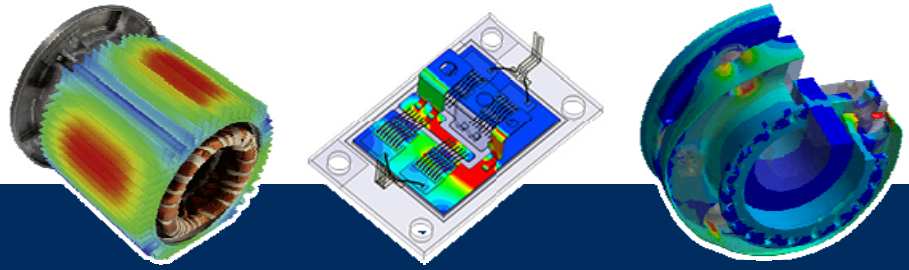
CADFEM®

Simulation is more than Software®



Dynamischer Partikelbruch:

Modelldefinition, Kalibrierung und Anwendung

ROCKY

Luca Benvenuti
lbenvenuti@cadfem.de

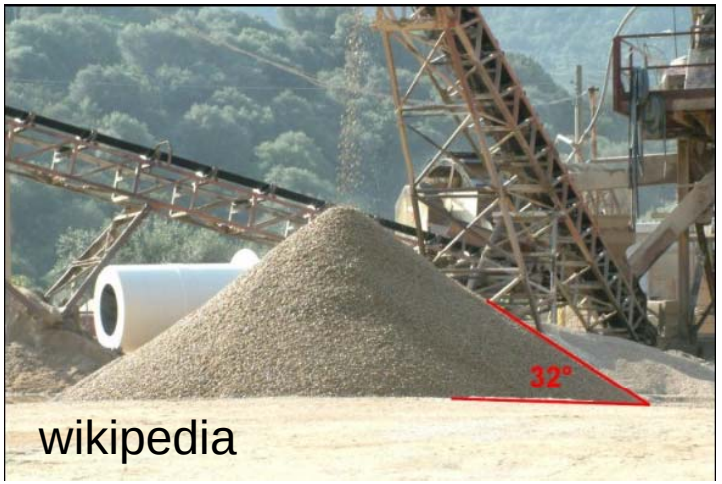
Agenda

- Was ist die Diskrete-Elemente-Methode (DEM) und ihr Wert?
- DEM Anwendungsbeispiel
- Bruchmodellierung
- Partikelsimulation einer Förderanlage
- Zusammenfassung
- Fragen und Antworten

Schüttgut und DEM

- Schüttgut
  - Solides makroskopisches Material
  - Energie durch Interaktion abgeben, meistens Reibung

- Viele Branchen beschäftigen sich mit Partikeln
  - Bergbau
  - Pharma
  - Landwirtschaft
  - Zement
  - Transport
  - Chemie

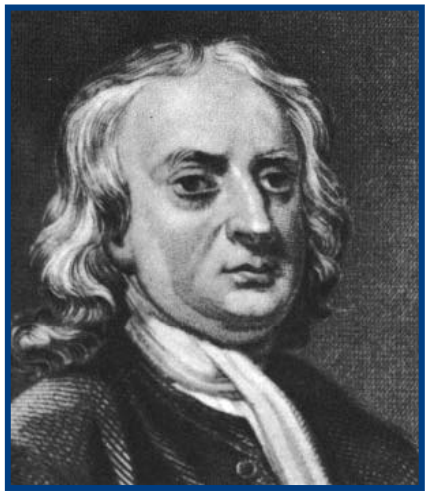


Schüttgut und DEM

- Die DEM wird verwendet, um Schüttgut zu modellieren
  - Partikelsysteme sind schwer zu messen
  - Methode zur Simulation einer großen Anzahl von diskreten Objekten
  - Klassische Mechanik

Was ist die DEM: Vorhersage der Partikelbewegung

- Kraft und Drehmoment Gleichgewicht für jedes Teilchen:



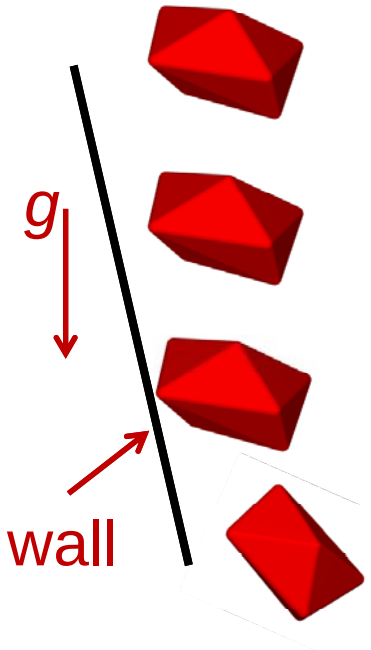
Sir Isaac Newton

$$\sum F = F_{body} + F_{surface} = ma$$

$$\sum T = I\dot{\omega}$$

Was ist die DEM: Vorhersage der Partikelbewegung

- Beispiel: Partikel fallen:



$$\text{Time} = t,\ \sum \bar{F} = \bar{F}_{body} = mg$$

$$\text{Time} = t + \Delta t,\ \sum \bar{F} = \bar{F}_{body} = mg$$

$$\text{Time} = t + 2\Delta t,\ \sum \bar{F} = \bar{F}_{body} + \bar{F}_{surface} = mg + \bar{F}(t)_{contact}$$

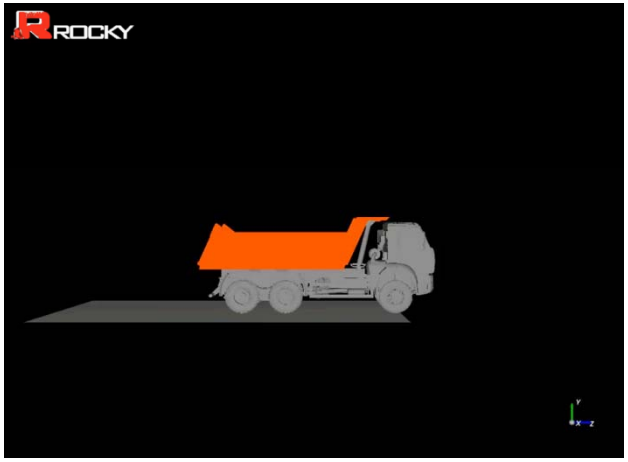
$$\text{Time} = t + 3\Delta t,\ \sum \bar{F} = \bar{F}_{body} = mg$$

