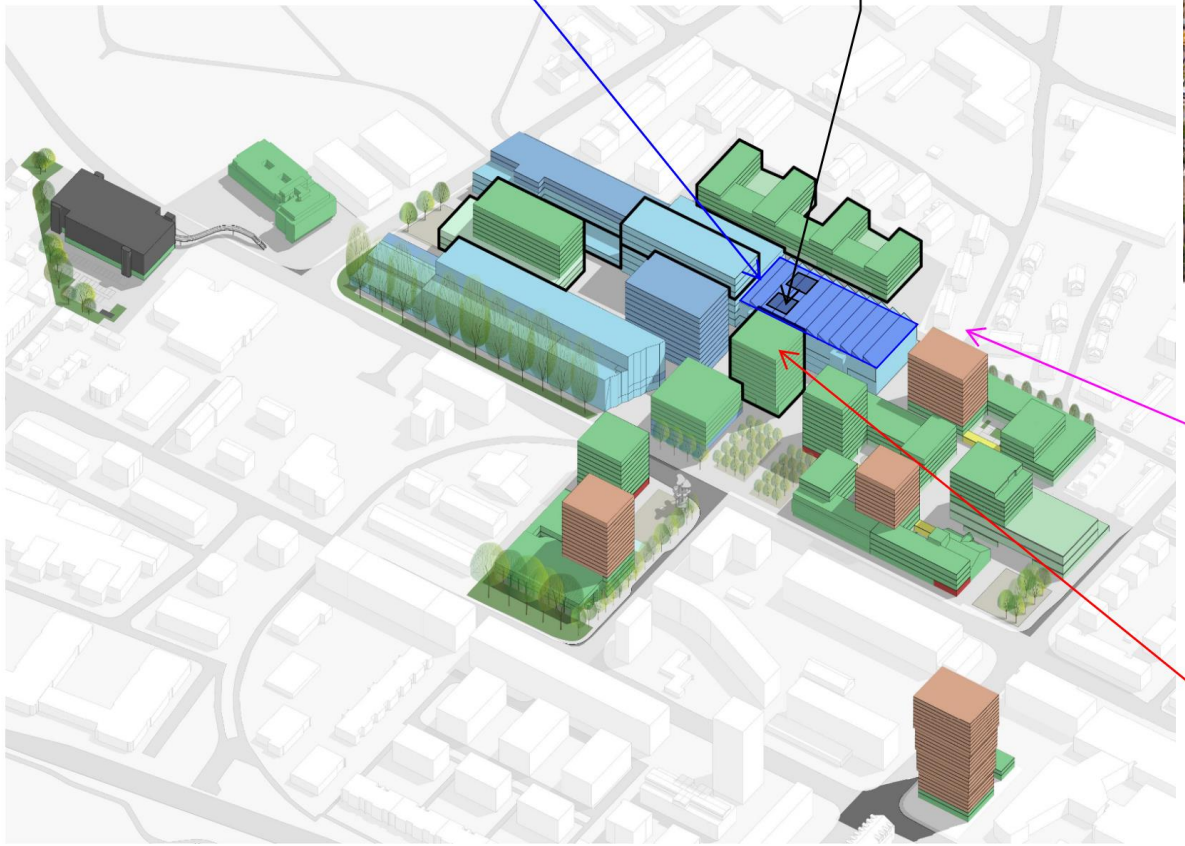
Gelände um 2016



2045 Endzustand (Entwicklung)

neues Pressengebäude
seit 2019 in Betrieb

2 neue Pressen (heute eine in Betrieb)
Twin-Servo-Technologie
Anregungsfrequenzen f = 0.2 - 5.0 Hz



bestehende Wohnbauten
Wohnzone
Abstand Presse d = 65m

neues Hochhaus
Dienstleistung
H = 50 m
fres = 0.7 - 1.2 Hz
D = 1.0 - 3.0 %
Abstand Presse d = 30m

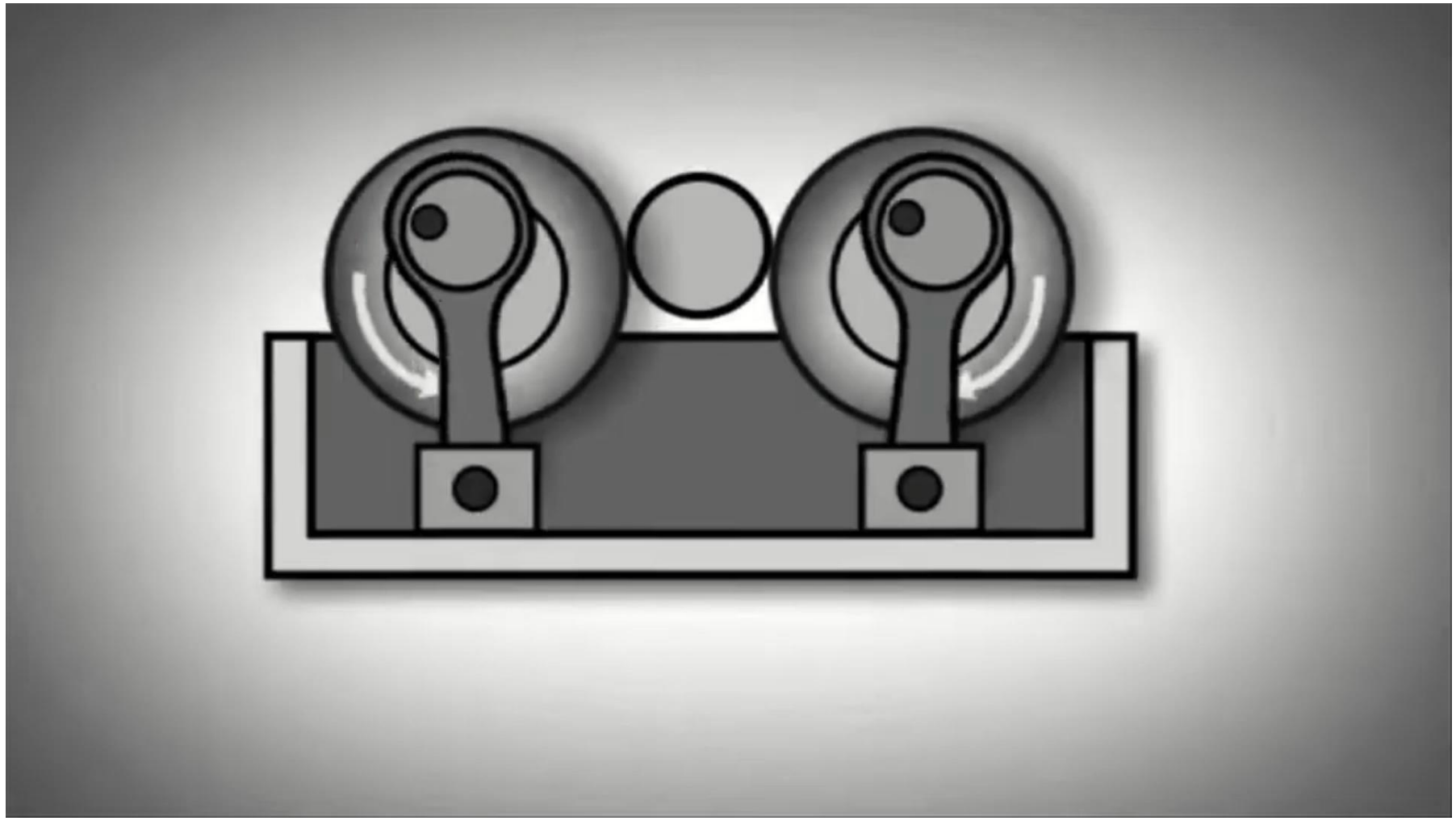
Fragestellungen 2016

- **Können Servo-Transferpressen in urbanem Gebiet betrieben werden, ohne dass es zu Nutzungseinschränkungen in den Nachbargebäuden kommt?**

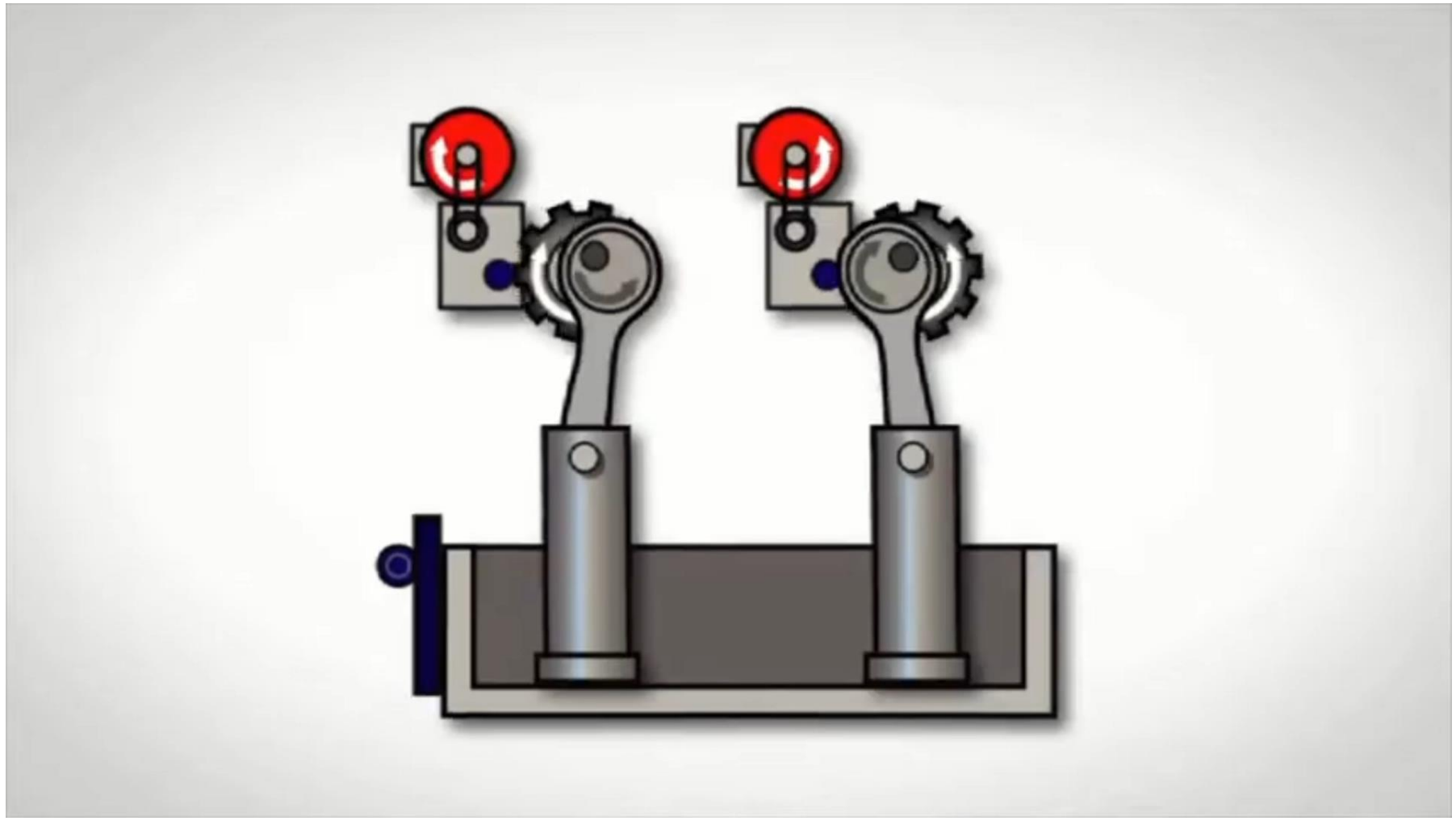
- **Muss ggf. ein anderer Produktionsstandort gesucht werden, obwohl zwei Neubauten des neuen Produktionskonzeptes schon gebaut sind?**

