



## 4.3 Kontaktprobleme



Bei dem Zusammentreffen mehrere Körper müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden:

- Stoßeffekte
- Grenzflächendeformationen
- Reibung in den Kontaktflächen mit Gleiten und/ oder Haften
- Trennung der sich berührenden Körper
- Größe/Lage der Kontaktfläche im Vorfeld oft nicht bekannt

Erfassung des Kontaktes über Nebenbedingung in der FE-Gleichung



Exemplarisch:

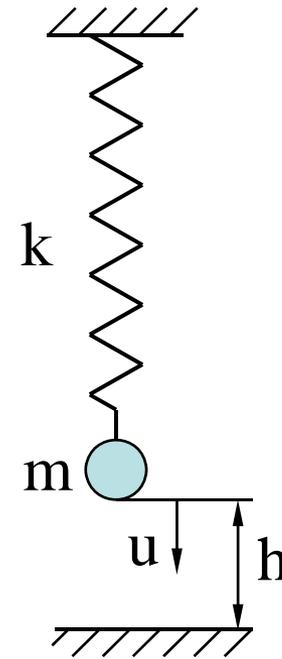
Gesamtpotential:  $\Pi(u) = \underbrace{\frac{1}{2}ku^2}_{\Pi_i} - \underbrace{mgu}_{\Pi_a}$

$\Pi_i$  = inneres Potential

$\Pi_a$  = äußeres Potential  
(negative äußere Arbeit)

Kontaktrandbedingung:  $c(u) = h - u \geq 0$

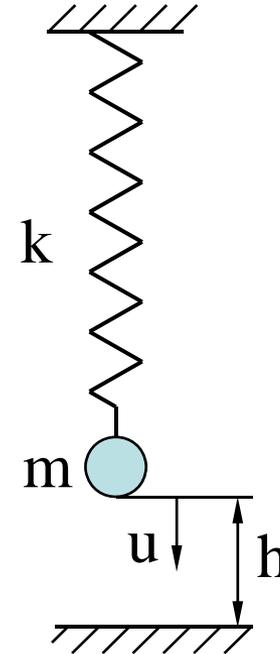
Wenn  $c(u) = 0 \rightarrow$  Reaktionskraft  $R$



Gesamtpotential: (erweitert)

$$\Pi(u, \lambda) = \frac{1}{2}ku^2 - mgu + \lambda c(u)$$

➔ Einbau der Kontakt-RB  
 $c(u) = h - u = 0$  mittels sog.  
**LAGRANGE-Multiplikator**



Stationarität:

$$\frac{\partial \Pi(u, \lambda)}{\partial u} \stackrel{!}{=} 0 = ku - mg - \lambda \quad (\text{Gleichgewicht})$$

$$\frac{\partial \Pi(u, \lambda)}{\partial \lambda} \stackrel{!}{=} 0 = c(u) \quad (\text{Kontakt-RB})$$

➔ **LAGRANGE-Multiplikator**  
entspricht der Reaktionskraft

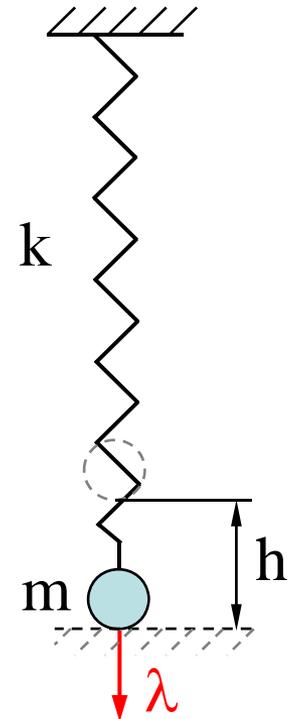
$$\lambda = ku - mg = R$$

- Nachteil: LAGRANGE-Multiplikatoren = zusätzliche Freiheitsgrade (Knotenkräfte)

➔ größeres Gleichungssystem

- Vorteil: Keine Durchdringung, lediglich Vorgabe einer zulässigen Mindesteindringtiefe für Kontaktfeststellung (FTOLN)

- Festlegen einer minimal zulässigen Zugspannung (TNOP) zum Detektieren von gelöstem Kontakt

