

Contact Simulation in

Modal Dynamics Calculations

Diplomarbeit von Katja Schmitzke

Modalanalyse

Eine sehr effiziente Methode zur Lösung von Schwingungsproblemen bei Systemen mit vielen Freiheitsgraden ist die Modalanalyse.

Sie wird verwendet um die n gekoppelten Bewegungsgleichungen eines Systems mithilfe einer geeigneten Koordinatentransformation in n Einzelgleichungen zu überführen. Dafür ist es notwendig, die Eigenfrequenzen und Eigenmoden eines System mit einer Frequenzanalyse zu bestimmen und eine Modalmatrix ϕ einzuführen. Die Einzelschwingungen haben dann die Form:

$$\ddot{\mathbf{x}}_i + (\alpha + \beta\omega_i^2)\dot{\mathbf{x}}_i + \omega_i^2\mathbf{x}_i = \phi_i\mathbf{F}_e(t)$$

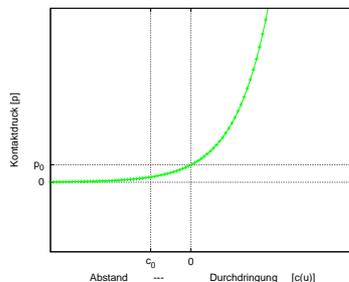
Kontaktformulierung

Der Kontaktalgorithmus in Calculix CrunchiX (CCX) basiert auf dem Penalty Verfahren. Dabei wird die paarweise Interaktion von Oberflächen in Form von nichtlinearen Kontaktfedern realisiert. Das erfordert die Addition eines zusätzlichen "Straf-" Terms Φ_k zur Gleichgewichtsbedingung.

$$\Phi = \Phi_i + \Phi_a + \Phi_k$$

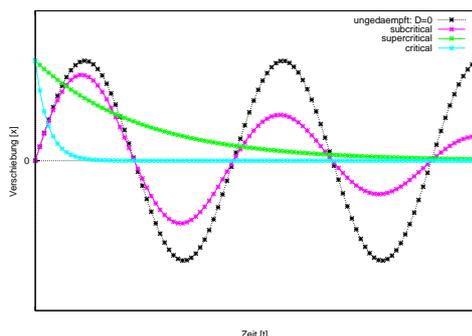
Die Kontaktfeder folgt einer exponentiellen Druck - Durchdringungsbeziehung.

$$p = p_0 e^{-\beta c(u)}$$



Implementierung in CCX

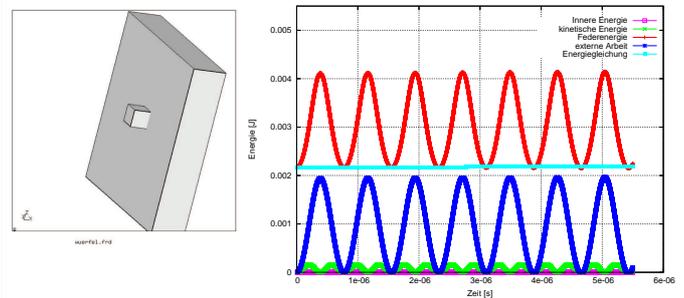
Die fremderregte, gedämpfte Bewegungsgleichung mit der linearisierten rechten Seite wird mit Hilfe der Modalanalyse für 3 verschiedene Schwingungsarten (für $D \geq 0$) und der Starrkörperbewegung ($\omega_i = 0$) gelöst.



Numerische Stabilitätskriterien

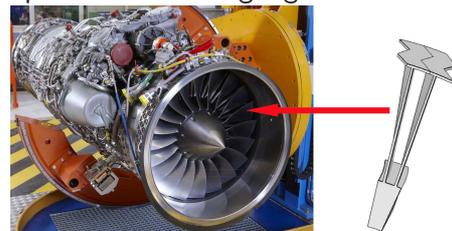
Im Kontaktfall werden die nach dem konstitutiven Gesetz auftretenden Kontaktkräfte in resultierende Knotenkräfte umgerechnet und zur rechten Seite hinzuaddiert. Für die numerische Stabilität spielt die Zeitschrittweite eine entscheidende Rolle. Mithilfe eines geeigneten Kriteriums kann die Zeitschrittweite reguliert und Energieerhaltung gewährleistet werden.

Beispiel: Würfel trifft auf eine harte Oberfläche



Anwendung: Auslegung einer Laufschaufel

Die Frequenzabstimmung von Bauteilen einer Turbine ist von wesentlicher Bedeutung. Auslegungsziel ist es, den Betriebsbereich von kritischen Resonanzen freizuhalten. An den Stellen wo sich zwei Laufschaufeln berühren können, müssen deshalb adäquate Randbedingungen definiert werden.



Mode-nummer	Eigenfrequenzen Kontaktrechnung in [Hz]	Eigenfrequenzen MPC-Rechnung in [Hz]
1	200	1300
2	1090	1300
3	1300	1900
4	1400	1900
5	1900	3290

Mit Kontakttrandbedingungen werden die unteren Eigenmoden nicht behindert. Diese Art der Frequenzrechnung ist realitätsnah und sollte bei der Auslegung von Triebwerkskomponenten die zu steifen Multiple-Point-Constraints -Randbedingungen (MPC) ersetzen.