- **Eine erste Analyse des Problems, mit vorsichtig gewählten Parametern zeigte, dass der Betrieb eines Bürohochhauses unmittelbar neben der Presse nicht zumutbar ist.**

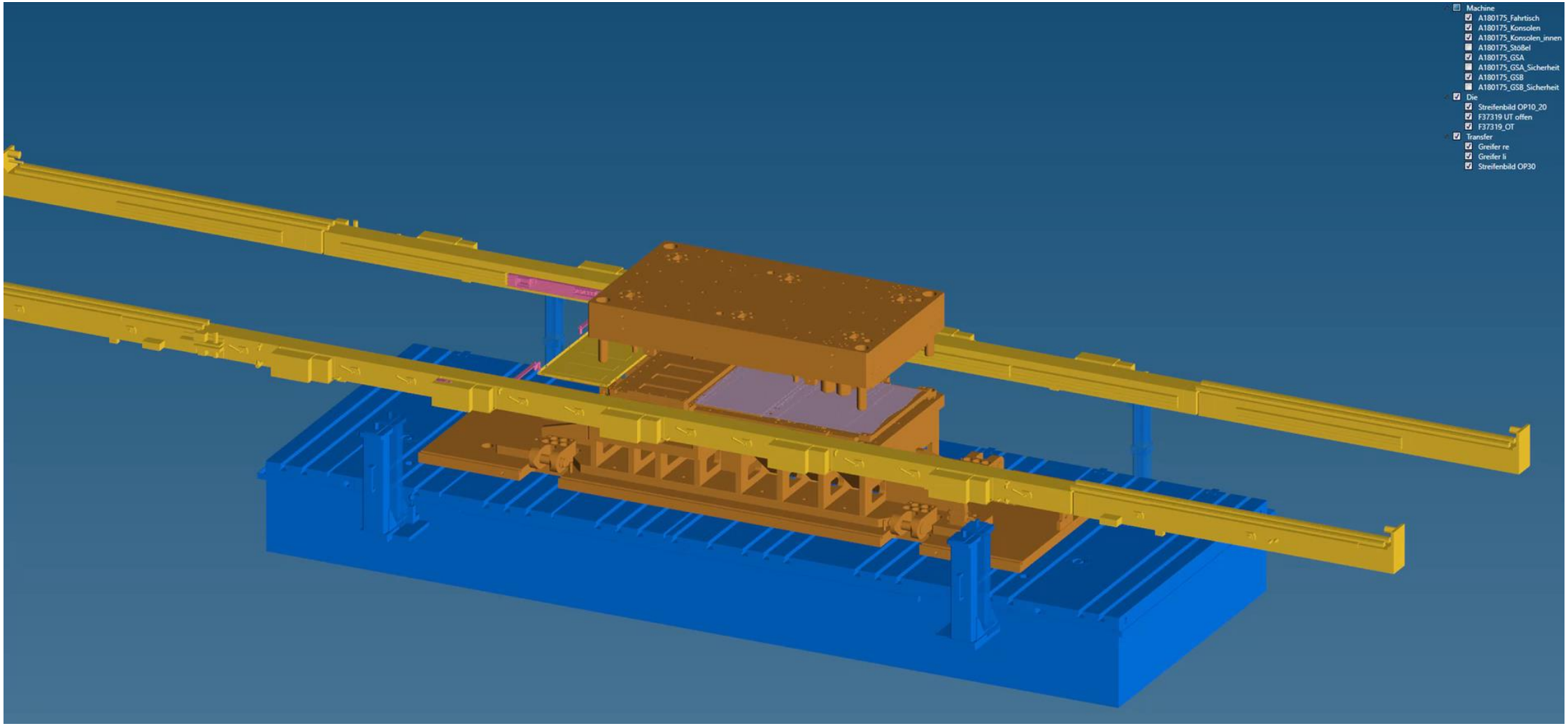
Funktionsweise der Presse



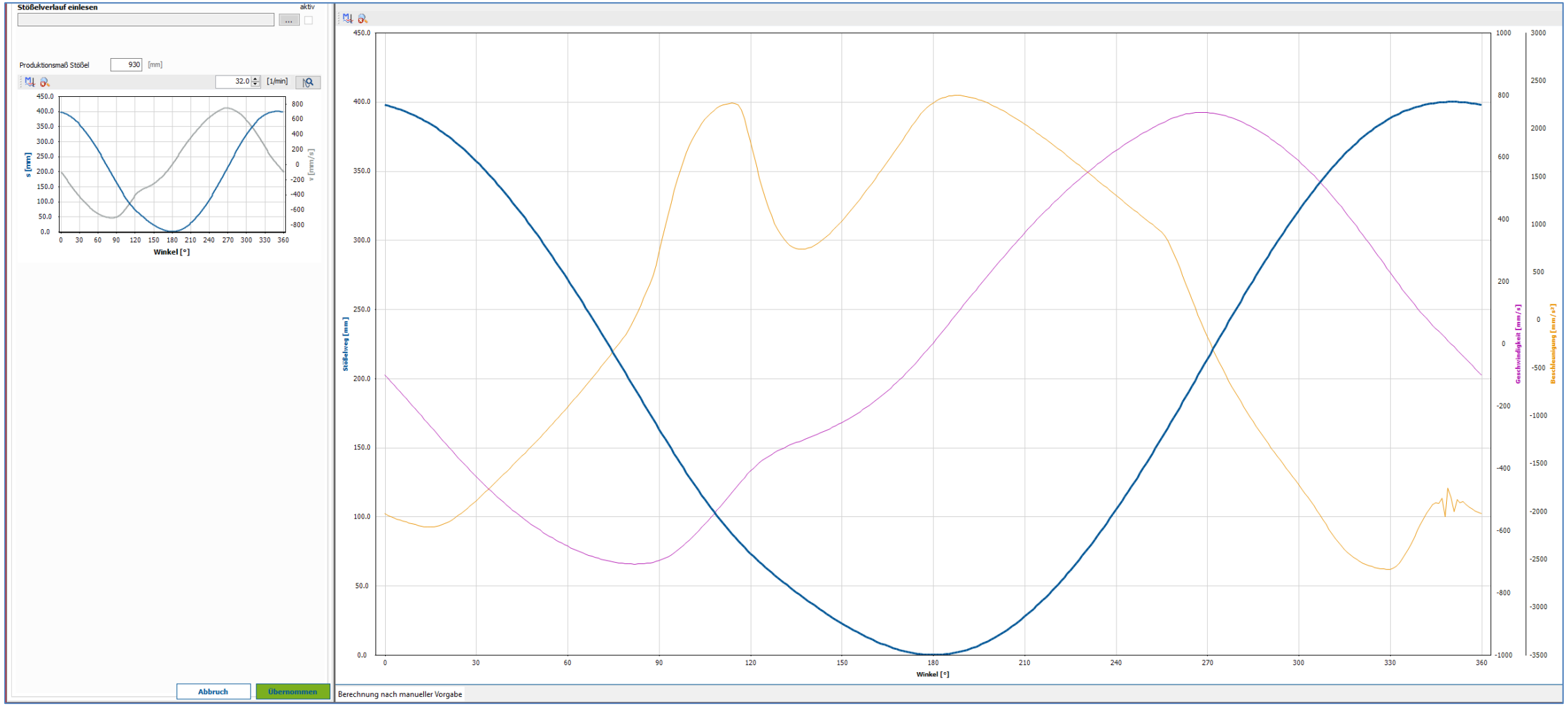
Funktionsweise der Presse



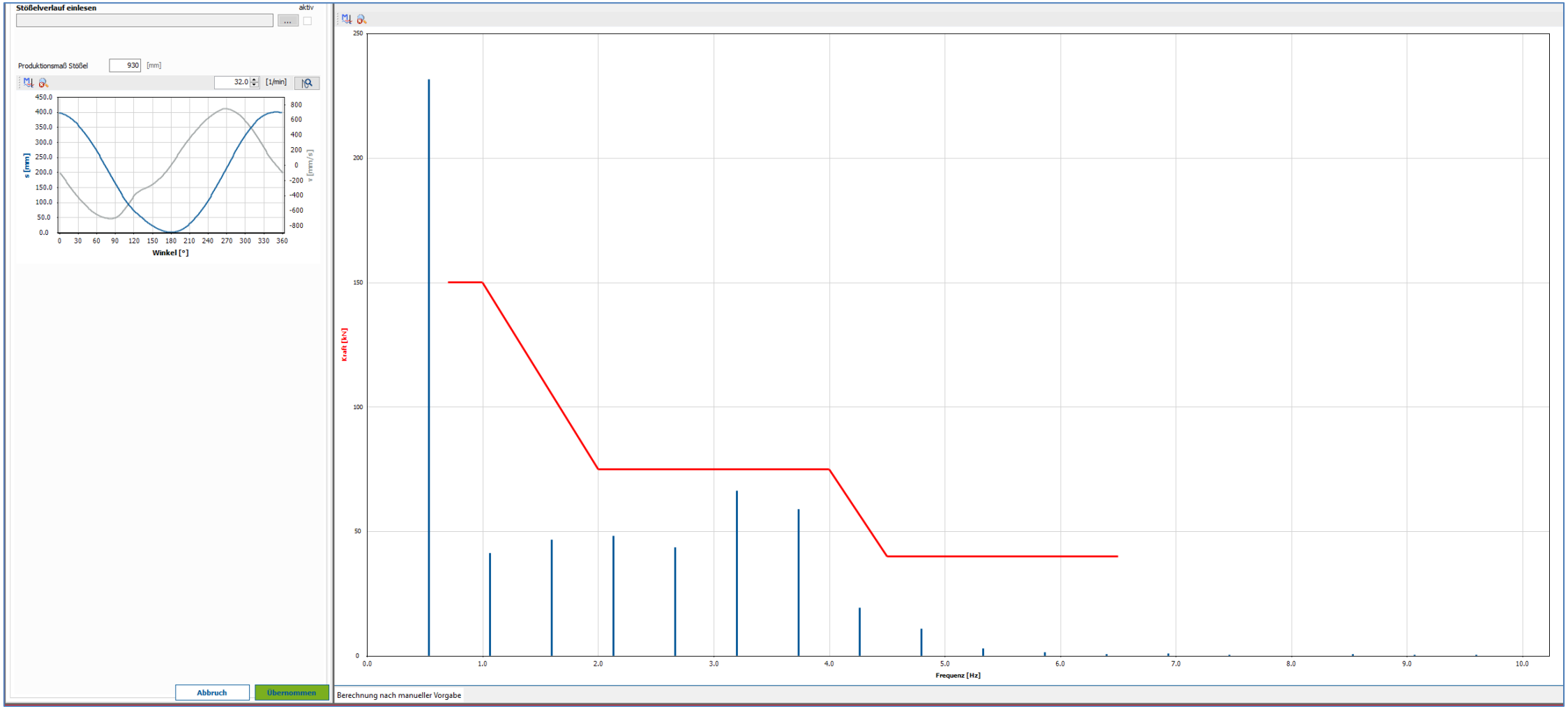
Transfersimulation



Stösselkurven

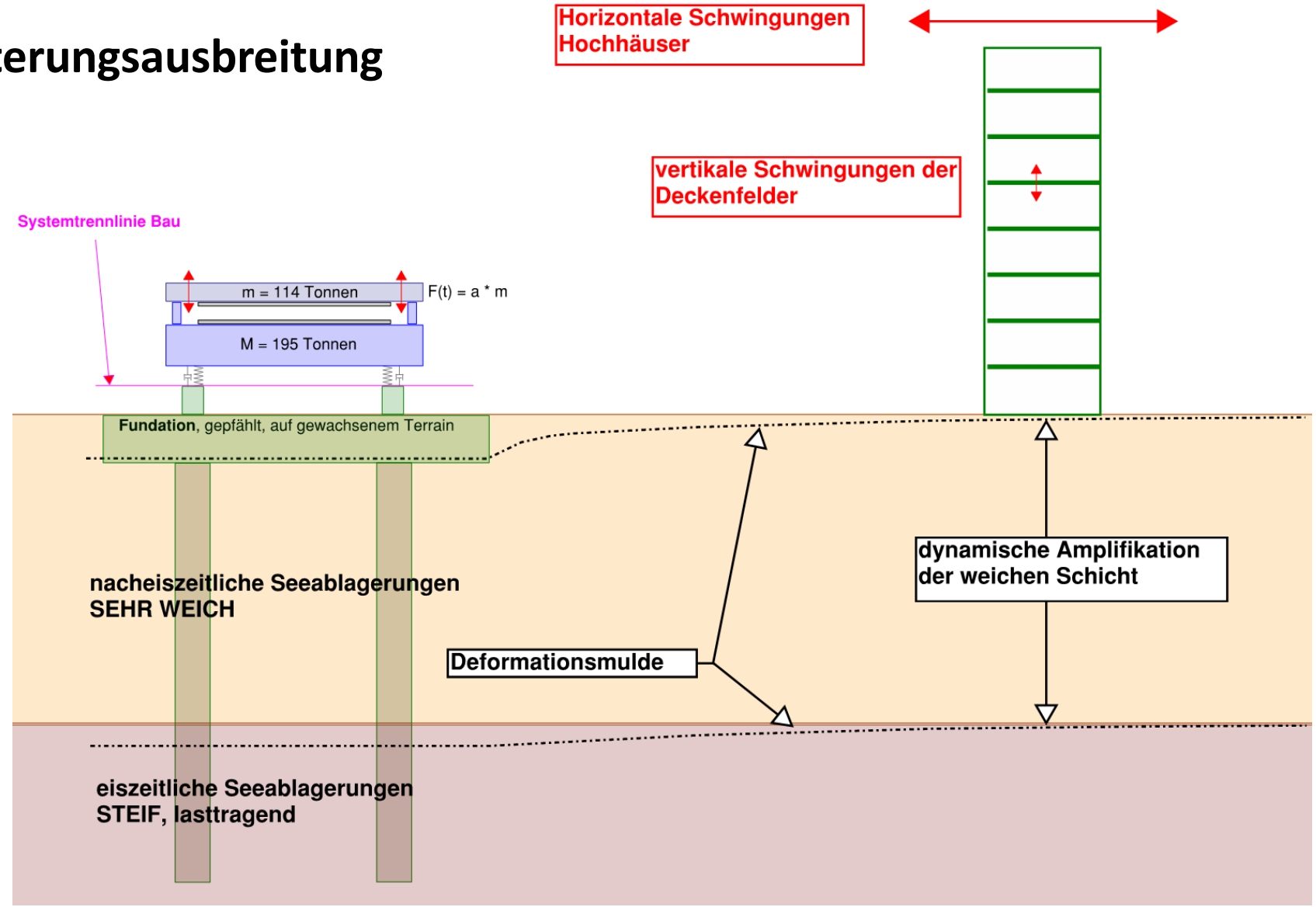


