Co-Simulation von LIGGGHTS® und SimulationX® zur Simulation des Zerkleinerungsprozesses in Brechern

Dipl.-Ing. Erik Frenzel, TU Dresden

Chemnitz, 22.03.2016

DRESDEN concept
Exzellenz aus Wissenschaft und Kultur

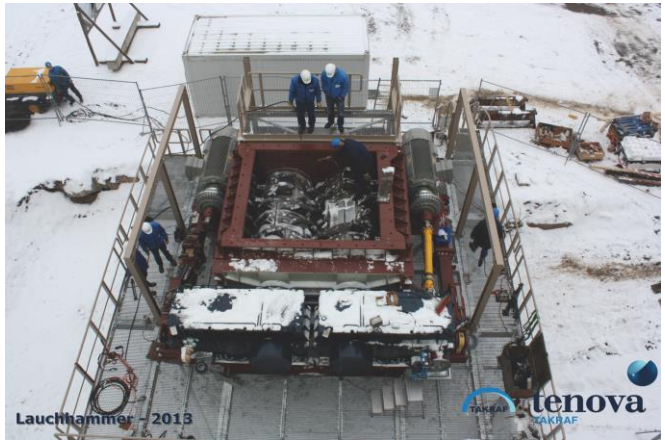
Gliederung

1. Einführung
2. Implementierung des TAKRAF Center-Sizer 18.26 in SimulationX
3. DEM Festkörpermodell
4. Co-Simulation
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung und Ausblick

Anforderungen an das Brechersystem

- Zerkleinerung von Material- und Materialströmen, wie:
  - Harte und weiche Gesteine
  - Bauabfälle (bspw. Beton)
- Höhere Leistung und Durchsatz

→ Anforderungen sind stark Materialabhängig



→ Optimierung und Anpassung für einen Gesteinstyp und Einsatzort

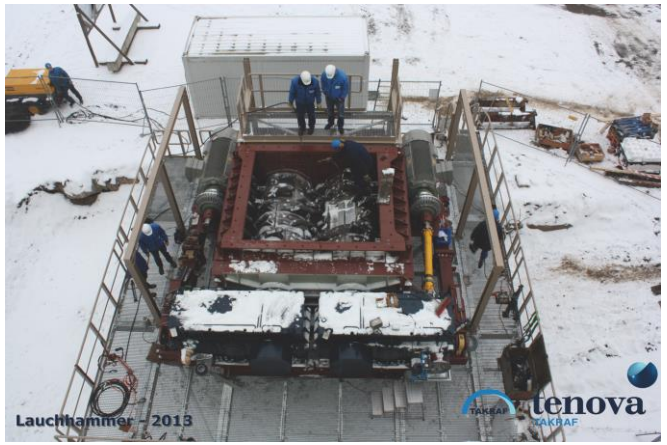
→ spezifische Belastungen des Brechersystems

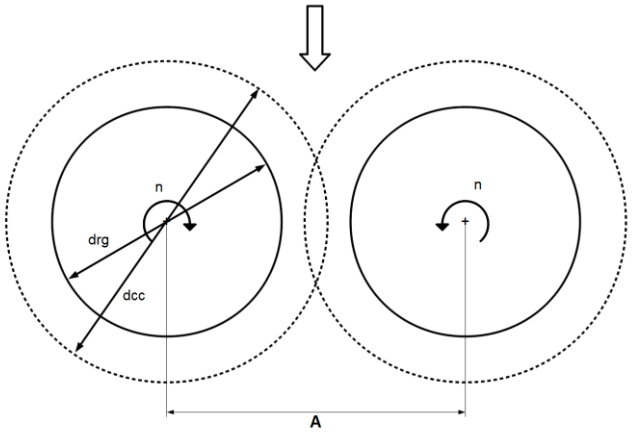
→ Prognose der im Bruchprozess auftretenden Lasten ist elementarer Bestandteil der Entwicklung

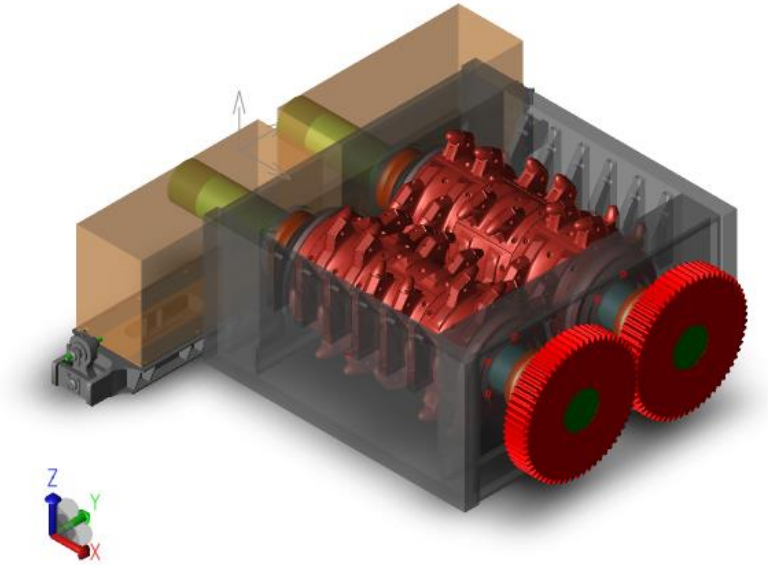
Einführung

TAKRAF Center-Sizer TCS 18.26

- Walzenabstand A = 1500 mm
- Schneidkreisdurchmesser dcc= 1800 mm
- Grundkreisdurchmesser drg= 1300 mm
- Drehzahl n = 21 U/min
- Antriebsleistung P = 2 x 560 kW
- Außenliegende Synchronisation



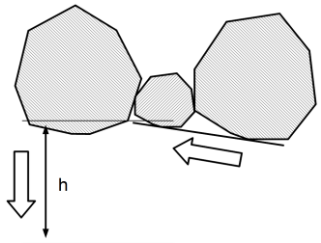




Auslegung anhand vereinfachter analytischer Ansätze

Freier Fall Gesteinskorn:

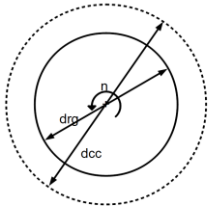
- $F_{drop} = m_g * \frac{\sqrt{2*g*h}}{\Delta t_p}$