Schüttgut: Vorhersage der Bewegung von vielen Partikeln

Holzspäne (Biomassebehandlung)

Chips (Lebensmittelindustrie, Pepsico)

Felsen (LKW-Dump)



Nasses und klebriges Erz (Rutschenübertragung im Bergbau)

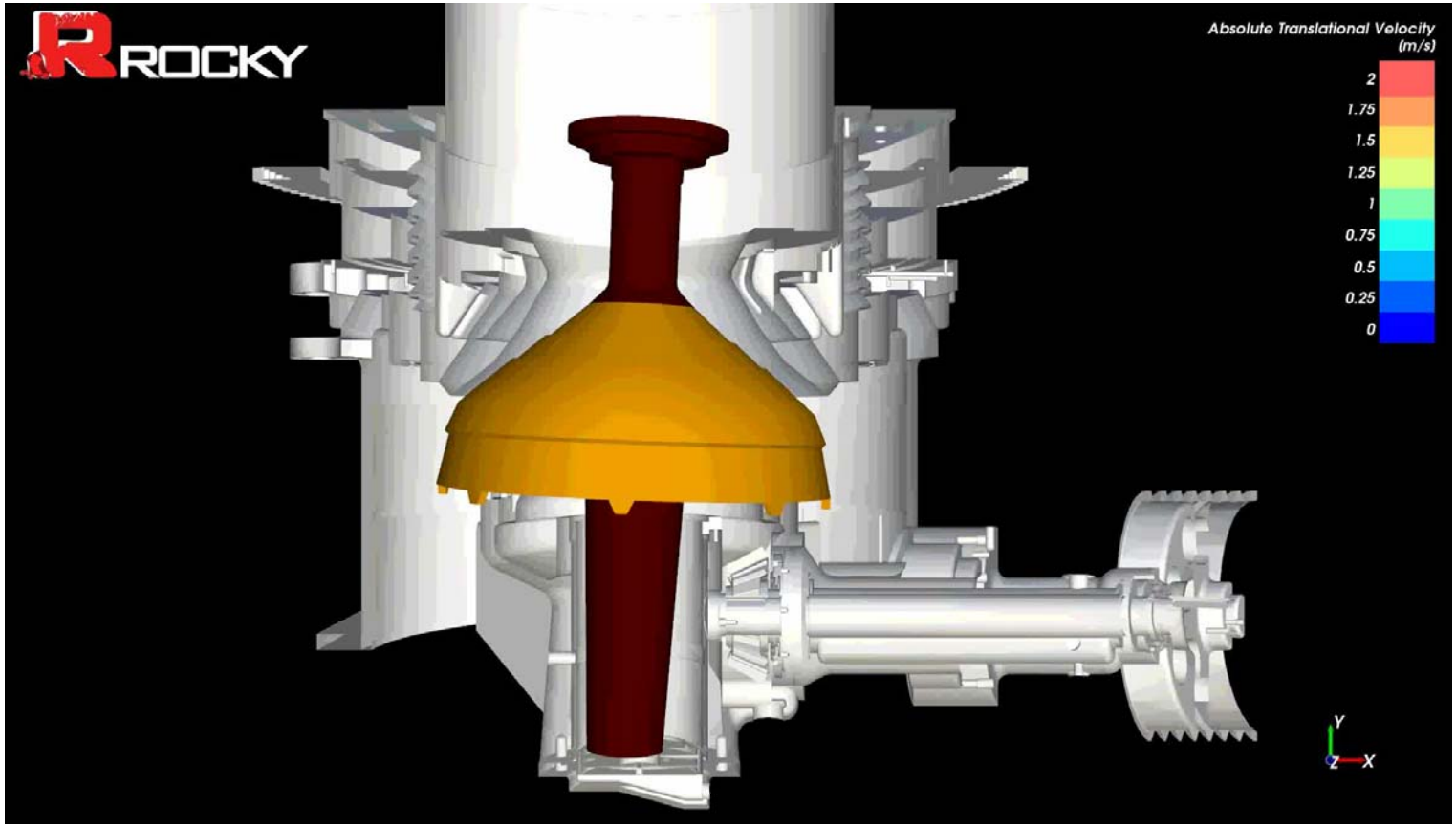
CADFEM

Simulation is more than Software®

Bruchmodellierung

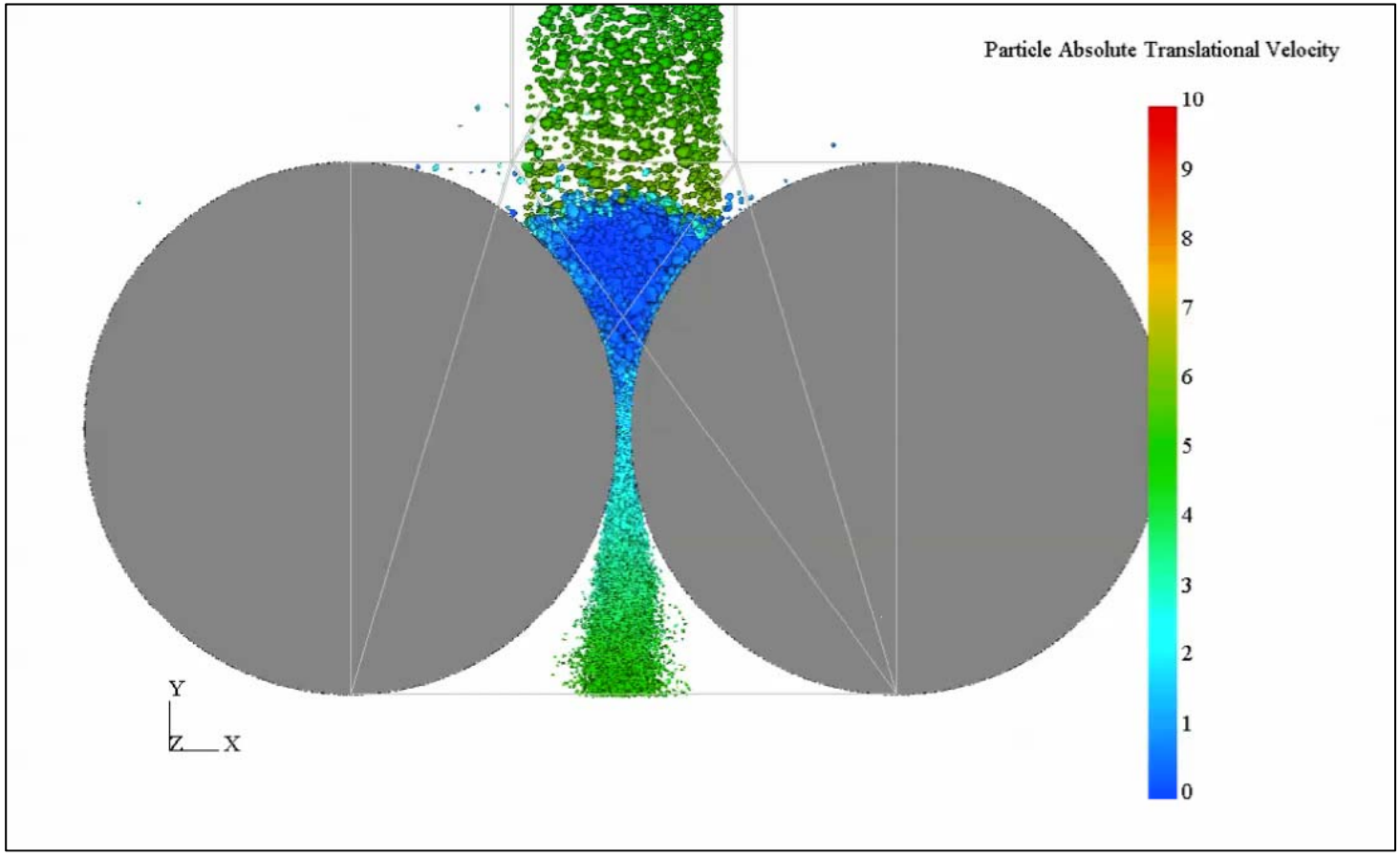
Motivation für Bruchmodellierung

- Beispiel: Kegelbrecher 1



Motivation für Bruchmodellierung

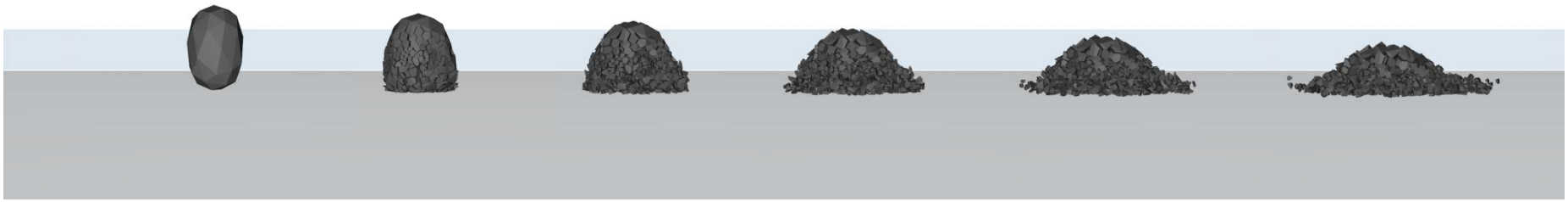
- Beispiel: Kegelbrecher 2



Einführung

- Bruch von nicht gerundeten Partikeln