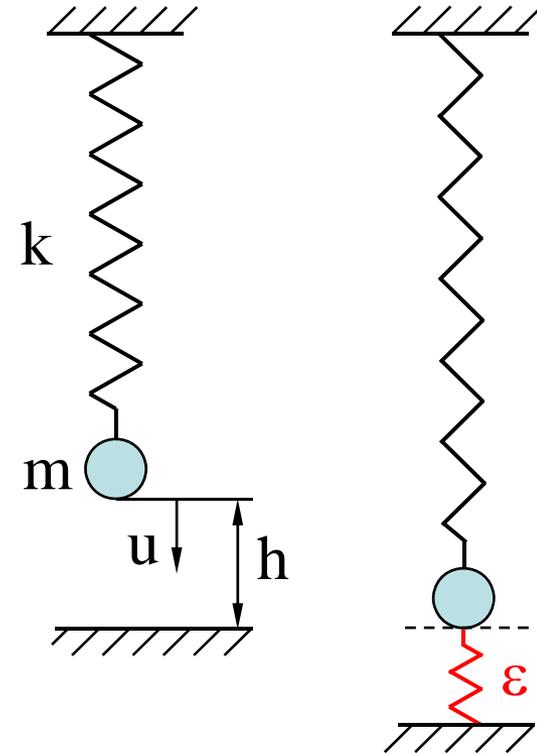


Ansatz: Darstellung des Kontaktes  
mit Hilfe einer Kontaktfeder

Federsteifigkeit  $\varepsilon =$   
Kontaktsteifigkeit

Potential:

$$\Pi(u) = \frac{1}{2}ku^2 - mgu + \underbrace{\frac{1}{2}\varepsilon [c(u)]^2}_{\text{"Strafterm"}}$$



Einführung eines „Straf“-Termes (=„Penalty“) in Form des  
(Kontakt-) Federpotentials (wenn Kontakt vorliegt)





## Stationarität:

$$\frac{\partial \Pi(u)}{\partial u} \stackrel{!}{=} 0 = ku - mg - \varepsilon c(u)$$

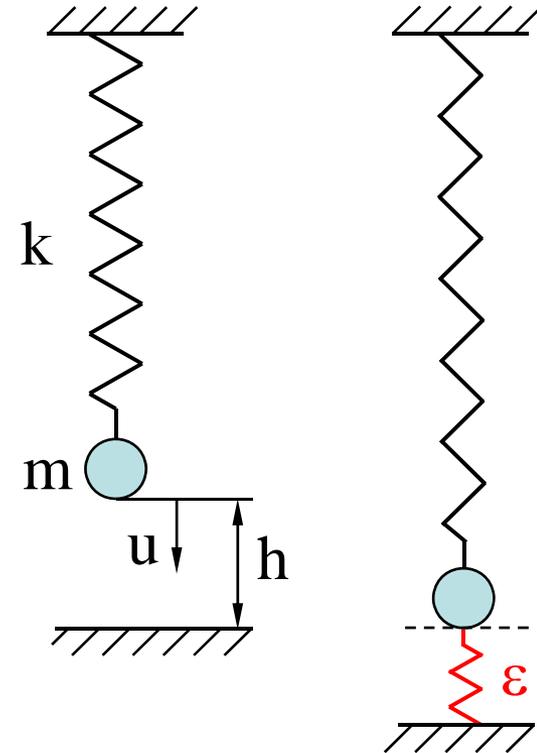
$$\Rightarrow u = \frac{mg + \varepsilon h}{k + \varepsilon}$$

$$\Rightarrow c(u) = \frac{hk - mg}{k + \varepsilon}$$

Erfüllung der Nebenbedingung nur,

wenn  $\varepsilon \rightarrow \infty$  d.h. wenn  $c(u) = h - u = 0$

$$\Rightarrow \text{Reaktionskraft: } R = \varepsilon c(u) = \frac{\varepsilon}{k + \varepsilon} (hk - mg)$$



- Problematisch: Wahl der Kontaktsteifigkeit (FKN, FKS)

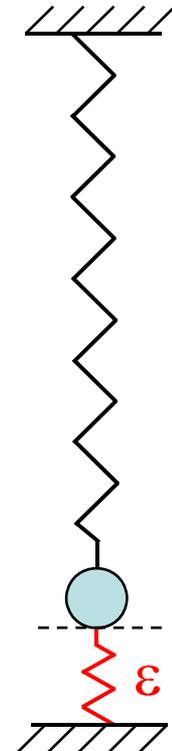
## Hohe Kontaktsteifigkeit

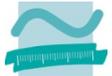
➔ Realistischer Kontakt (geringe Durchdringung)  
aber: schlechte Konvergenz