Bruchprozess:

- Lastmoment

  $T = \left(T_{fc,crit} * i\right) + \left(J_{ges} * \frac{\Delta\omega}{\Delta t_p}\right)$

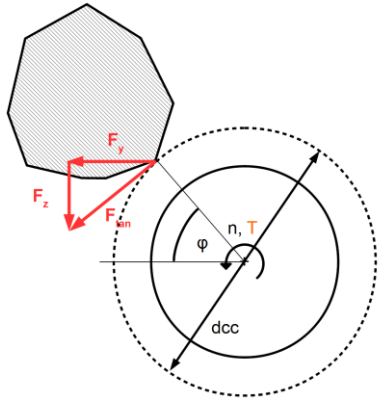


- Tangentialkraft

  $F_{tan} = \frac{T}{\frac{dcc}{2}}$

- Horizontalkraft

  $F_y = \frac{T}{\frac{dcc}{2} * \sin(\varphi)}$



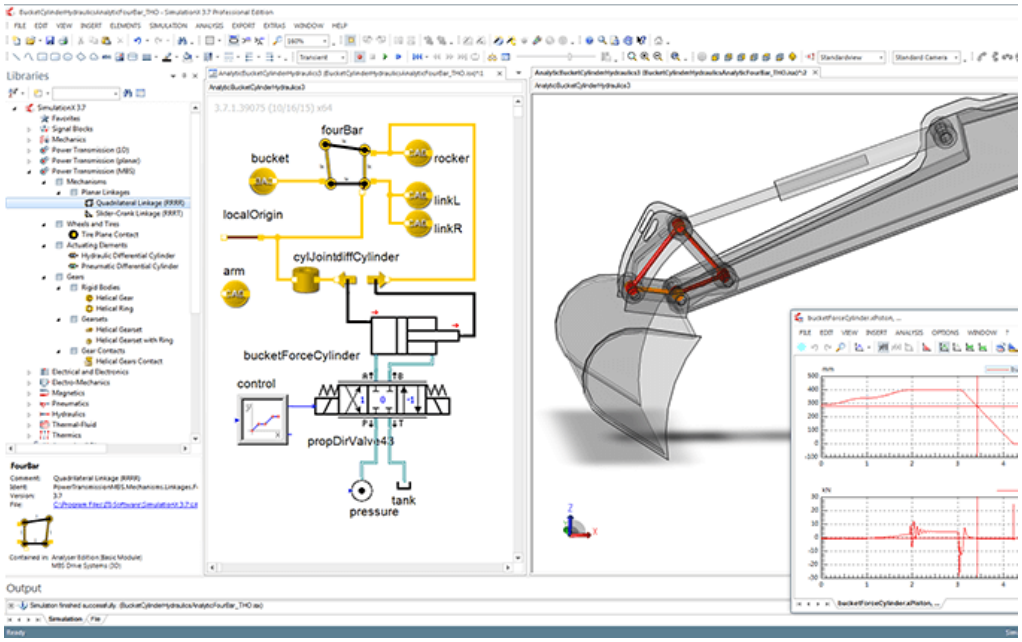
→ Detaillierung des Maschinenmodells

Implementierung des TCS 18.26 in SimulationX

SimulationX®

Supporting your vision

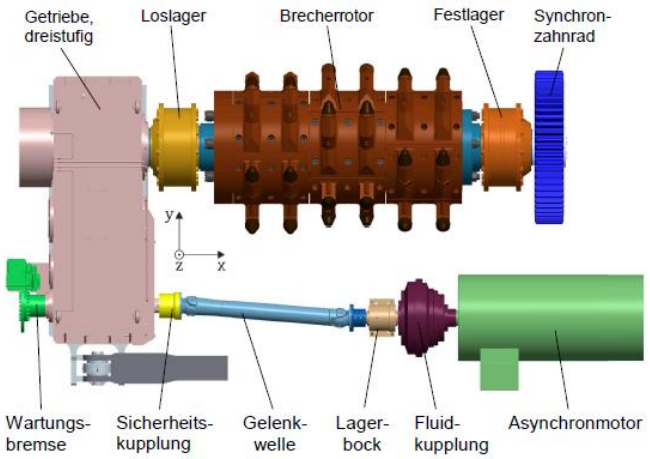
- Produkt der Firma ITI GmbH mit Sitz in Dresden, www.simulationx.de
- multiphysikalische Simulationssoftware für dynamische, nicht-lineare Systeme
- Software basiert auf dem offenen Modelica®-Standard

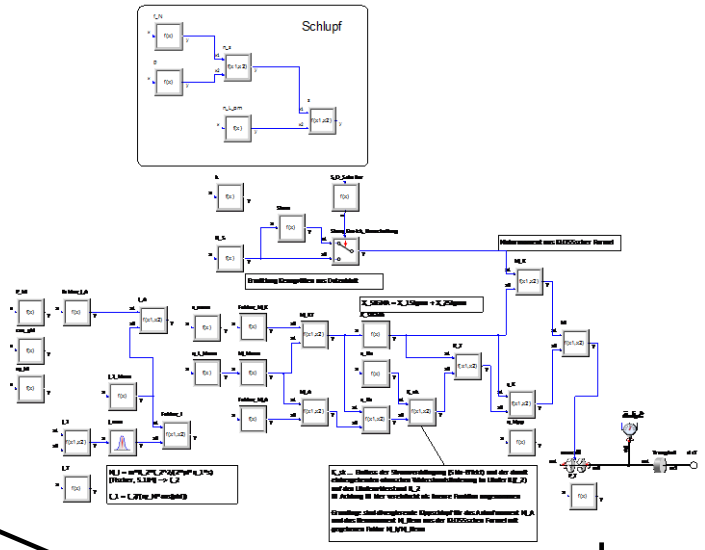


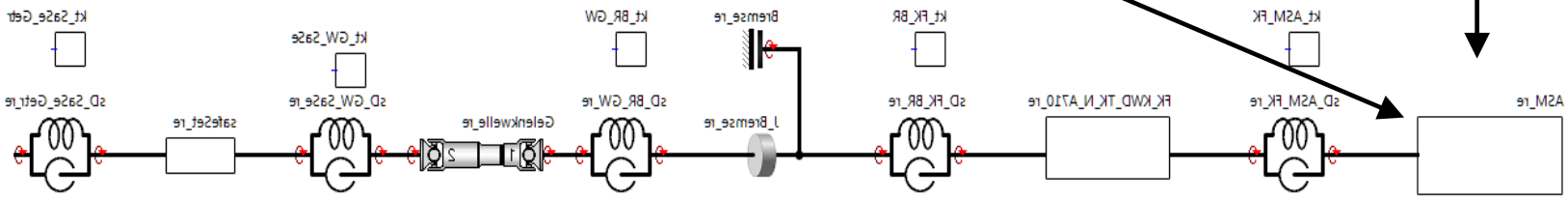
Implementierung des TCS 18.26 in SimulationX