- Erhaltung von Masse und Volumen
- Voronoi Fraktur Partikel Subdivision Algorithmus
- Probabilistische Methode für Bruchenergie
- JKMRC Ab-T10 Ansatz für die resultierende Fragmentgröße

Shi, F. N.; Kojovic, T. 'Validation of a model for impact breakage incorporating particle size effect', *International Journal of Mineral Processing*, 82-3, p. 156-163. 2007



© CADFEM 2017

Modellbeschreibung

- Bricht wenn: e> $e_{min} = e_{min,ref}\left(L_{ref}/L\right)$

- Nach Bruch:

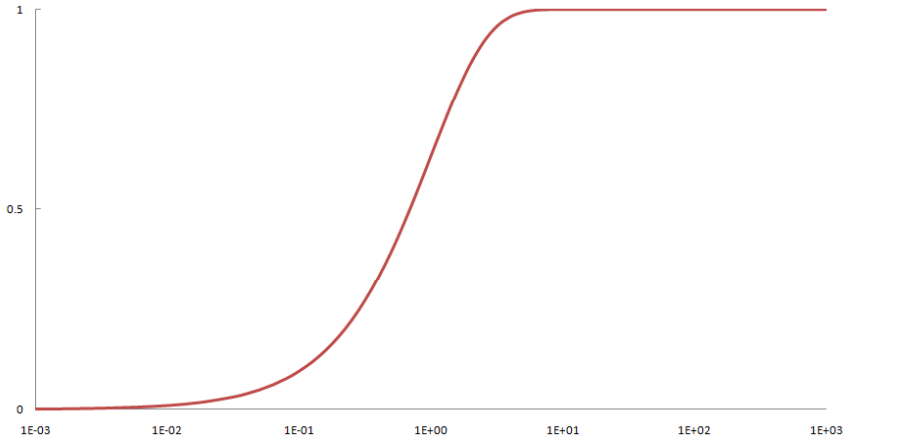
$$e_{cum}{}^{new} = e_{cum}{}^{old} + \max(0, e - e_{min})$$