Zulässige Grenzwerte

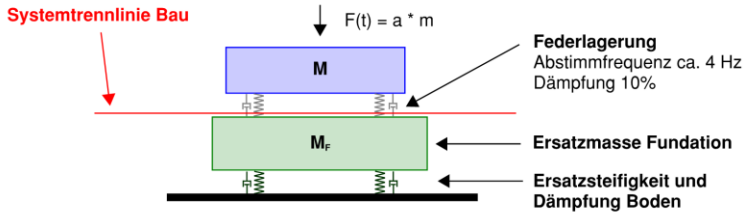


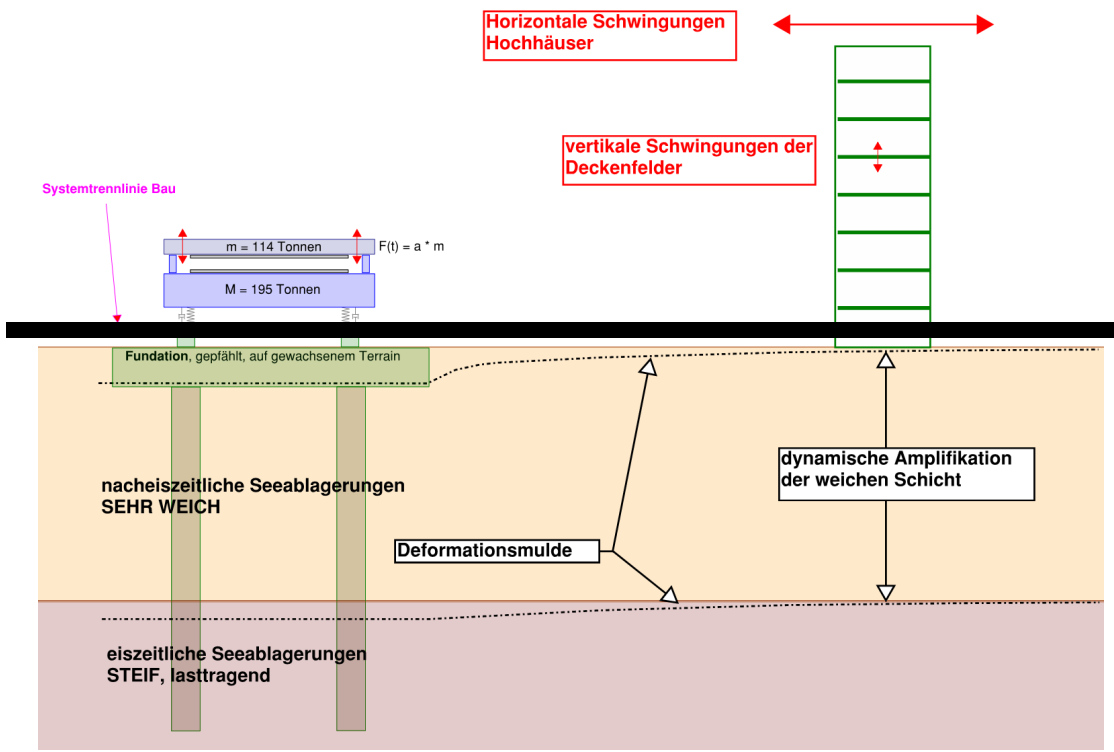
Teilefertigung

Erschütterungsausbreitung



Erschütterungsausbreitung





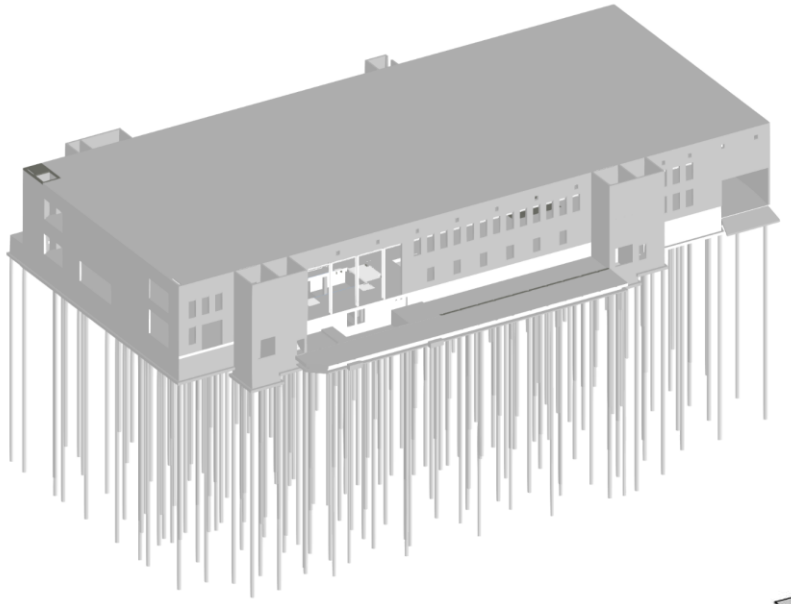
Einfache analytische Modelle

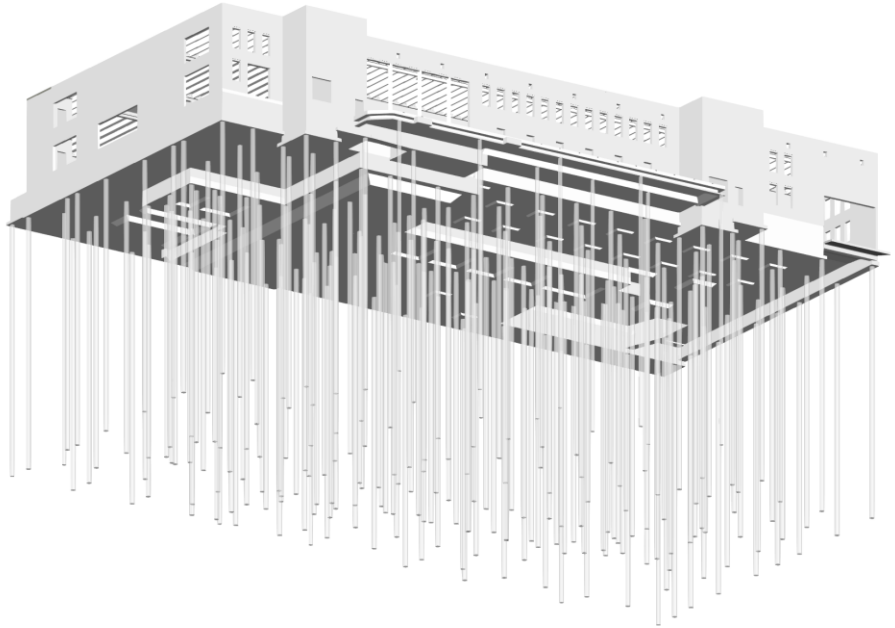
- Vertikale Kräfte der Anregung
- Aus Oberflächenverschiebungen:
  Schwingungen der heute noch unbekannten Gebäude