Antriebsstrang

- 1D Mechanik Modell
- Teilmodelle werden in „Compounds“ zusammengefasst
- Bsp. Asynchronmotor







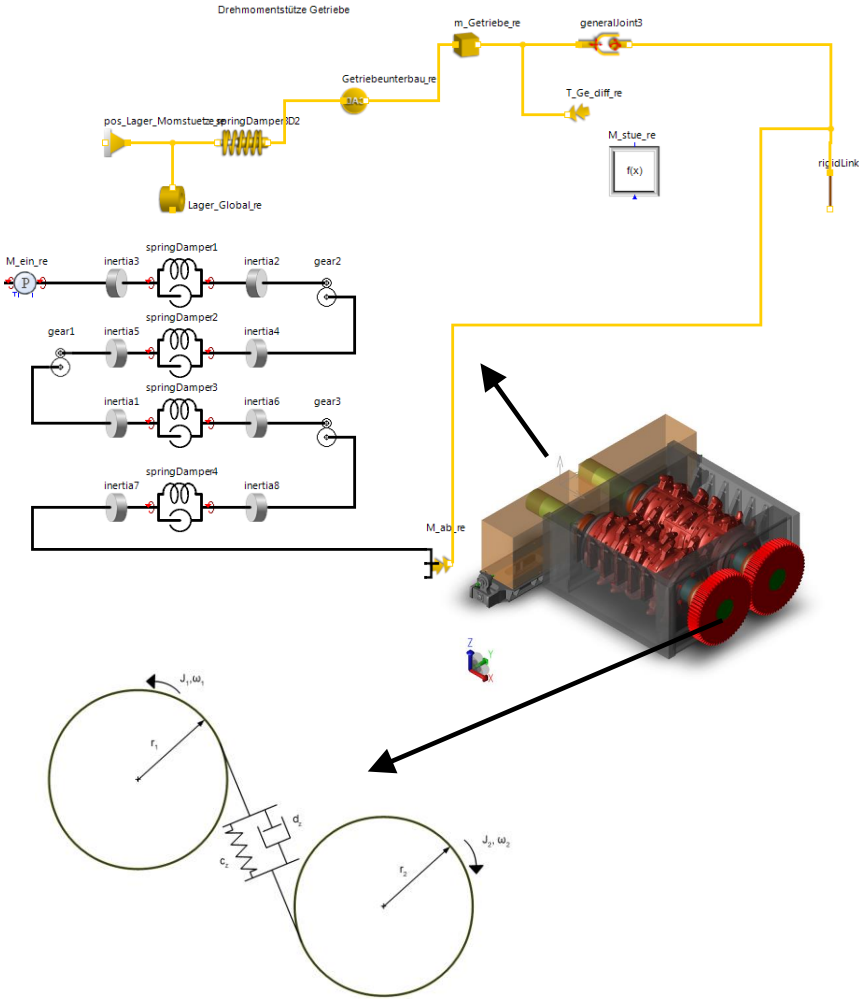
Implementierung des TCS 18.26 in SimulationX

Getriebe

- Momentenstütze als MKS
- Berücksichtigung Auflast aus Getriebemasse und dynamischen Effekten

Synchronisationsstufe

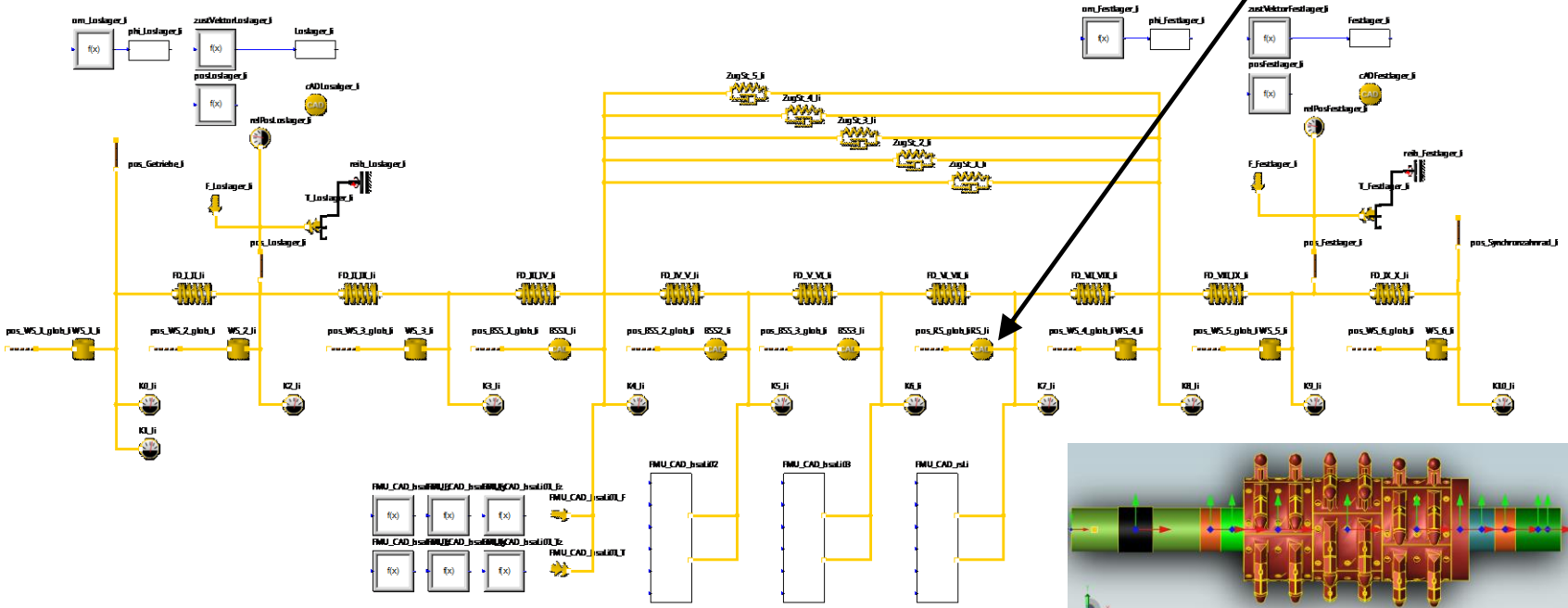
- Kraft- und Momentenübertragung in Abh. der Drehzahldifferenz und Kontaktpunktverschiebung
- Ansatz zur Steifigkeitsberechnung aus Geometrie- und Materialeigenschaften der Paarung /DIN 3990-1/