© CADFEM 2017

Bruchwahrscheinlichkeit

$$P = 1 - e^{-\underbrace{\left[S\left(\frac{L}{L_{ref}}\right)e_{cum}\right]}_{\theta}}$$

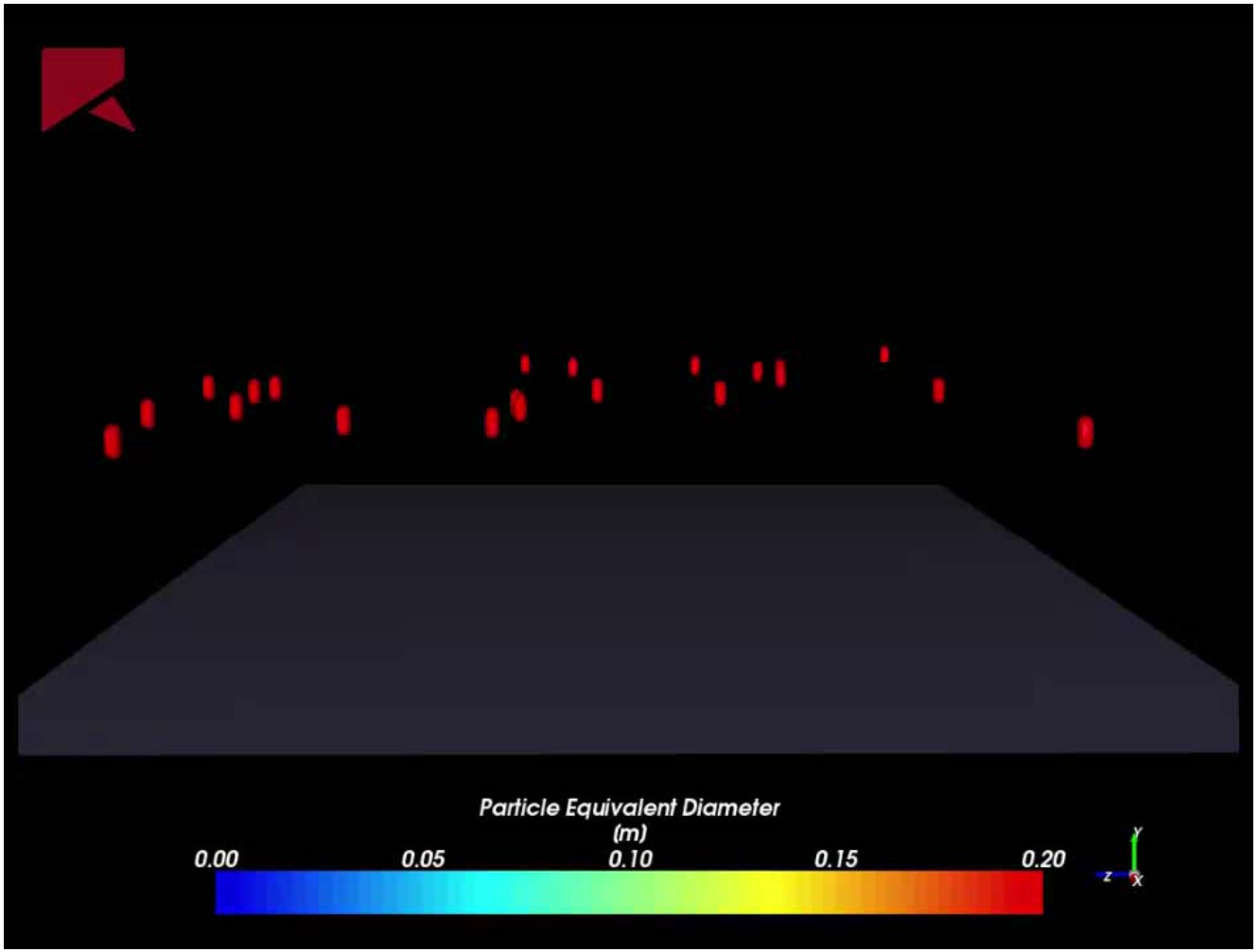
$$P = 1 - e^{-\theta}$$



θ

© CADFEM 2017

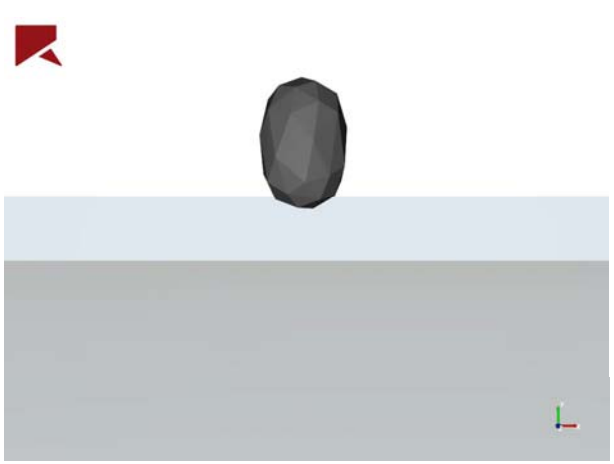
Bruchwahrscheinlichkeit



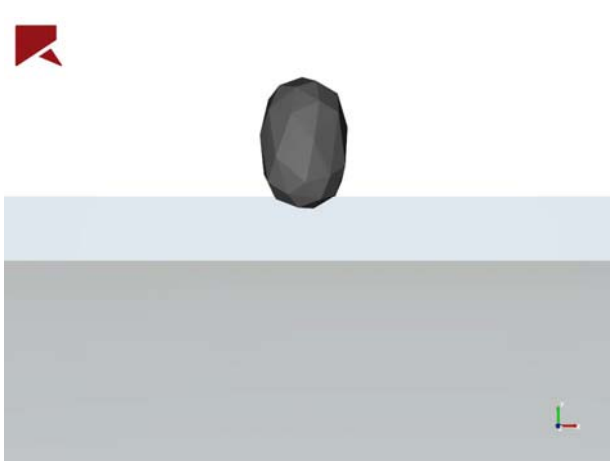
© CADFEM 2017

Fineness index

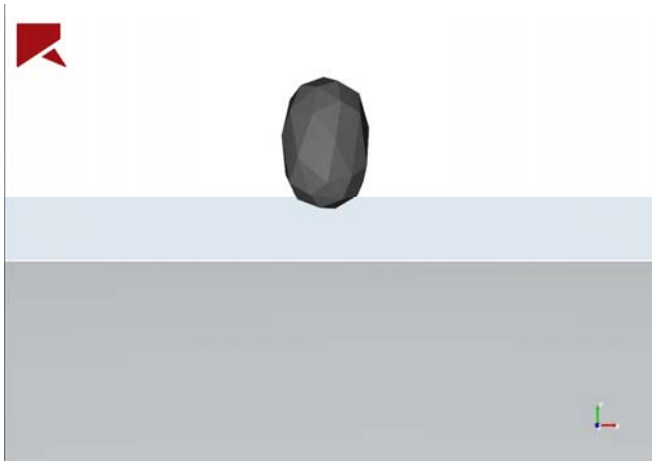
$$T_{10} = M\left\{1 - e^{-\left[S\left(\frac{L}{L_{ref}}\right)e_{cum}\right]}\right\}$$