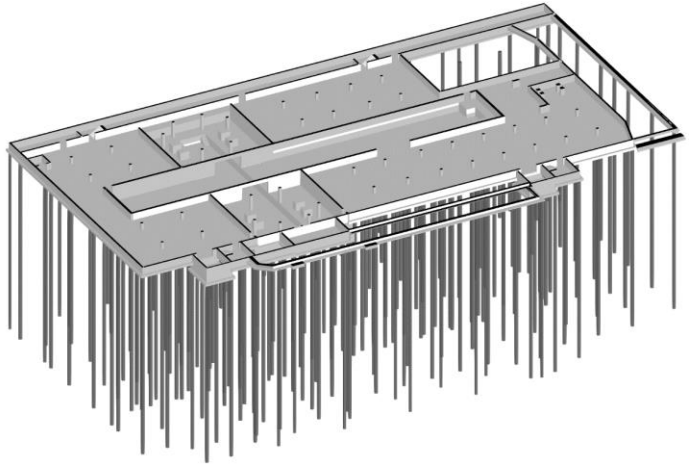
ANSYS

- Kopplung Bauwerk – Baugrund
- Wellenausbreitung in geschichtetem Halbraum
- Bestimmung der Transfer-Admittanzen

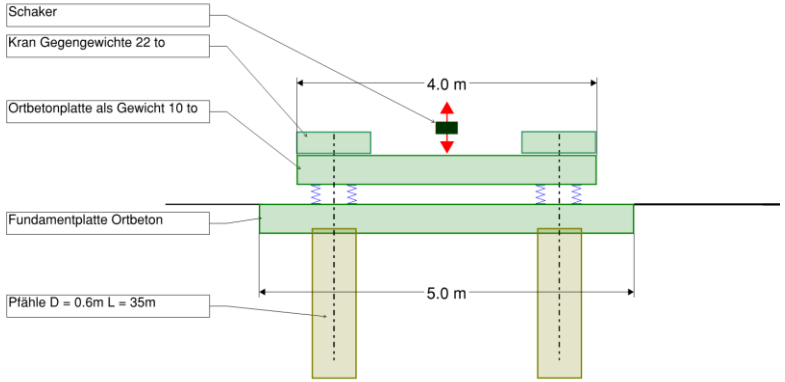
Pressengebäude

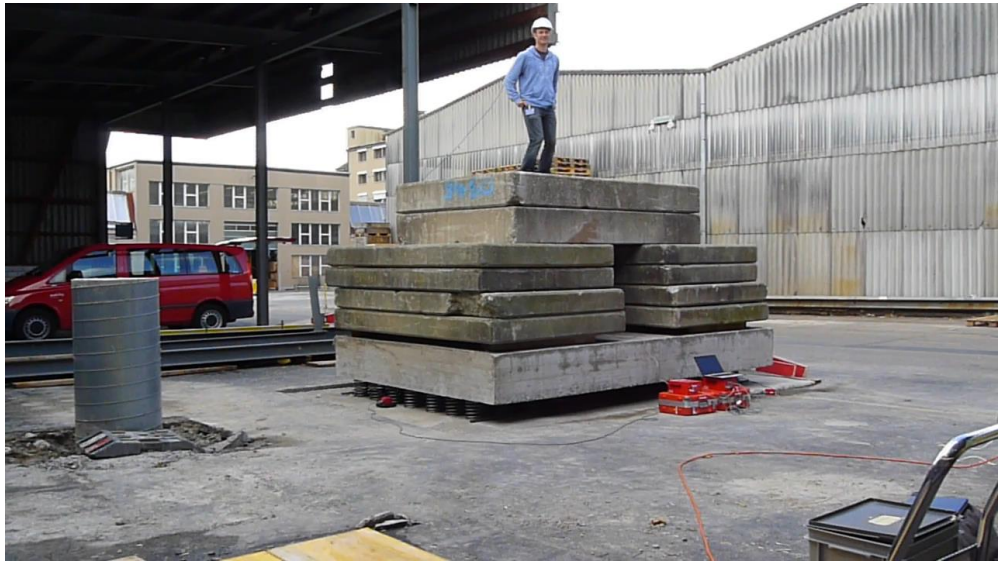


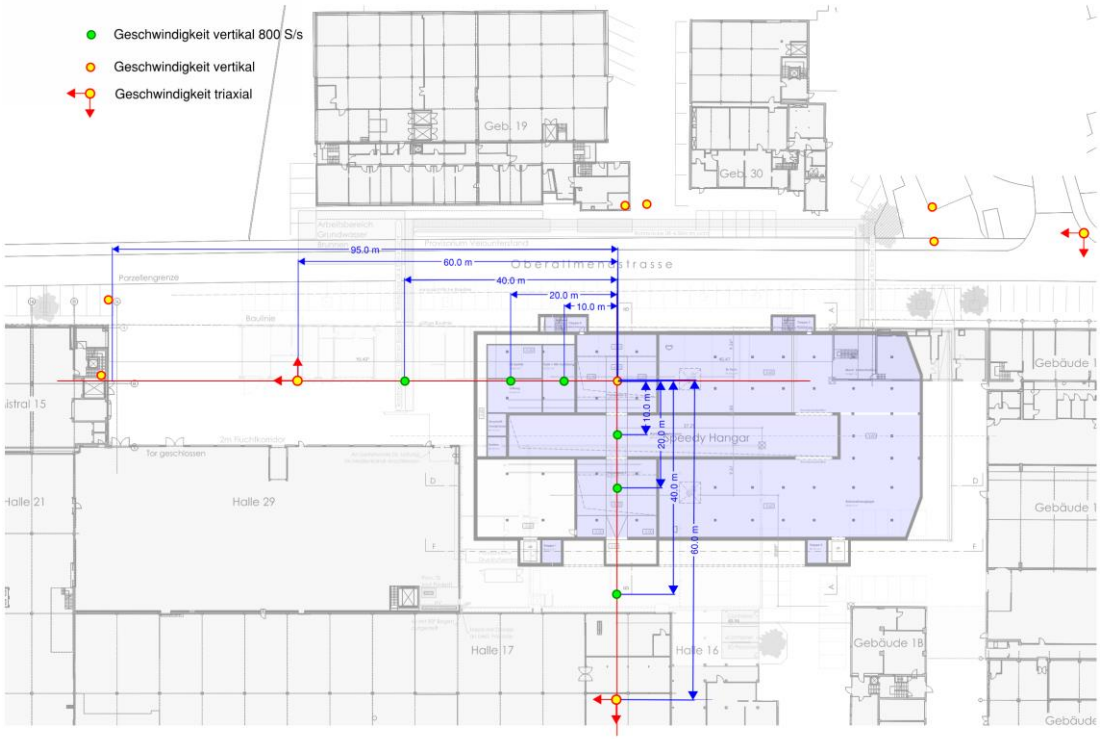




Kalibration Baugrundmodell mit Grossversuch

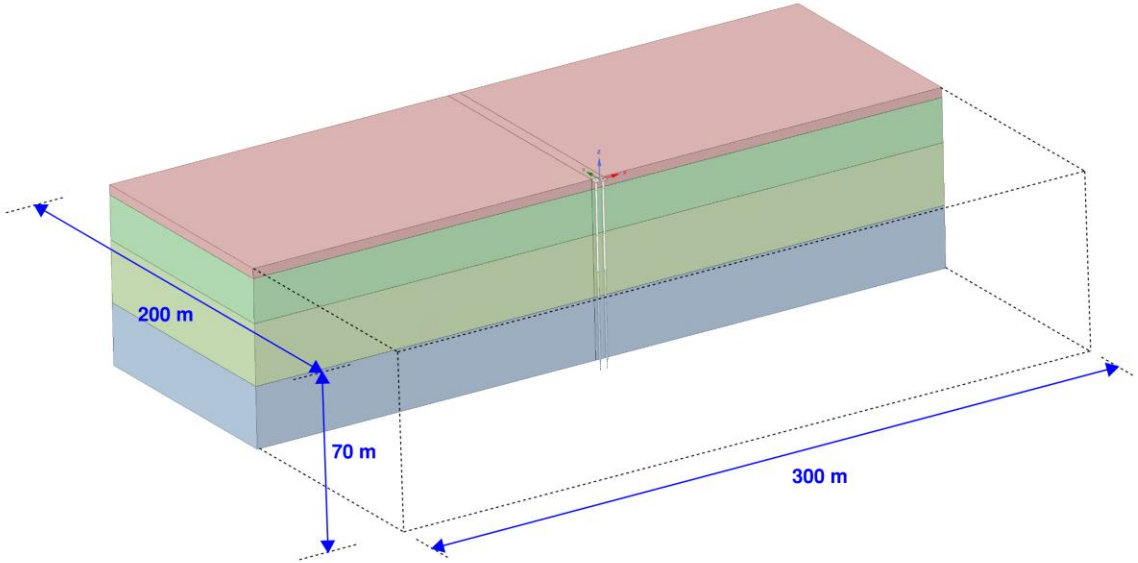






Geometrie Baugrundmodell

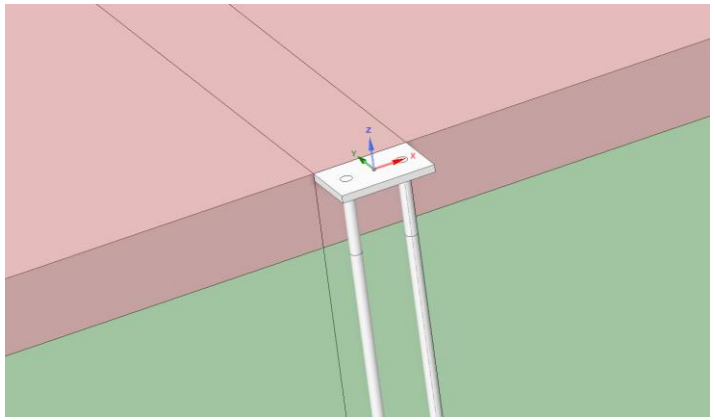
- Volumen von 300 x 200 x 70 m
- Schichtung nach Angaben Geologe
- Pfähle und Fundamentplatte wie ausgeführt
- Ziel Wellenausbreitung mit Frequenzen bis ca. 10 Hz



