

BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
University of Applied Sciences

Explizite Finite Elemente Methode

LV03: Masterkurs für MK-M, ME-M und PE-M

Parical Flow Code (PFC) Syntax, Kontaktdefinitionen

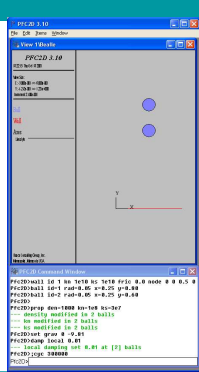
Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Kleinschrodt
FB VIII: Maschinenbau, Veranstaltungstechnik, Verfahrenstechnik

Einführendes PFC-Beispiel

- new** ;löschen alter Daten
- plot create** Baele ;neues Grafikfenster
- pl add ball** lblue wall red ;Geometrie Balle Wand
- pl add ax** ;Achenkreuz im Ursprung
- pl set size** -0.3 0.6 -0.2 1.0 ;Fenstergröße 0.9x1.2
- pl show** ;Darstellung Grafikfenster

- wall id=1** kn=1e10 ks=1e10 fric=0.0 node (0, 0) (0.5, 0)
- ball id=1** rad=0.05 x=0.25 y=0.80 ;Wände und Bälle
- ball id=2** rad=0.05 x=0.25 y=0.60 ;haben eigene id

- prop dens=1000** kn=1e8 ks=3e7 ;Dichte u. Steifigkeit
- set grav** 0 -9.81 ;Gravitation in -Y-Richt.
- damp local** 0.01 ;Dämpfung bei Berührung
- cyc** 300000 ;Anzahl Zeitschritte

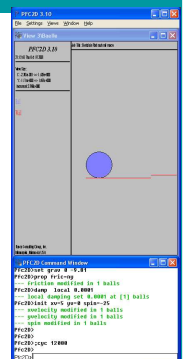


Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV03: Explizite FEM 2

Variable definiert durch macro

- title** 'Bordstein Rad rauh mit macro'
- macro** my 0.5 ;Variable definiert mit Wert
- macro** knkswall 'kn=1e10 ks=1e10
- set disk** 0.5 ;Scheiben mit Dicke
- wall id=1** kn=1e10 ks=1e10 fric=0.5 node (0, 0) (1.0, 0.00)
- wall id=2** knkswall fric=my node (1.0, 0.05) (12.00, 0.05)
- ball id=1** rad=0.20 x=0.20 y=0.20

- hist nstep** 5 ball spin id=1 ;alle 5 Zeitschritte eine Ausgabe
- plot create** Spin
- plot hist** 1 ;Time-History der Drehung
- plot create** Baele
- pl add ball** lblue w all red
- pl set size** -0.30 14.0 -0.20 0.60
- pl show**
- prop dens=1000** kn=1e8 ks=3e7 fric= my
- set grav** 0 -9.81
- damp local** 0.0001
- init xv=5 yv=0 spin=25** ;Anfangsgeschwindigkeiten
- cyc** 12000



Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV03: Explizite FEM 3

Zeitschritt bei Bällen und Scheiben

	Bälle	Disk
m	$\rho \frac{4}{3} \pi r^3$	$\rho \pi r^2 s$
J_s	$0,4 \text{ m}^2$	$0,5 \text{ m}^2$

- set disk on** ;es wird die Scheibendicke s=1 gesetzt
- Die kleinen Partikel bestimmen den Zeitschritt:

$$\Delta t = \min [(m/k_n)^{0.5}, (J_s/k_{rot})^{0.5}] \quad \text{mit } k_{rot} = r^2 k_s$$

- set dt max=1e-5** ;es wird unabhängig von Partikeln Δt gesetzt

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV03: Explizite FEM 4

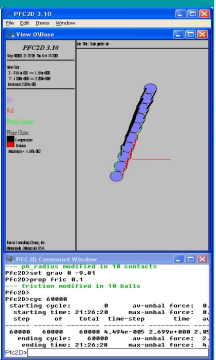
Strukturen: def, loop, command

- title** 'Stab gleitet ab'
- new**
- wall id=1** kn=1e10 ks=1e10 fric=0.0001 node (0,0) (0.6,0.01)

```

def baele
  loop n (1,10)
  y_n=0.05*n*0.2
  command
  ball id n rad 0.10 x 0.1 y y_n
  end_command
end_loop
end
  