M=1



M=10

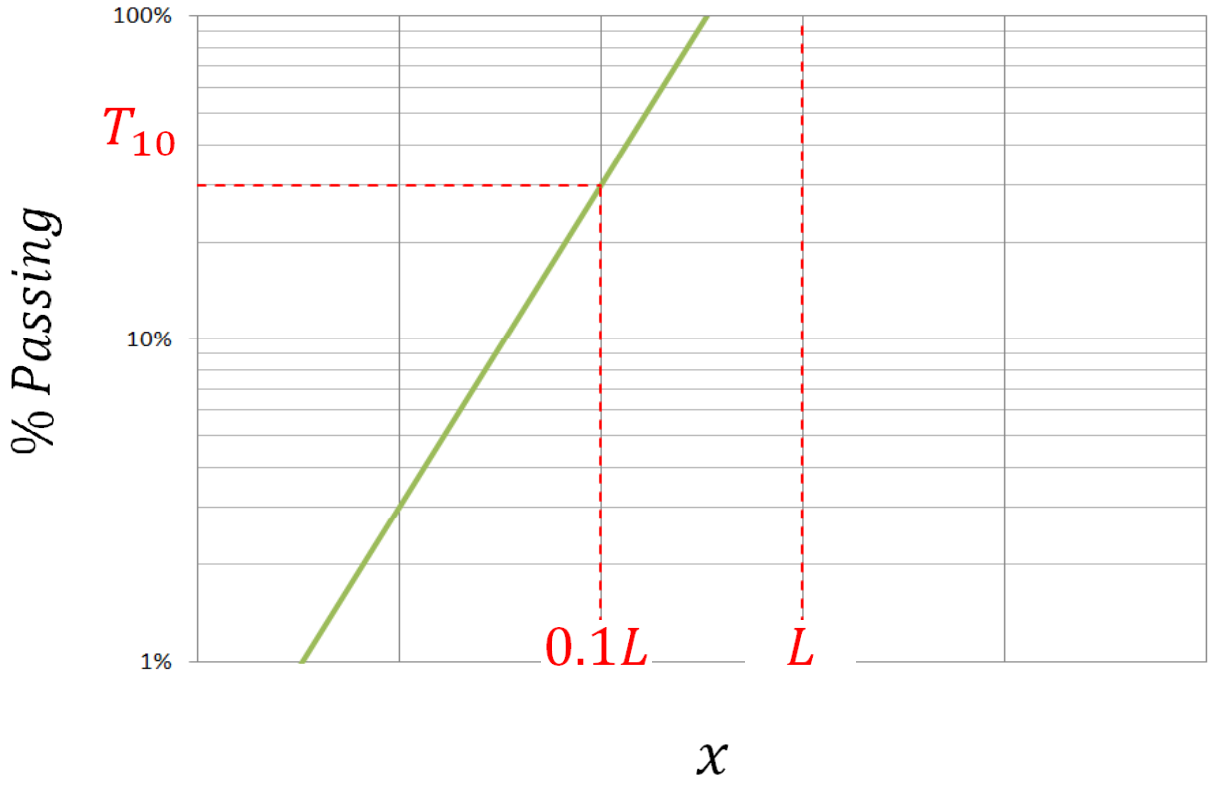


M=50

© CADFEM 2017

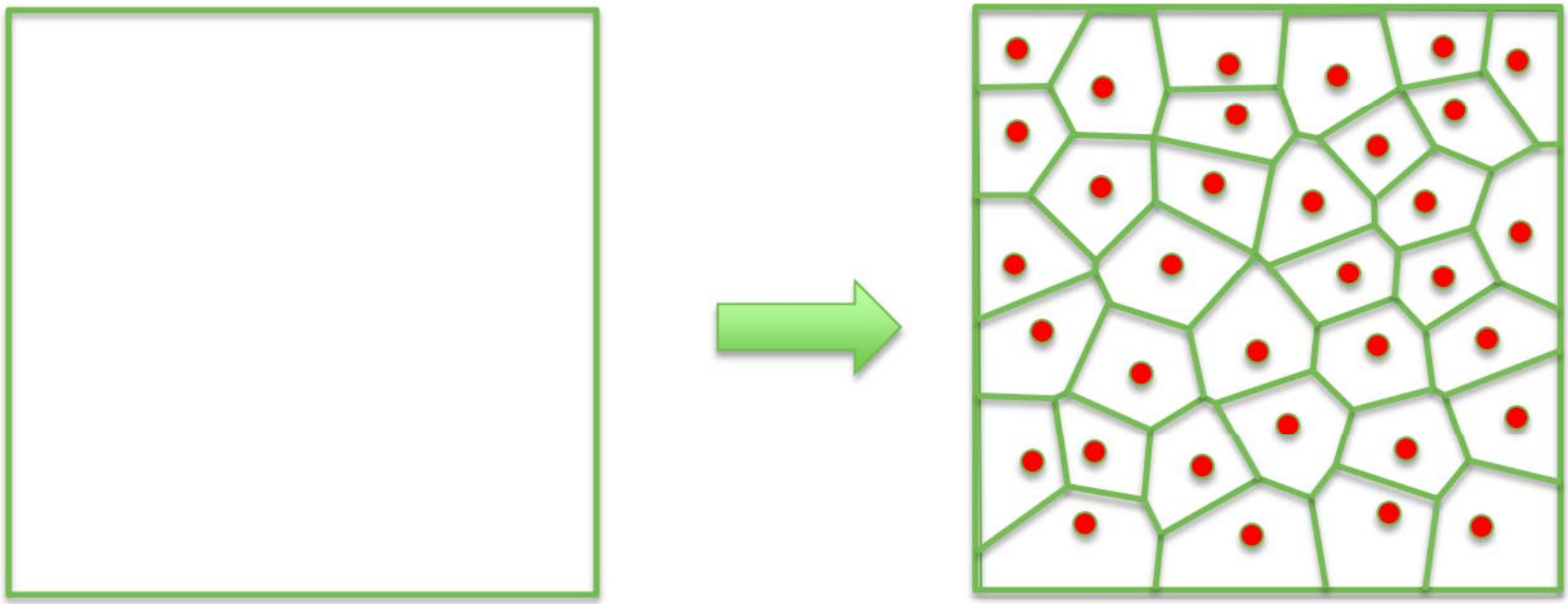
Gaudin-Schumman