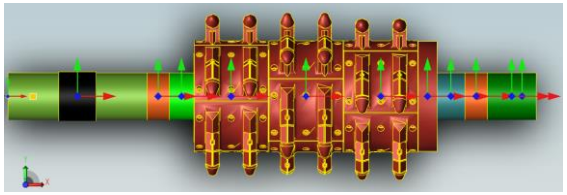


Implementierung des TCS 18.26 in SimulationX

Mehrkörpersystem des Brecherraums

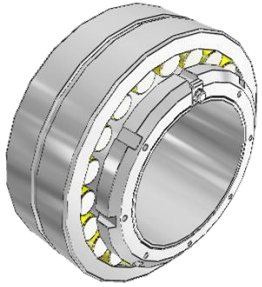
- diskretisierte Brecherschalenabschnitte
- Starrkörper sind über Feder-Dämpfer-Elemente miteinander verbunden
- Integration der Brecherschalenabschnitte via „cadImport“





Implementierung des TCS 18.26 in SimulationX

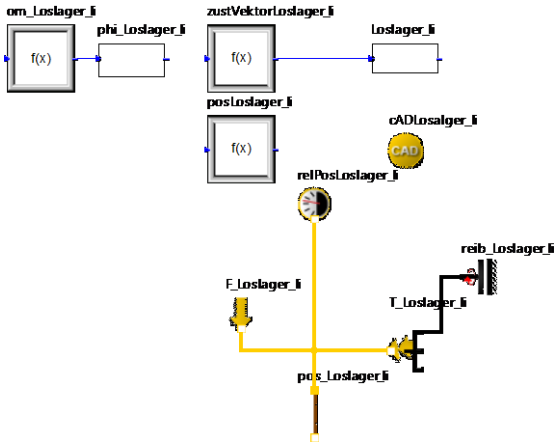
Pendelrollenlager

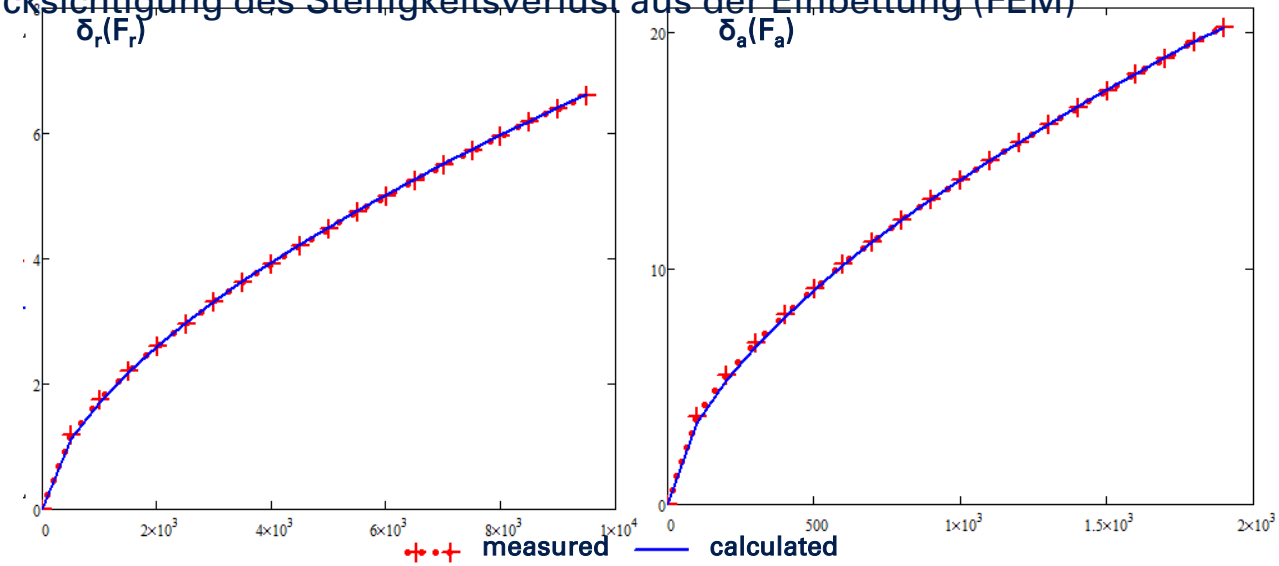


- Kraftberechnung in Folge Wellenverschiebung im Raum
- Modifiziertes Verschiebungs-Kraft-Gesetz:

$$F(\delta) = K_{cs} * (K_c * d^{0.65} * (\delta - \frac{S}{2}))^{\frac{1}{K1}}$$

- K_c und K1 Faktoren zur Anpassung Herstellercharakteristik des Lagers
- K_{cs} Koeffizient zur Berücksichtigung des Steifigkeitsverlust aus der Einbettung (FEM)





DEM Festkörpermodell

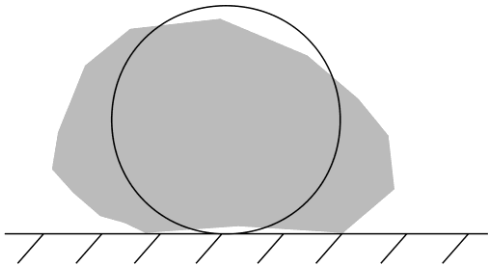
Diskrete-Elemente-Methode

- Numerisches Verfahren zur Partikelsimulation [Cundall1971]
- Simulationsumgebung LIGGGHTS® („LAMMPS **i**mproved for **g**eneral **g**ranular and **g**ranular **h**eat **t**ransfer **s**imulations“); www.cfdem.com
- Ursprung in der Simulation molekulardynamischer Vorgänge
- heute vorrangige Nutzung für Schüttgüter/Partikelströme