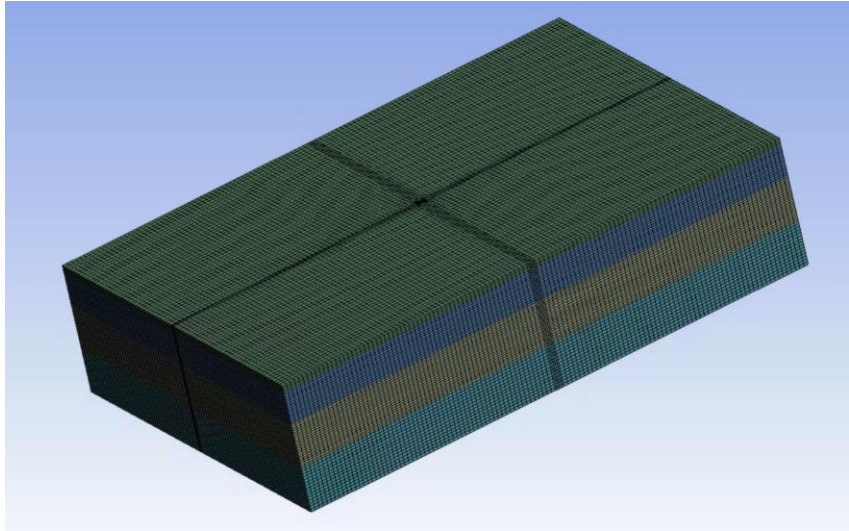
Bemerkung:

langsamste Schubwellengeschwindigkeit ca. 300 m/s

→ kleinste Wellenlänge ($\lambda = c_s / f$) ≈ 30 m

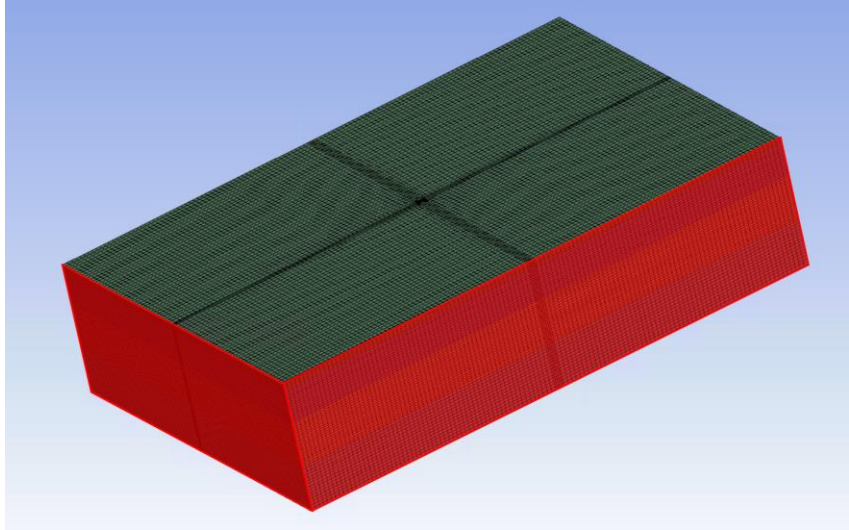


Finite Element Modell

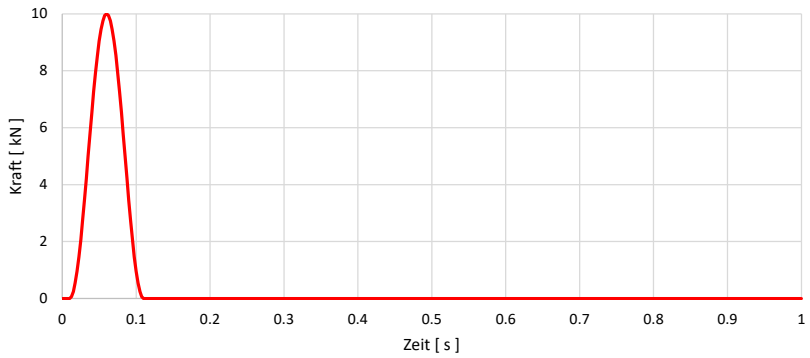


- **Elemente**: Lineare Hexaeder (später Tetraeder)
- **Elementgrössen** 0.4 m bis 2.0 m
  (kleinste Wellenlänge mehr als 10x abgetastet)
- **Zeitschritt** Δt (wird automatisch gewählt)
  numerische Geschwindigkeit ($\Delta x/\Delta t$) > max. physikalische Geschwindigkeit
- Linear elastisches, isotropes **Materialverhalten**
  (sämtliche Deformationen sind extrem klein)

Finite Element Modell

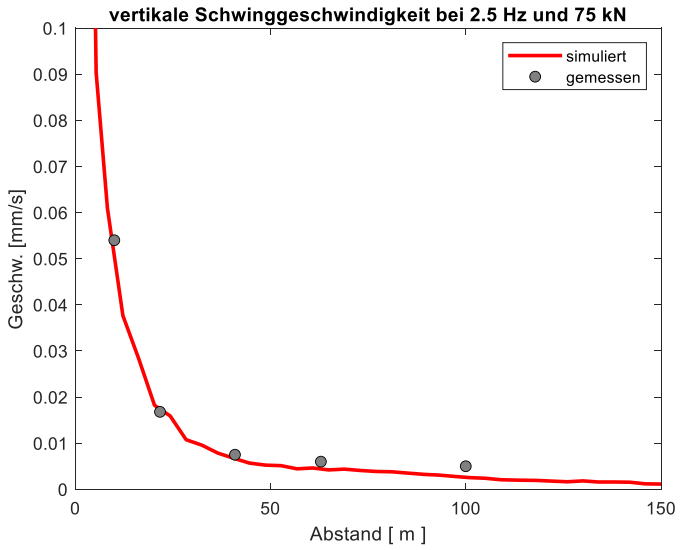


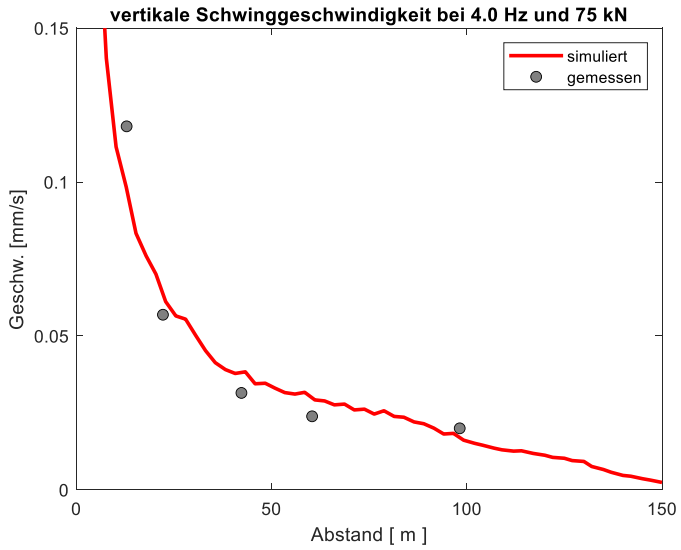
- **Elemente**: Lineare Hexaeder (später Tetraeder)
- **Elementgrössen** 0.4m bis 2.0 m
  (kleinste Wellenlänge mehr als 10x abgetastet)
- **Zeitschritt** Δt (wählt ANSYS automatisch)
  numerische Geschwindigkeit ($\Delta x/\Delta t$) > max. physikalische Geschwindigkeit
- Linear elastisches, isotropes **Materialverhalten**
  (sämtliche Deformationen sind extrem klein)
- Verwendung von Absorbing (Impedance) **Boundaries**
- **Anregung** durch Impuls-Flächen-Last
- Explizite Integration (LS-DYNA)