```

- baele**
- pl add ball** lblue wall r red pb green pfblack cont black
- pl set size** -0.30 0.60 -1.80 2.20
- pl show**
- prop dens** 1000 kn=2e5 ks=1e5
- prop n_bond** 1e6 s_bond 1e5
- prop pb_n** 1e10 pb_s 1e9 pb_kn 2e10 pb_ks 1e10 pb_r 0.8
- set grav** 0 -9.81
- prop fric** 0.1
- cyc** 60000



Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV03: Explizite FEM 5

Einheiten für poperaty

- n_bond** N Normalbruchkraft
- s_bond** N Scherbruchkraft
- kn** N/m Normalfedersteifigkeit
- ks** N/m Scherfedersteifigkeit
- pb_n** N/m² Normalbruchspannung (parallel bond)
- pb_s** N/m² Scherbruchspannung (" ")
- pb_kn** N/m³ Bettung in Normalen-Richtung (" ")
- pb_ks** N/m³ Bettung in Scher-Richtung (" ")
- pb_r** 0.8 Kontaktfläche 80% des Partikalaradius

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV03: Explizite FEM 6

Elastischer Kontakt mit Gleitreibung

deformation is assumed to occur at contact point only

Linear contact law
 $F_n = k_n \Delta U_n$
 $\Delta F_t = k_t \Delta U_t$

Hertz-Mindlin contact law
 Non-linear relation between force and displacement (for elastic spheres in contact)

Slip condition
 $F_t \leq \mu F_n$ (friction coefficient)

Contact logic

ball id=1 , rad=0.05 & x=0.40 , y=0.80 , hertz

prop kn=1e8 , ks=3e7 ;bei hertz nicht wirksam

prop pois=0.3 , shear=1e5 ;ohne hertz nicht wirksam

prop fric=ny

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrod, LV03: Explizite FEM

Bindungen bis zum Bruch

contact bond
 models adhesion over vanishingly small area of contact point (does not resist moment)
 breaks if normal or shear force exceeds bond strength

parallel bond
 models additional material deposited after balls are in contact (does resist moment)
 breaks if normal or shear stress exceeds bond strength

Bonding logic

prop n_bond=1e6 ;N
prop s_bond=1e5 ;N

prop kn 2e5 ;N/m
prop ks 1e5 ;N/m

prop pb_n=1e10 ;N/m^2
prop pb_s=1e9 ;N/m^2

prop pb_kn=2e10 ;N/m^3
prop pb_ks=1e10 ;N/m^3
prop pb_r=0.8 ;m

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrod, LV03: Explizite FEM

Bewegungen ohne gleiten trotz Verbund

Auch bei Normal- und/oder Scherverbund ist reines rollen möglich

bei 3 Körperkontakten Blockierung, bei 4 eventuell reines rollen möglich

3.10 Rolling without slip at a contact bond

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrod, LV03: Explizite FEM

Clumps, Bildung neuer Partikelgeometrien

State of the system at equilibrium (13 clumps)

```

ball x 0 y 2 rad 1
ball x 2 y 2 rad 1
ball x 4 y 2 rad 1
clump id=1 range y=1,3
ball x 2 y 5 rad 1
ball x 4 y 5 rad 1
ball x 6 y 5 rad 1
clump id=2 range y=4,6
    
```

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrod, LV03: Explizite FEM

Viskoelastischer- und Reib-Kontakt

Ball-Ball **Ball-Wall** **Ball-Ball** **Ball-Wall**

Normal Direction **Shear Direction**

Figure 1.8 Viscous damping activated at a contact with the linear contact model

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrod, LV03: Explizite FEM

Komplexe Kontakt- und Dämpfungsmodelle

Ball-Ball **Ball-Wall** **Ball-Ball** **Ball-Wall**

Normal Direction **Shear Direction**

Figure 2.7 The Burger's model in PFC^{2D}

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrod, LV03: Explizite FEM