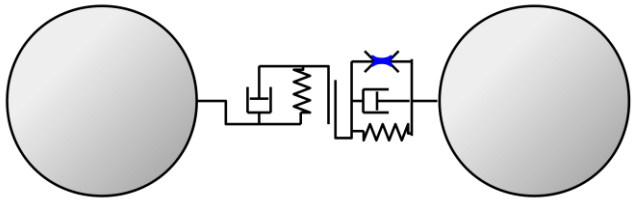
DEM Festkörpermodell

Grundlagen der Diskreten-Elemente-Methode

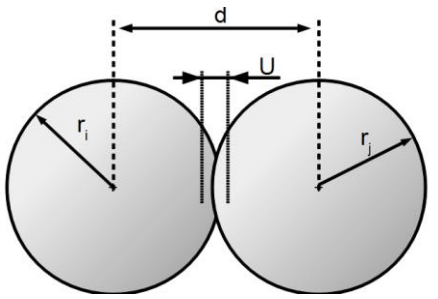
- Vereinfachung der realen Geometrie
  - Kugel
  - Polyeder
  - Clumbs



- Kontaktmodelle:
  - Materialdeformation
  - Gleitreibung
  - Rollwidertand
  - Kohäsion



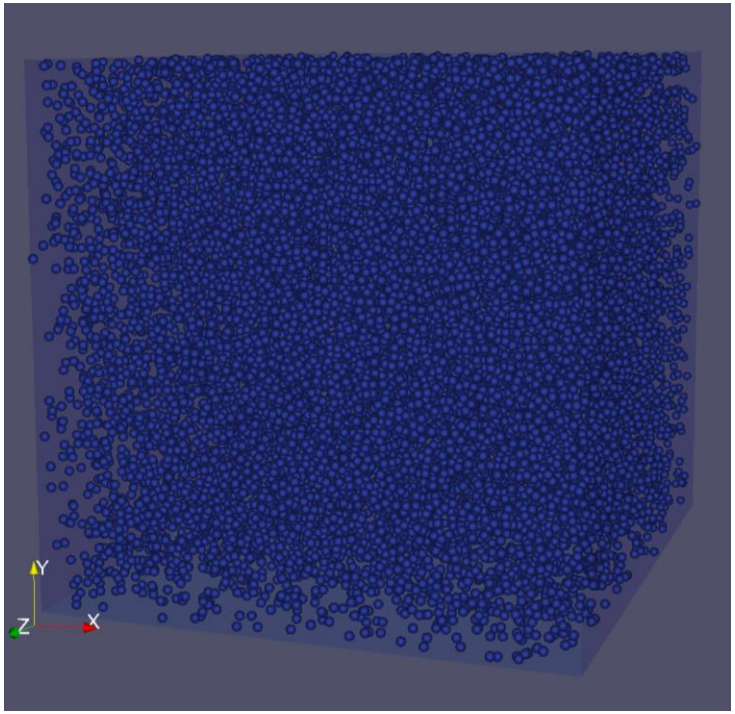
- Numerische Simulation:
  - Basiert auf Newton‘schen Gesetzen
  - Kontakterkennung $d \leq r_i + r_j$
  - Überlappung U zum Zeitpunkt t → Kräfte und Momente → Verschiebung für t+1



DEM Festkörpermodell

Generierung einer zufälligen Kugelpackung

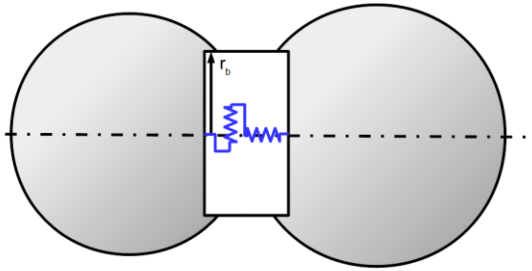
- einfügen geschrumpfter Partikel in definierten Raum
- Partikelwachstum 1 bis zur def. Größe
- Partikelwachstum 2 bis Kontaktzahl aller Partikel min. 3

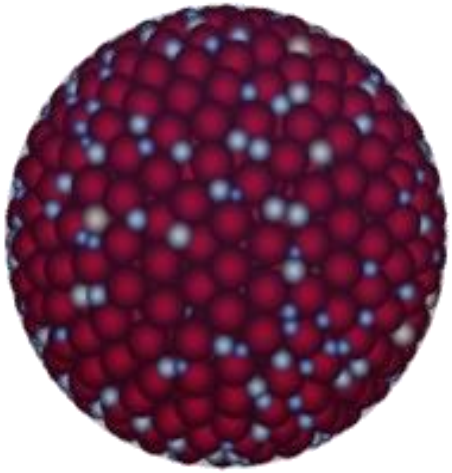


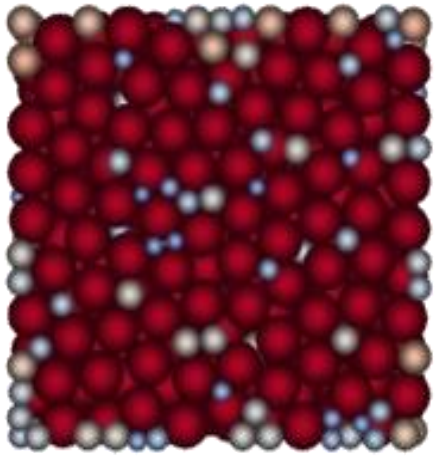
DEM Festkörpermodell

Bond-Modell

- Festkörpersimulation durch Superposition des Kontaktmodells mit einem bond-Modell von [Cundall/Potyondy]
- bonds sind Biegebalken mit Kreisquerschnitt
  - Aufnahme von Kräften und Momenten
  - „bruchfähig“