Überprüfung FE-Modell

Leichte Modifikation der Bodenparameter und Vergleich Modell – Versuch



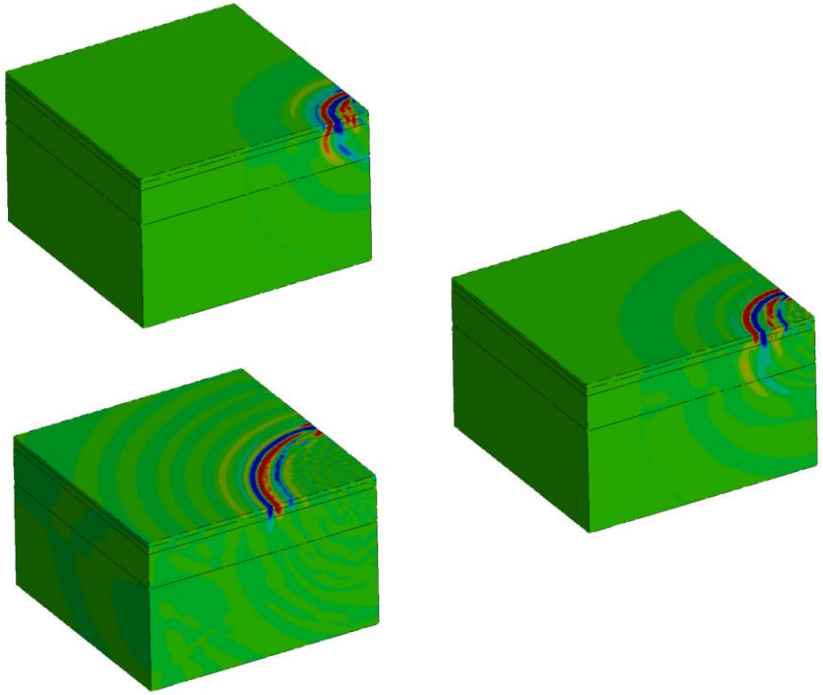


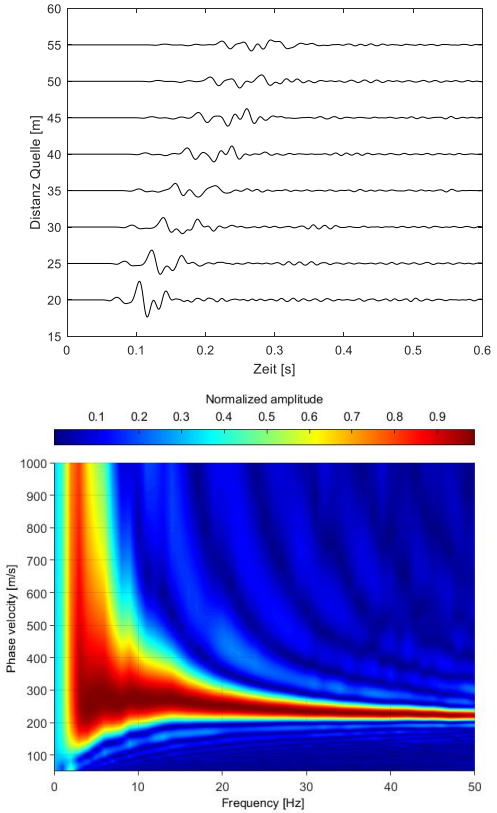
→ Baugrundmodell passt …

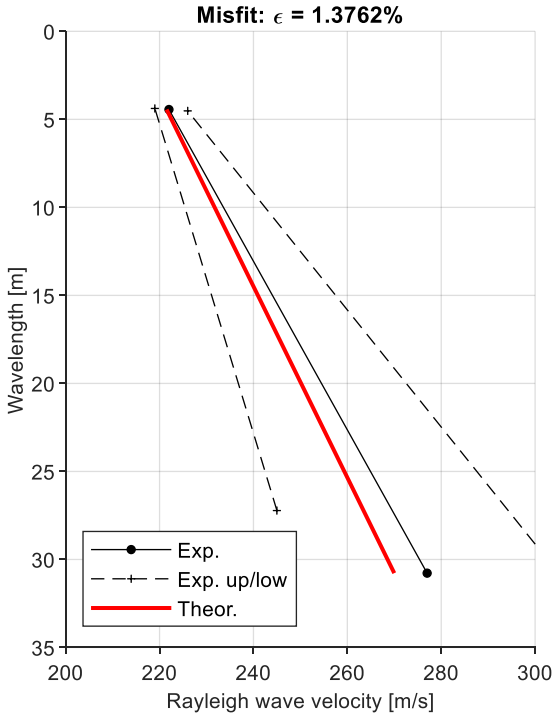
Prüfen Wellengeschwindigkeit FE-Modell

Ermittlung der Rayleigh-Wellengeschwindigkeit im geschichteten Halbraum

Simulation Modell vs. analytisches Modell





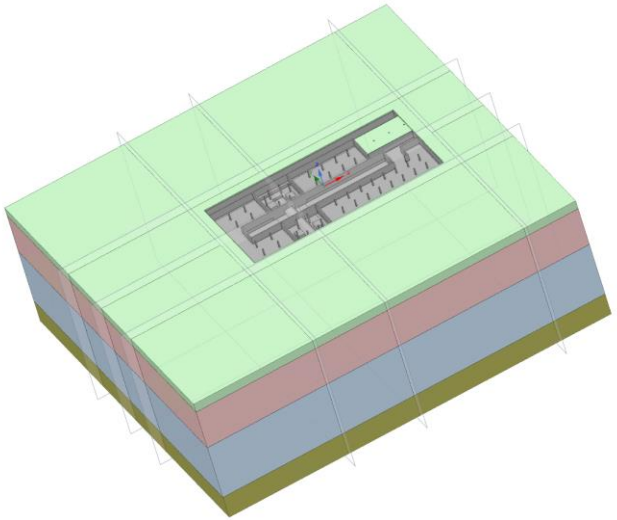


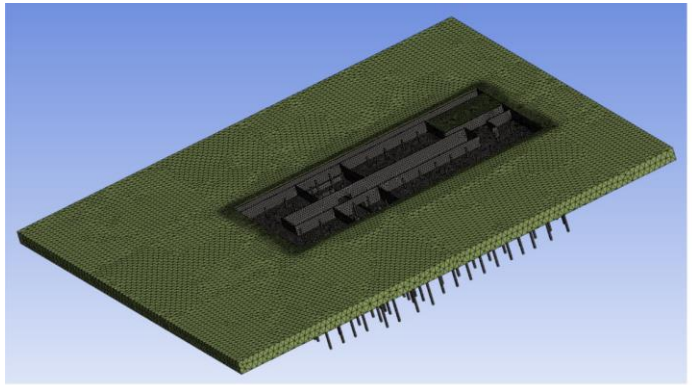
→ Simulationsmodell passt …

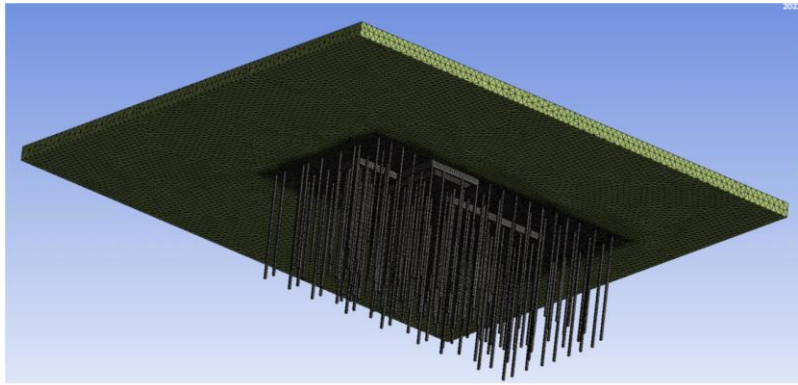
Modell mit Pressengebäude

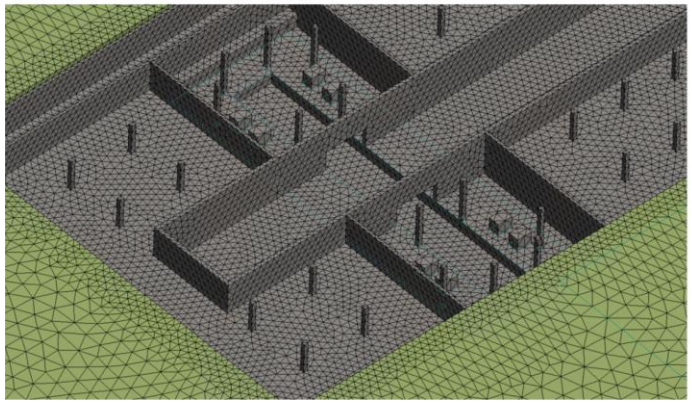
- Modell analog Bodenmodell, jedoch mit «kleinen» **Tetraeder-Elementen**

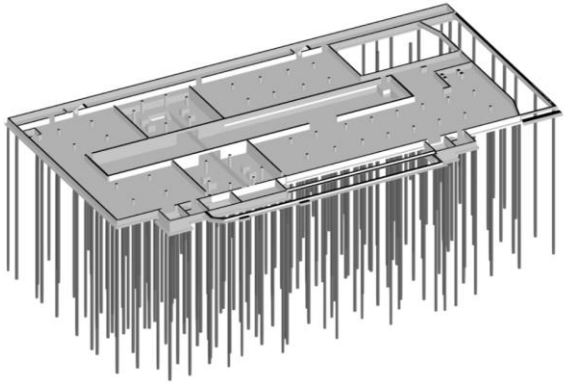
- Modelliert bis und mit Decke über UG und Kernwände EG (nicht dargestellt)









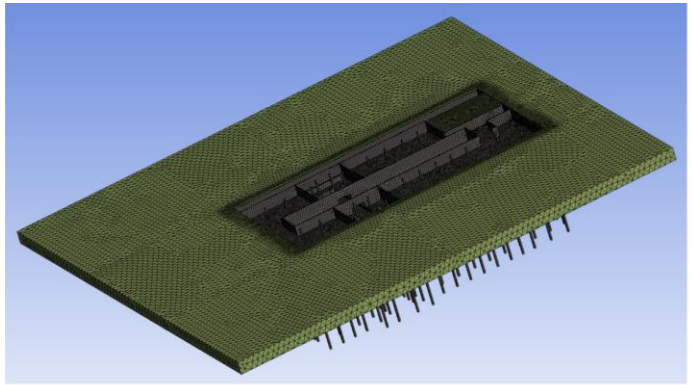


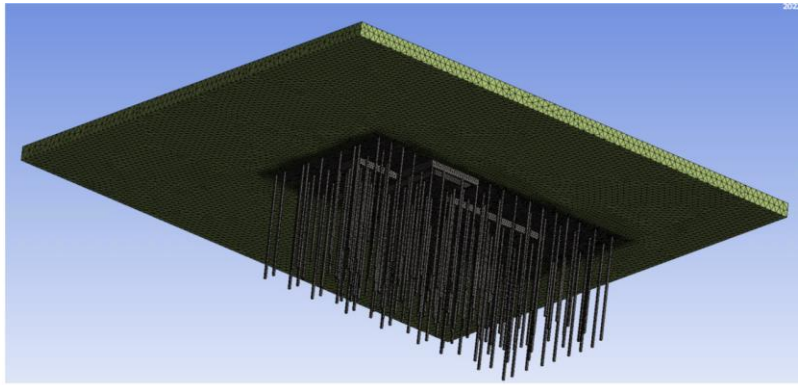
Modell mit Pressengebäude

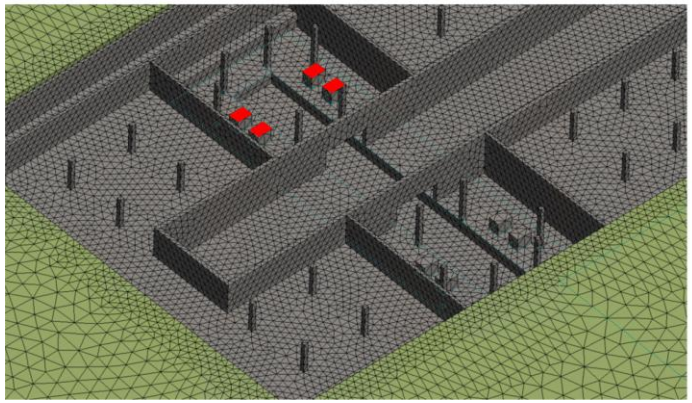
- Modell analog Bodenmodell, jedoch mit «kleinen» **Tetraeder-Elementen**

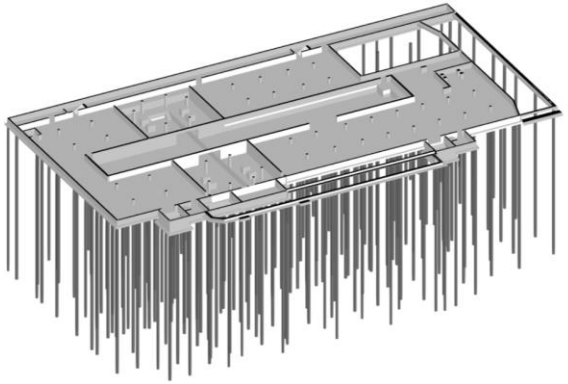
- Modelliert bis und mit Decke über UG und Kernwände EG (nicht dargestellt)