$$\%Passing = 100 \cdot \frac{T_{10} \cdot x}{0.1L}$$



© CADFEM 2017

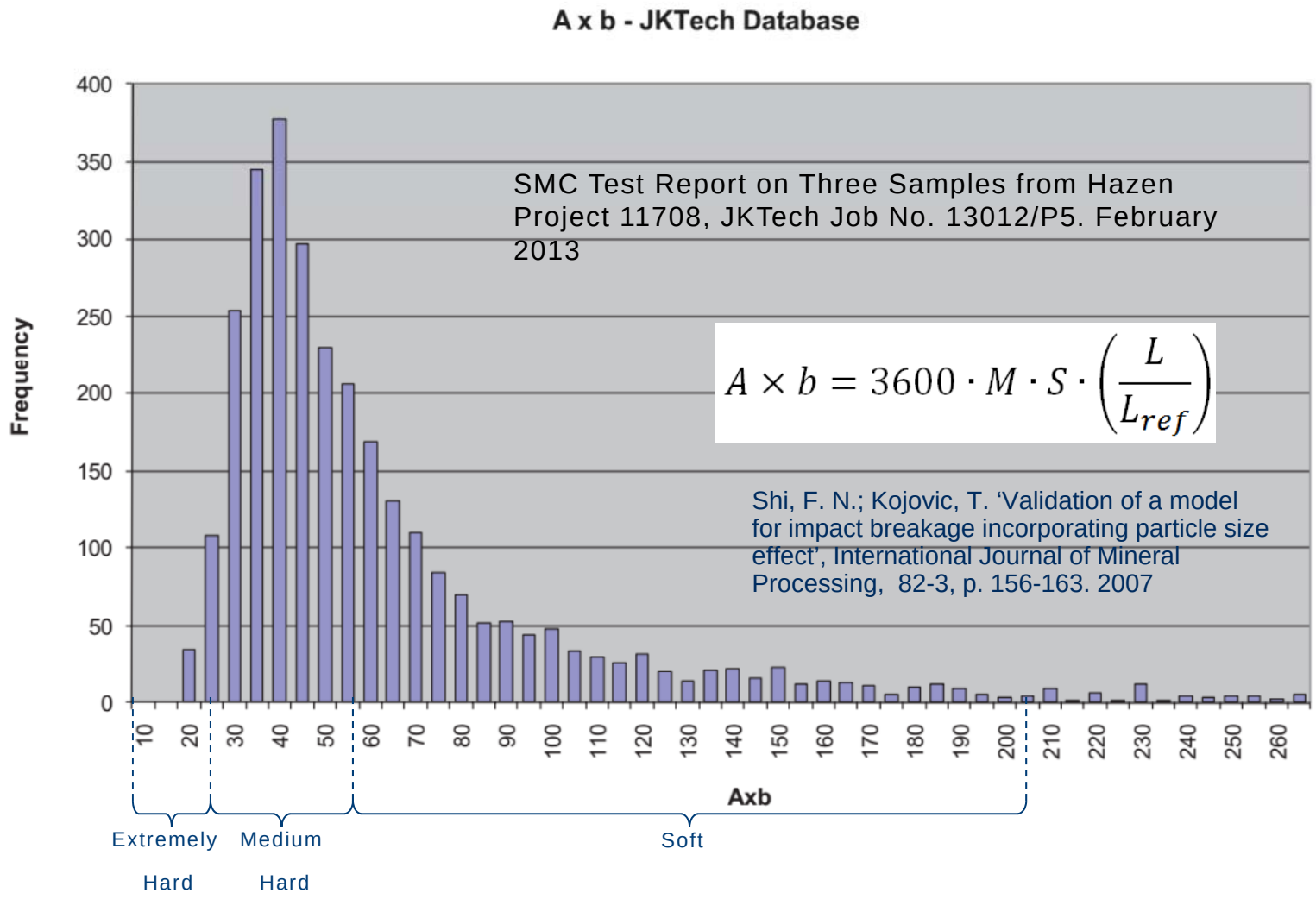
Voronoi Fraktur Partikel Subdivision Algorithmus