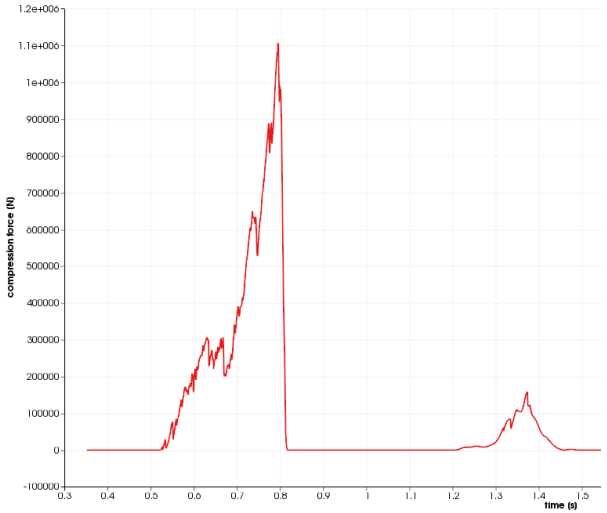


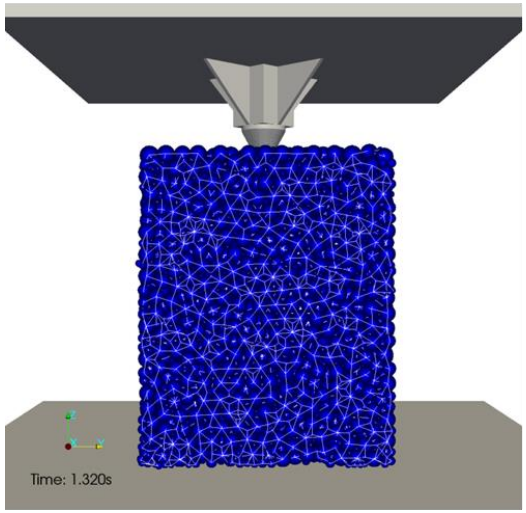


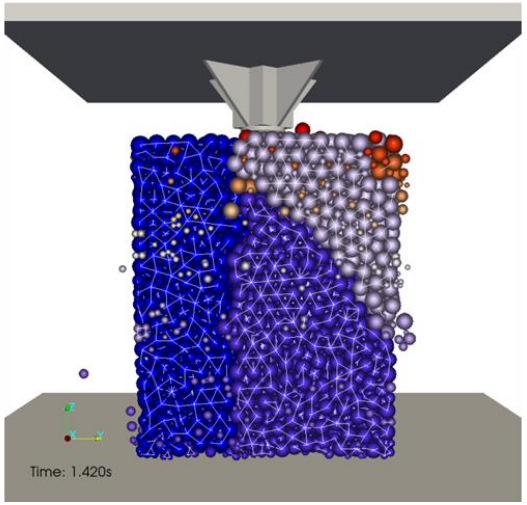
DEM Festkörpermodell

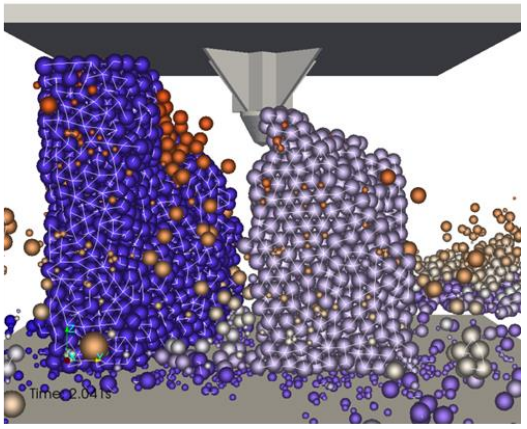
Vorkalibrierung Prüfkörper

- Kalibrierungsgrößen:
  - Bruchkraft,
  - Steifigkeit,
  - Zähigkeit,
  - Korngrößeneffekt,
  - Bruchbild









Co-Simulation

Prozesssimulation

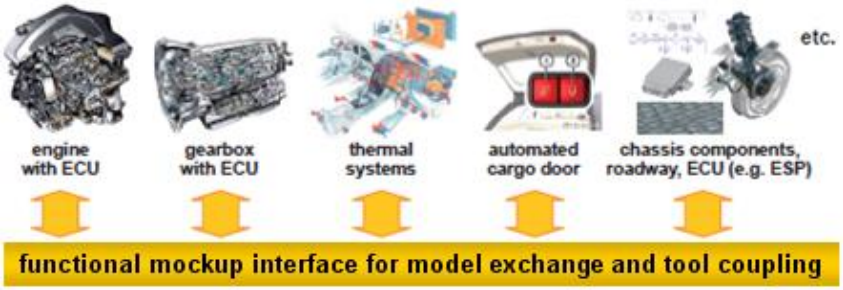
- Problematik
  - Maschinenmodell in SimulationX®, **aber** keine DEM-Unterstützung
  - DEM-Modell in LIGGGHTS®, **aber** keine ganzheitliche Maschinensimulation möglich

- Und nun?

→ Verknüpfung zweier Simulationsumgebungen durch Co-Simulation

FMI Standard

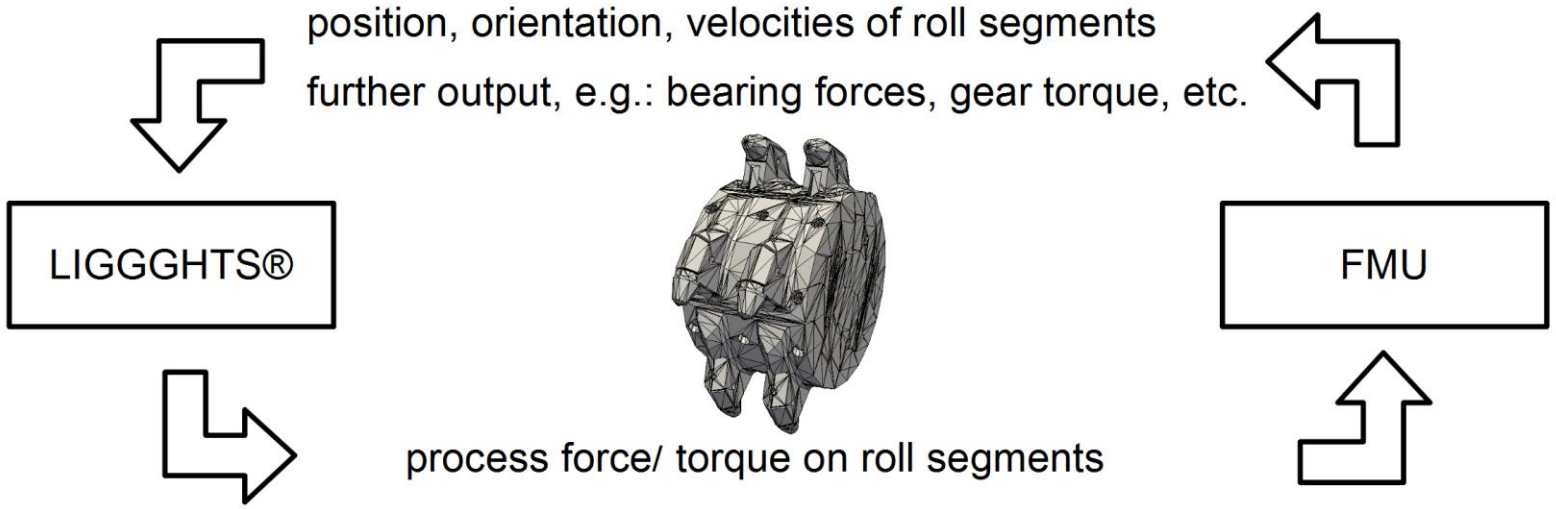
- FMI = „**F**unctional **M**ock-up **I**nterface“
- Werkzeugunabhängiger Standard zum Datenaustausch zwischen Subsystemen
- Co-Simulation → Unterscheidung in Master-/ Slave-Modelle
- FMU = „**F**unctional **M**ock-up **U**nit“ (Slave Unit) beinhaltet die c-Code Modellbeschreibung und Schnittstellen in einer XML-Datei
- www.fmi-standard.org