- Anregung: vertikale Impulslast auf den 4 Sockeln





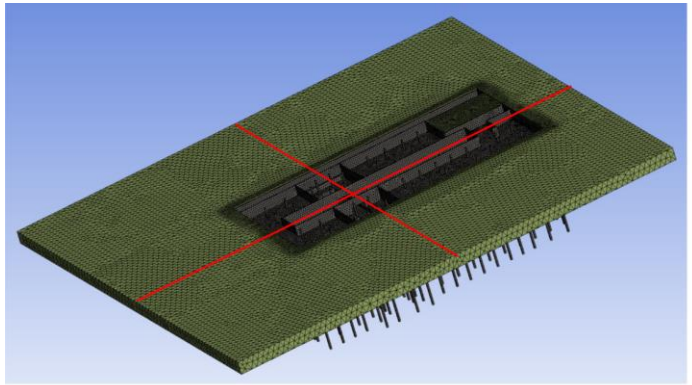


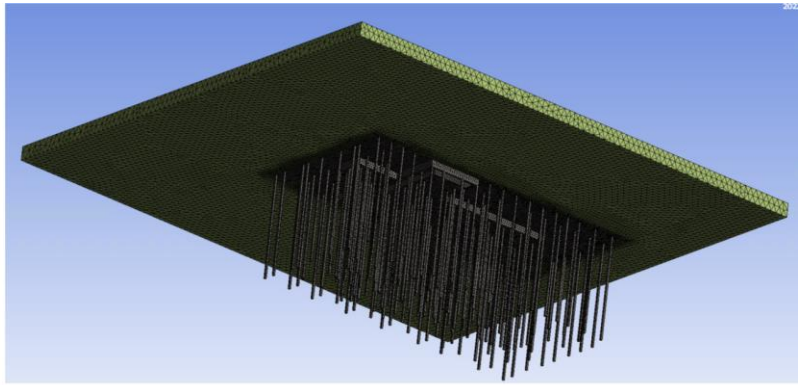


Modell mit Pressengebäude

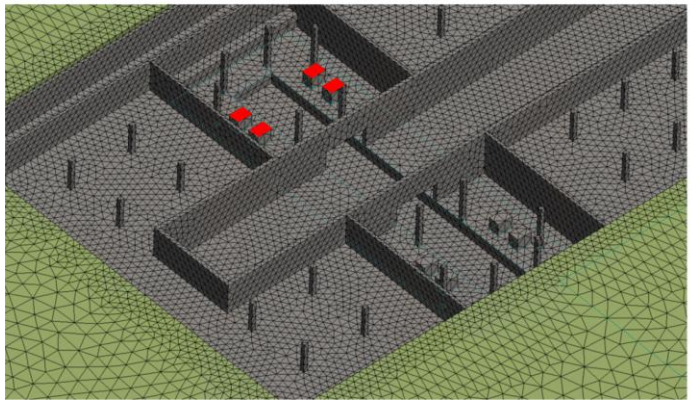
- Modell analog Bodenmodell, jedoch mit «kleinen» **Tetraeder-Elementen**

- Modelliert bis und mit Decke über UG und Kernwände EG (nicht dargestellt)

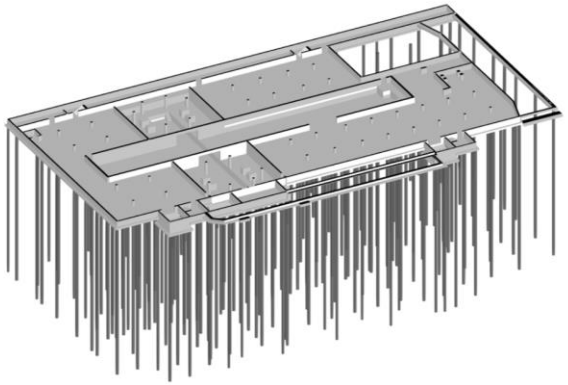




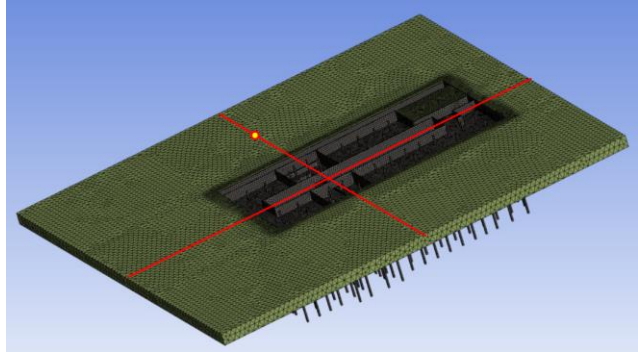
- Anregung: vertikale Impulslast auf den 4 Sockeln



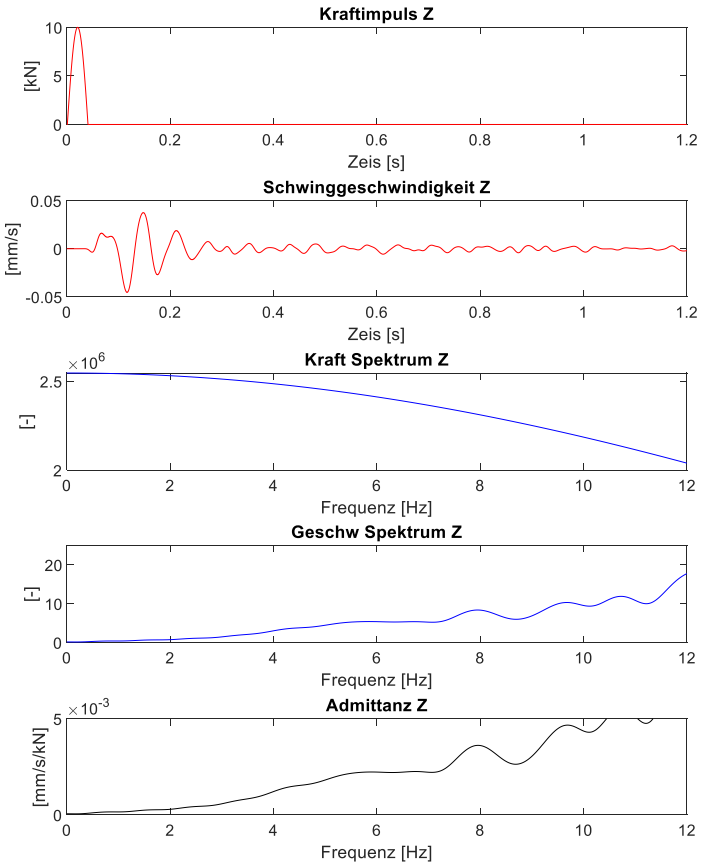
- Datenspeicherung: Schwinggeschwindigkeiten auf der Erdoberfläche

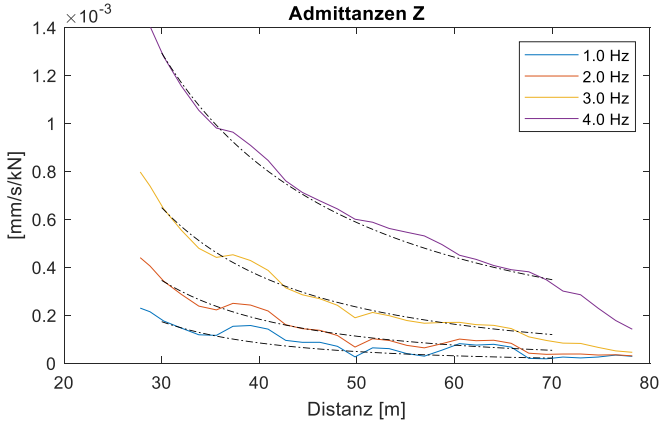


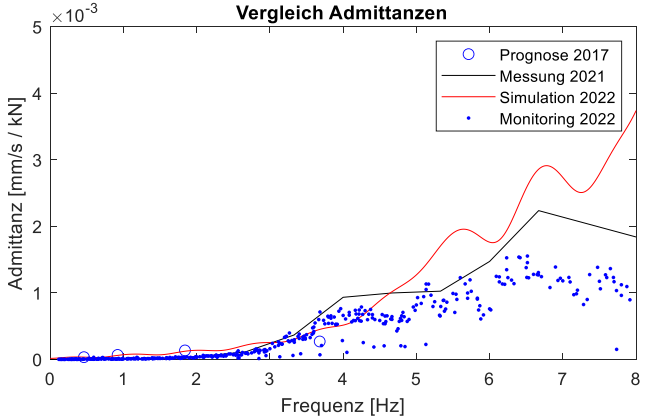
Messung – Simulation: Admittanzen



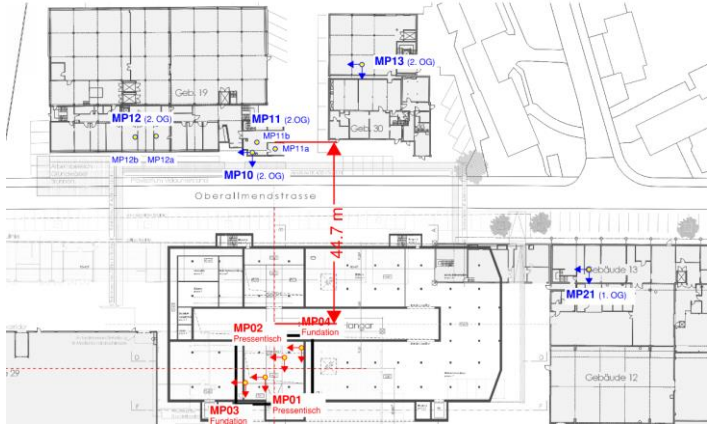
2 Sockel | Punkt A1 | Richtung Z



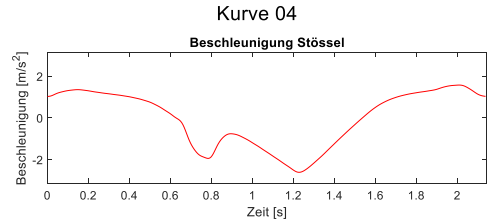


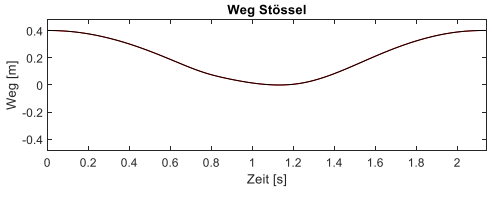


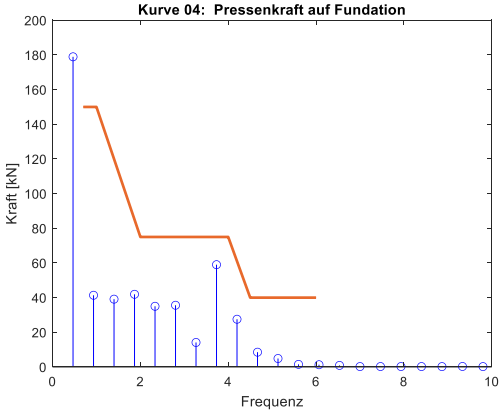
Messung – Simulation: Prognose horizontale Schwingungen