E. Coumans, ‘Destruction’, *Game Developers Conference*, San Francisco, March 5-9, 2012

© CADFEM 2017

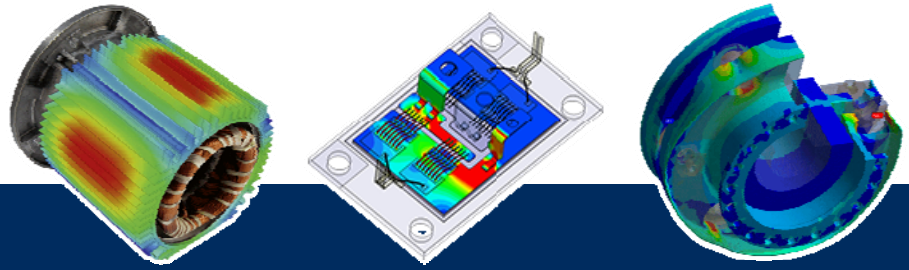
Axb – JKTech Database



© CADFEM 2017

CADFEM®

Simulation is more than Software®



Partikelsimulation einer Förderanlage

© CADFEM 2017

Anwendungsszenario

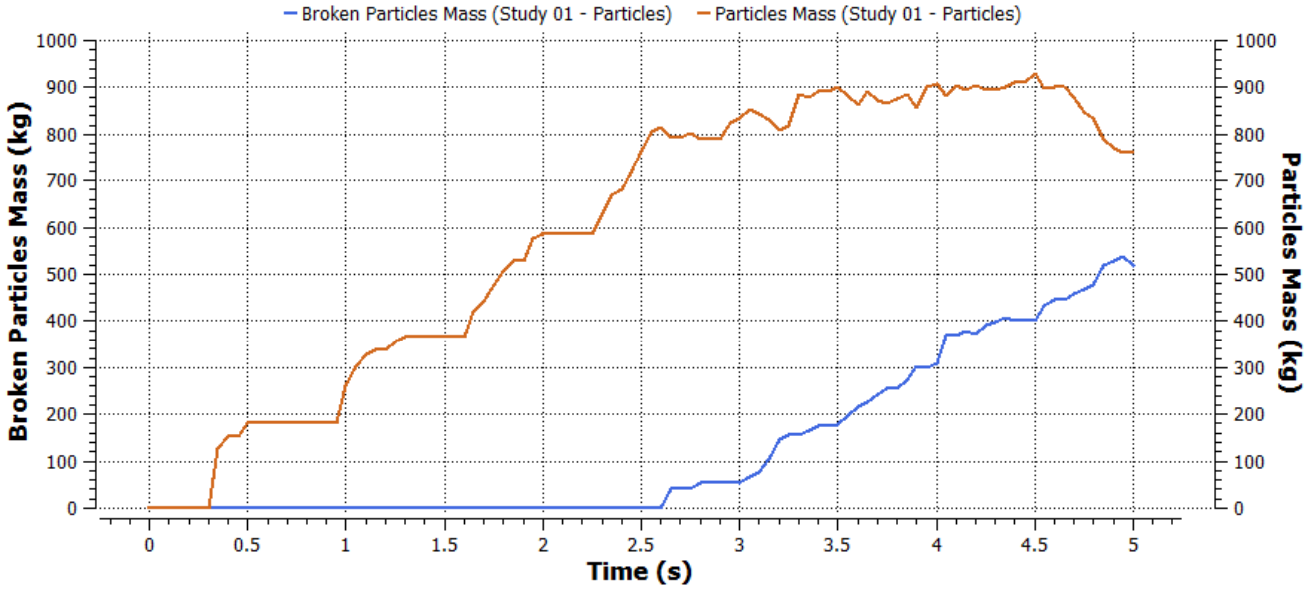
- Produkt: Förderanlage für Erz
  - Maximaler Durchsatz
  - Minimaler Bauraum
  - Minimaler Verlust
  - Minimaler Bruch

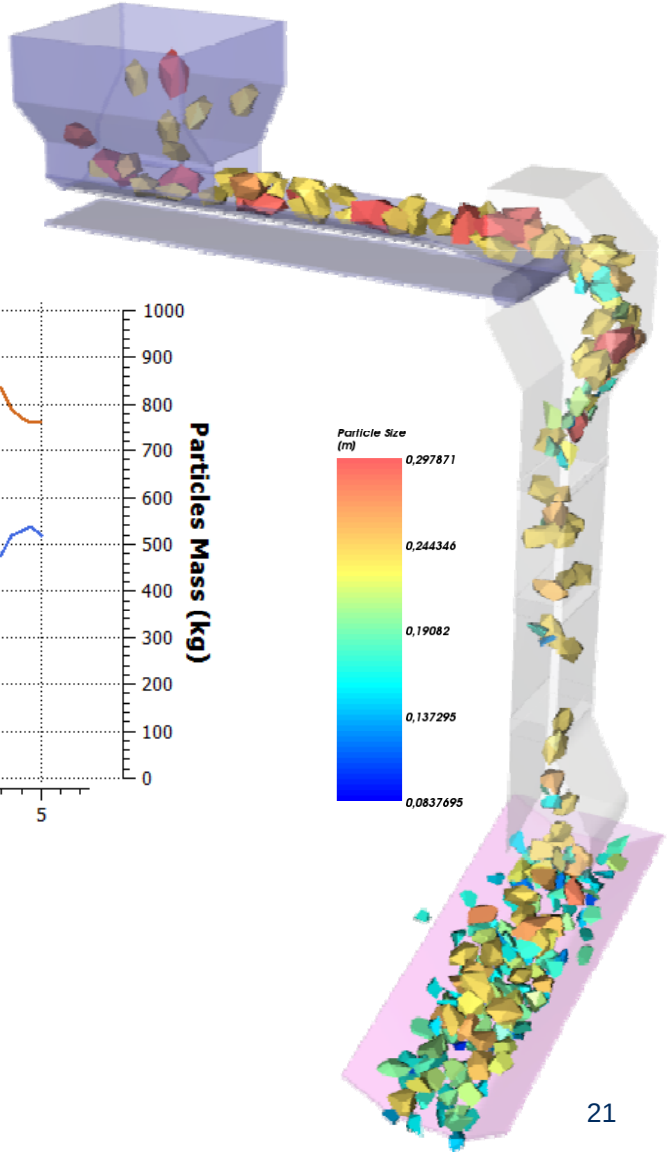
- Simulationsaufgabe
  - Frühzeitige Bewertung des Produkttransports