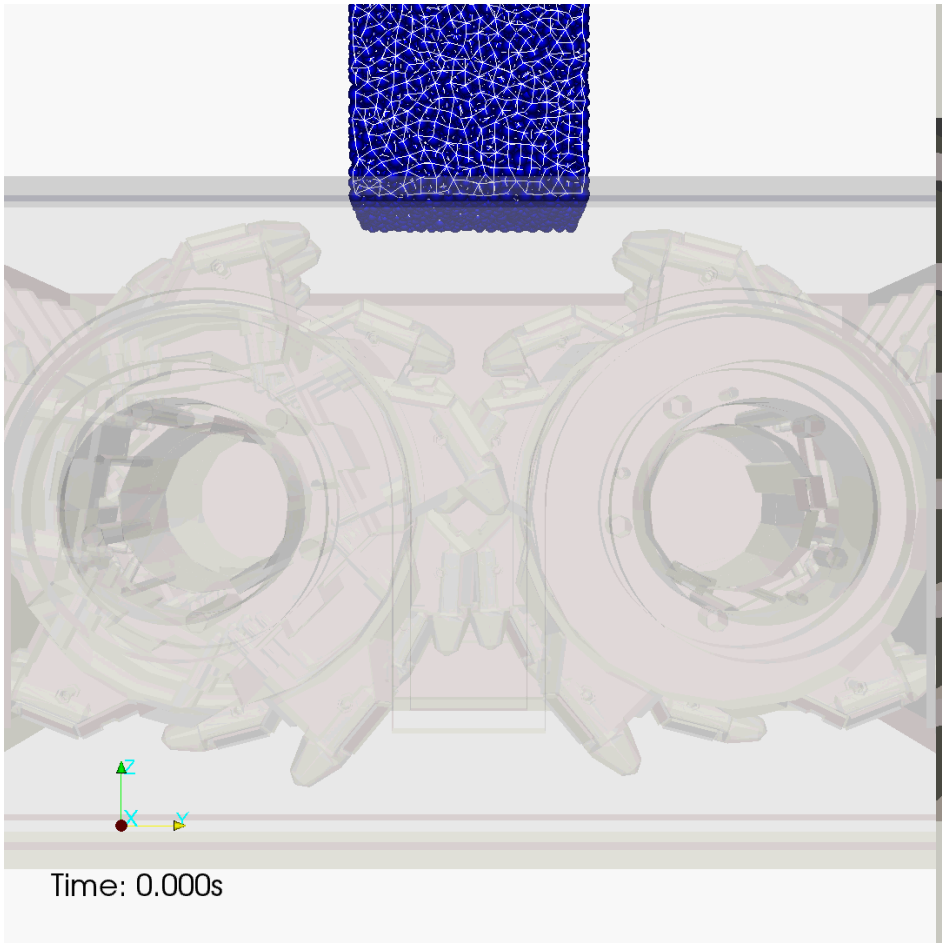
Co-Simulation

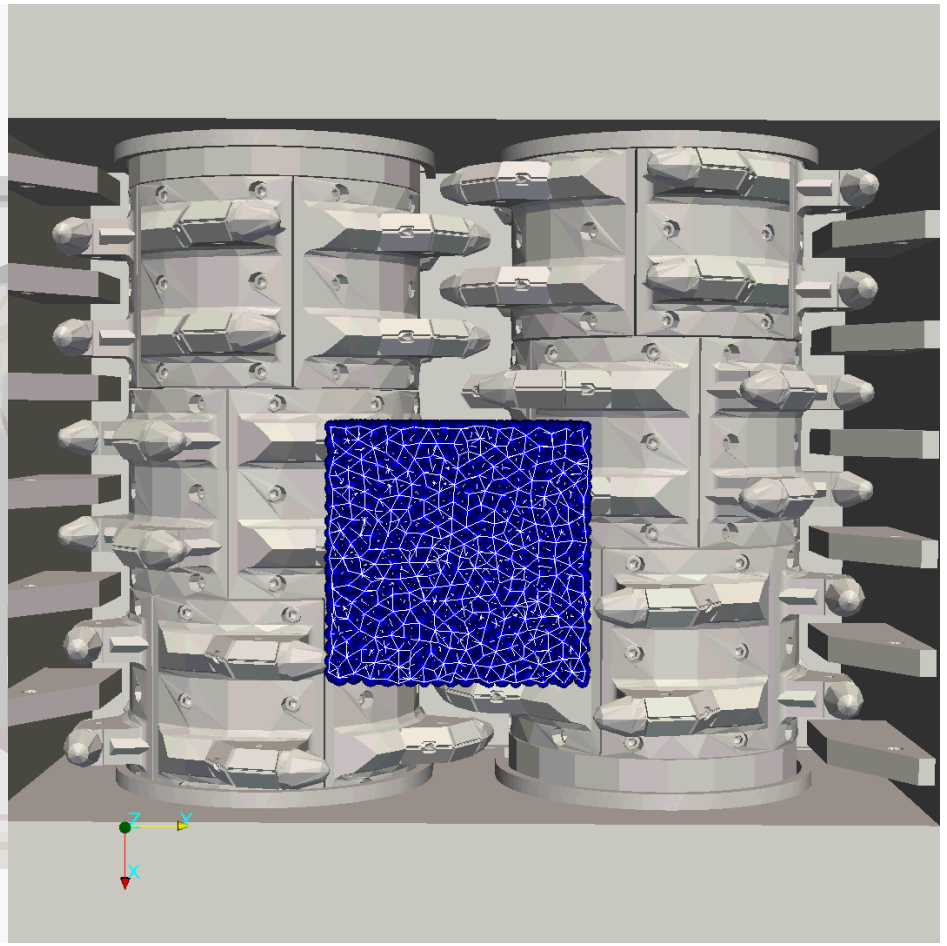
- Export TCS 18.26 Modell als FMU für co-Simulation in SimulationX®
- Import FMU & vorkalibrierten DEM Gesteinskörper in LIGGGHTS®