Anregung

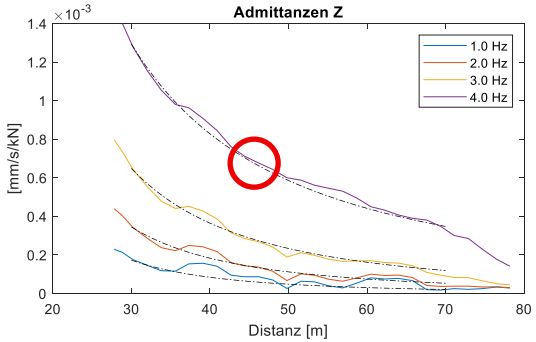






Prognose

Gebäude H = 15m, Abstand 45 m

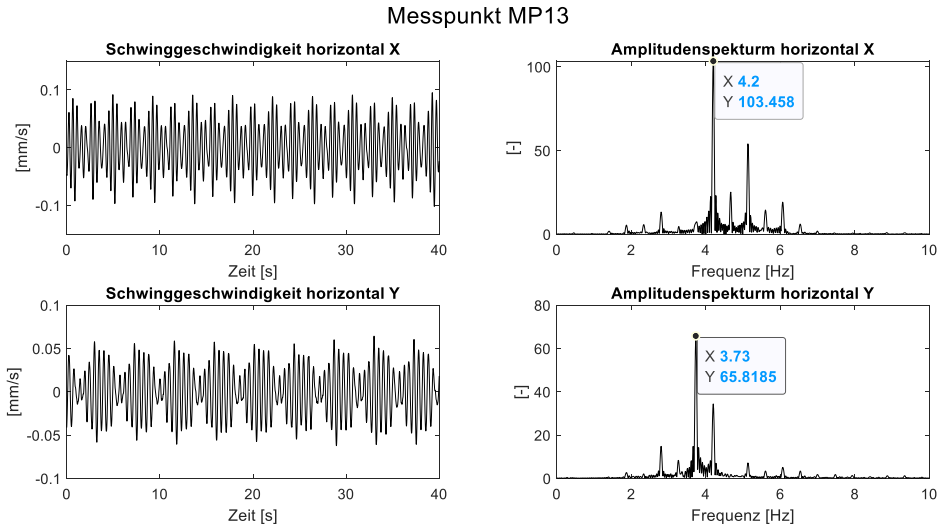


Erwartete max. horizontale Schwinggeschwindigkeit

v = 0.25 mm/s

… wenn Resonanz voll ausgebildet
… bei kleiner Dämpfung

Messung

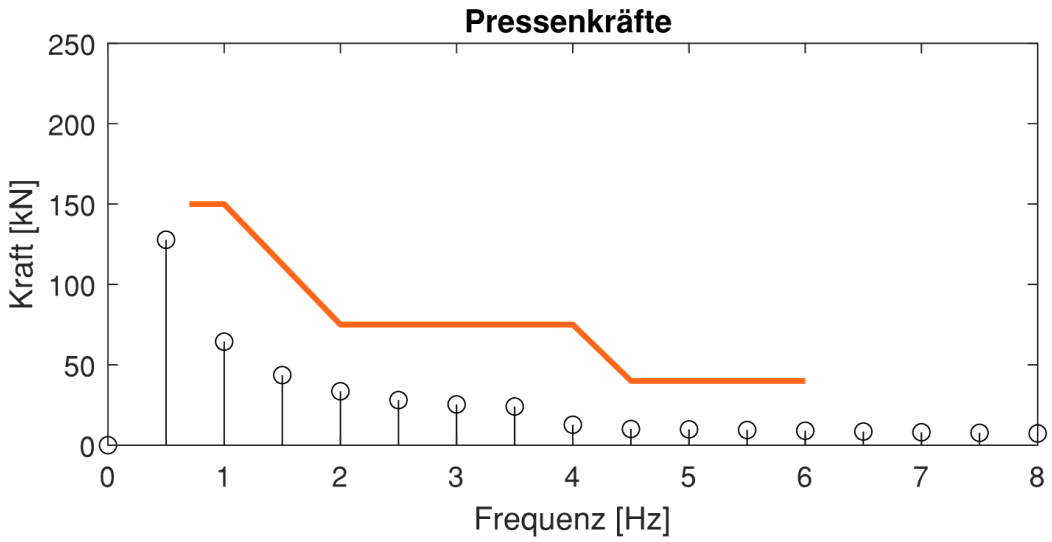


Erkenntnisse → Restriktionen für den Betrieb Immissionsprognose

- **Die Immissionsprognose zeigte, dass ein Betrieb der Presse unter Beachtung gewisser Restriktionen möglich ist.**

- **Horizontale Schwingungen**
  → GRENZKRAFTKURVE

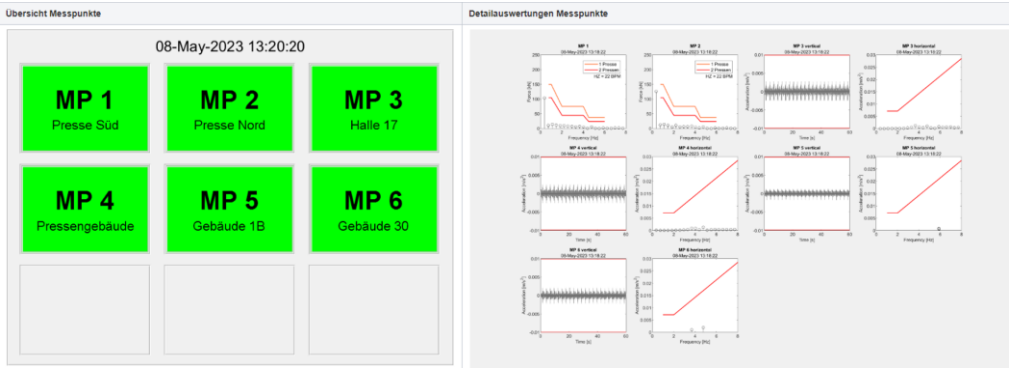
  Die Pressensteuerung kontrolliert vor jedem Betrieb, ob dieses Kriterium eingehalten ist
  (kleines mechanisches Modell implementiert)

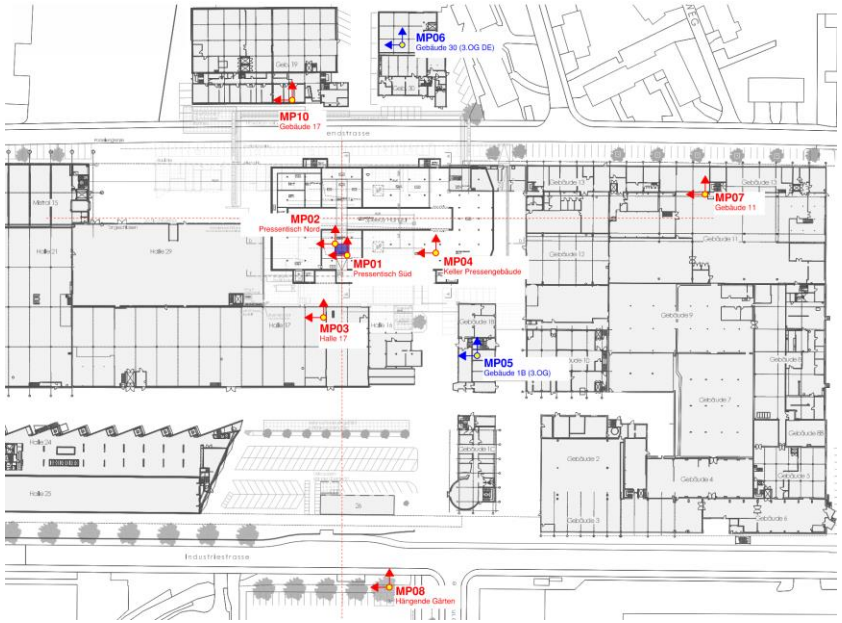


Erkenntnisse → Restriktionen für den Betrieb Immissionsprognose

- **Vertikale Schwingungen**
  - in der Planungsphase wurden 5 unterschiedliche Stösselkurven untersucht und für den zukünftigen Betrieb der Presse freigegeben.
  - Zukünftige neue Stösselkurven müssen untersucht und freigegeben werden

- **Monitoring System (Installation 2. Presse)**
  8 fest installierte Sensoren und 1 fliegender Sensor





Spezielle Problemstellung – Körperschall

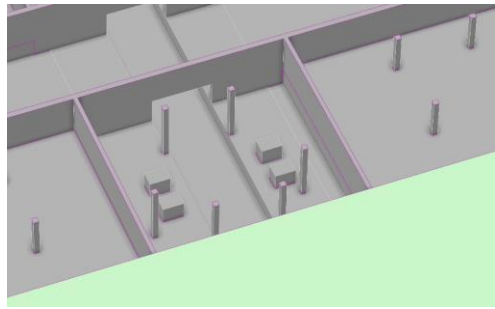
Ein Jahr nach Inbetriebnahme:

- Nachbar in 160 m Entfernung hört zu gewissen Zeiten den Pressenbetrieb, fühlt sich sehr gestört. Gemessene Schallpegel 21 dB(A) maximale Pegel bei ca. 160 Hz

→ Ursachensuche mit Simulation und Versuchen

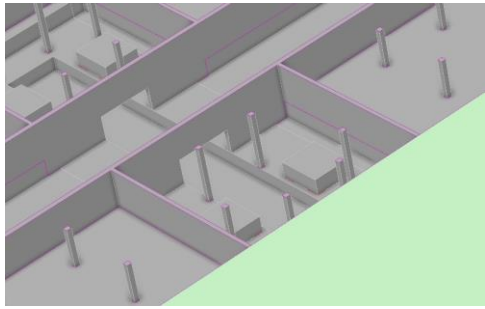
Mechanismen die zum erhöhten Schallpegel führen:

- Einbruch der Dämmwirkung der Federpakete bei 160 Hz aufgrund von Eigenfrequenzen der Betonsockel
- Eigenfrequenzen um 160 Hz auch im Kern des Nachbargebäudes



Sanierung Modifikation der Betonsockel

- Zusammenfassen von 2 Sockeln zu einem monolithischen Sockel
- Untersuchung des dynamischen Verhaltens mit ANSYS



Zusammenfassung

- **Umfangreiche Untersuchungen (Simulationen und Messungen) wurden durchgeführt, um die Erschütterungsimmissionen infolge Betriebes der Servotransferpresse in urbaner Umgebung zu beurteilen.**

- **Die Simulation der Bauwerk – Boden – Interaktion und der Ausbreitung der Strukturwellen im Baugrund wurde mit ANSYS (LS-DYNA) durchgeführt.**

- **Analytische Überlegungen als auch Messungen zeigen, dass die Simulation hinreichend genau die Wirklichkeit abbildet.**