Beladung eines Schüttgutfrachters

© CADFEM 2017

Partikelbruch einer Förderanlage

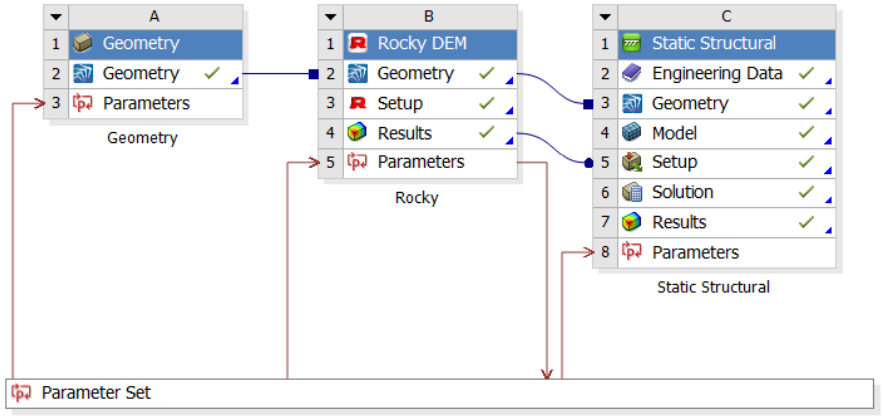


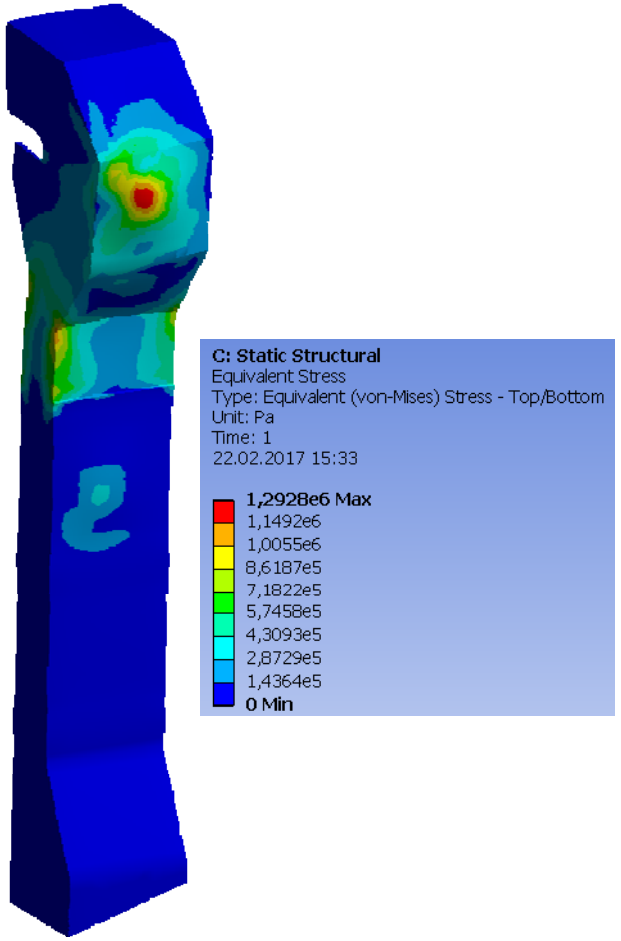


Masse der Partikel
insgesamt und gebrochen

© CADFEM 2017

Kopplung zur Festigkeitsberechnung





© CADFEM 2017

Zusammenfassung

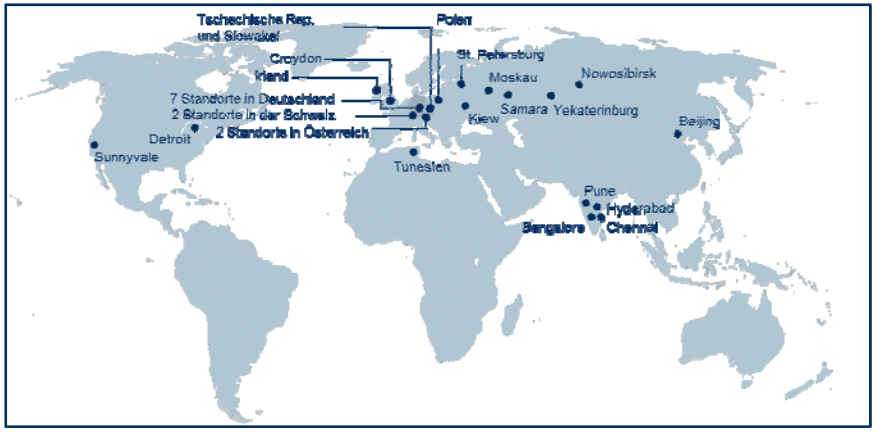
- DEM wird in vielen Branchen verwendet
- Bruchmodell gibt aussagekräftige Einblicke über typische Bergbauprozesse
- Modell basiert auf mehreren, validierten, probabilistischen Methoden
- Partikelbruch, Strukturspannungen und Strukturverformungen können analysiert werden
- Prozesse und Maschinen können dank ROCKY DEM optimiert werden

© CADFEM 2017

CADFEM – Simulation ist mehr als Software

PRODUKTE
Software und IT-Lösungen

SERVICE
Beratung, Support, Engineering

WISSEN
Know-How-Transfer

CADFEM in D, A, CH
- 1985 gegründet
- 2.300 Kunden
- 11 Standorte
- 185 Mitarbeiter (weltweit: >350)
- ANSYS Elite Channel Partner