Datenaustausch



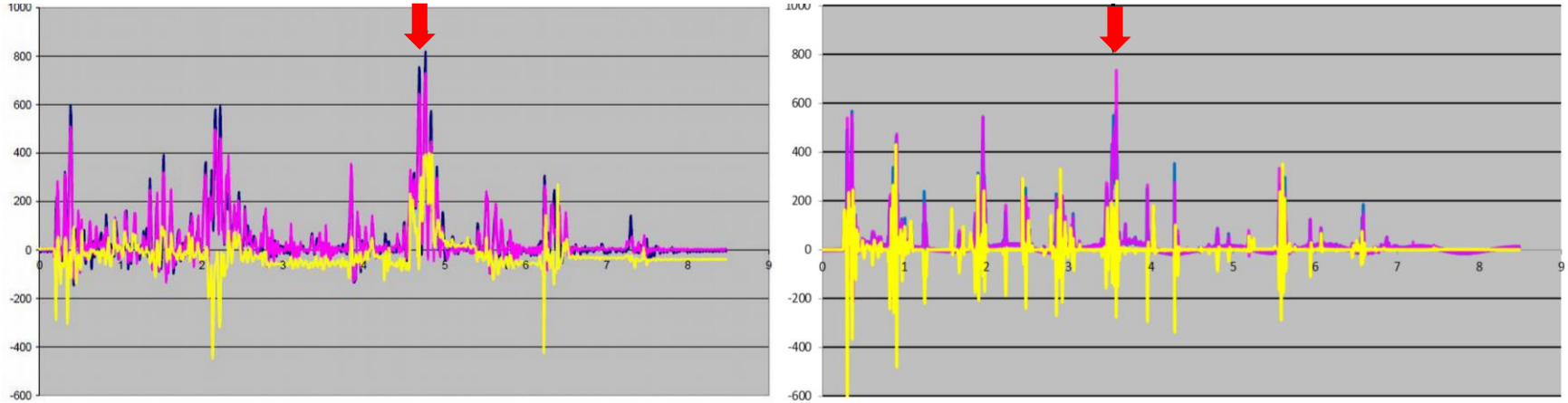
Co-Simulation



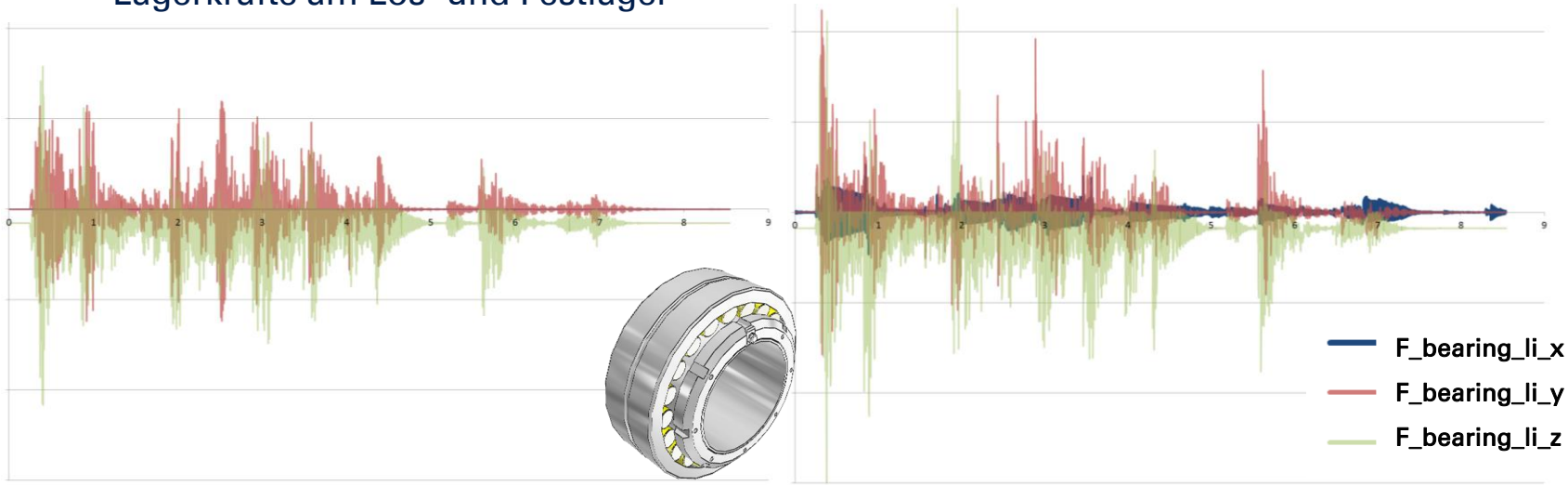


Ergebnisse

- Walzenmoment am Getriebe



- Lagerkräfte am Los- und Festlager



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Ein plausibles Modell des Center-Sizer TCS 18.26 wurde in SimulationX® implementiert
- Kopplung zweier Simulationsumgebungen, SimulationX® und LIGGGHTS®, durch Nutzung des FMI-Standards
- Mit Hilfe der DEM wurde ein Prozessmodell generiert, dass eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten aufweist und erste Analysen der Prozesslasten auf den Center-Sizer zulässt

Ausblick

- Zuverlässigere Prognose des DEM Materialverhaltens in Abh. definierter Parameter

»Wissen schafft Brücken.«

Fragen?