## Niedrige Kontaktsteifigkeit

➔ große Durchdringungen  
aber: gute Konvergenz

- Nachteil: Kontakt nur näherungsweise erfüllt  
(Durchdringung nur bedingt kontrollierbar)
- Vorteil: Gleichungssystem behält ursprüngliche Größe





## Kontaktalgorithmen zur Lösung von Kontaktproblemen: (numerische Umsetzung in kommerziellen FE-Programmen)

- Penalty-Verfahren (Pure Penalty Method)
- LAGRANGE-Multiplikator-Verfahren (LAGRANGE-Multiplier-Method)
- Augmented LAGRANGE-Verfahren (ANSYS = Default)

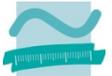
➡ iterative Folge von Penalty-Verfahren

➡ Reduzierung der Durchdringung durch Anpassung der Kontaktkräfte während der Iteration

➡ geringere Empfindlichkeit bzgl. der Kontaktsteifigkeit

+ abgewandelte Verfahren



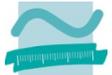


Einführung von **Kontaktelementen** (Kontaktpaare) zur Modellierung der Grenzflächen

Unterscheidung:

- **Node-to-node** Kontaktpaare
  - Wenn relativ genau absehbar ist, an welchen Punkten (Knoten) Kontakt auftritt
  - Annähernd gleiche Netzeinteilung beider Kontaktflächen erforderlich
  - nur geringe Gleitbewegung zulässig
  - ANSYS-Element: **CONTA178**





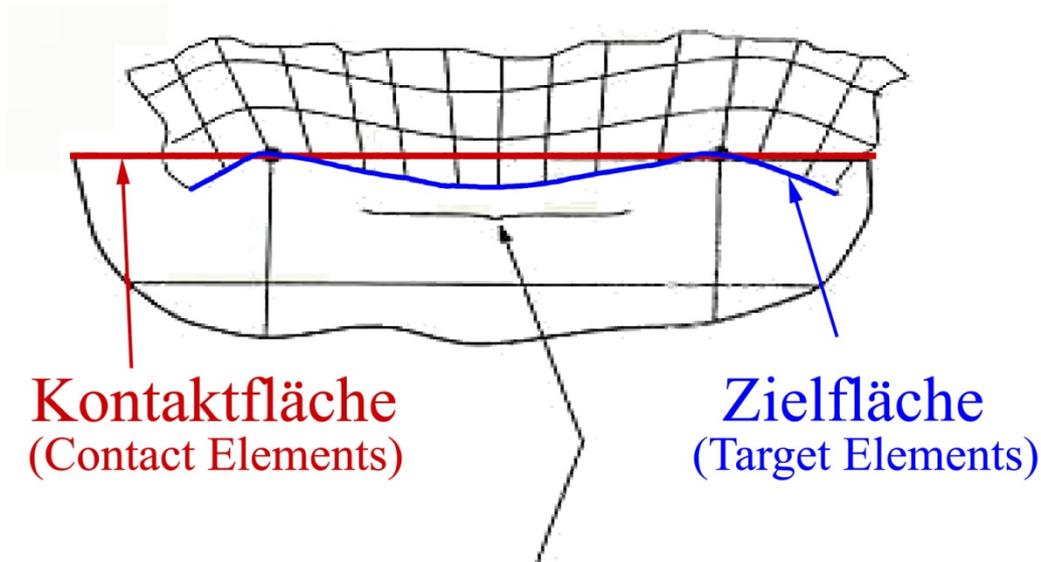
- **Node-to-surface** Kontaktpaare
  - Wenn nur einseitig relativ genau absehbar ist, an welchen Punkten (Knoten) Kontakt auftritt (z.B. Kontakt an Ecken)
- **Surface-to-surface** Kontaktpaare
  - Allgemeinste Form der Kontaktmodellierung

In beiden Fällen gilt:

- Netzeinteilung kann unterschiedlich sein
- Große Geitbewegungen möglich / erlaubt
- Definition von Kontaktfläche (contact surface) und Zielfläche (target surface) erforderlich



- Der Kontaktstatus wird stets an den Kontaktelementen überprüft

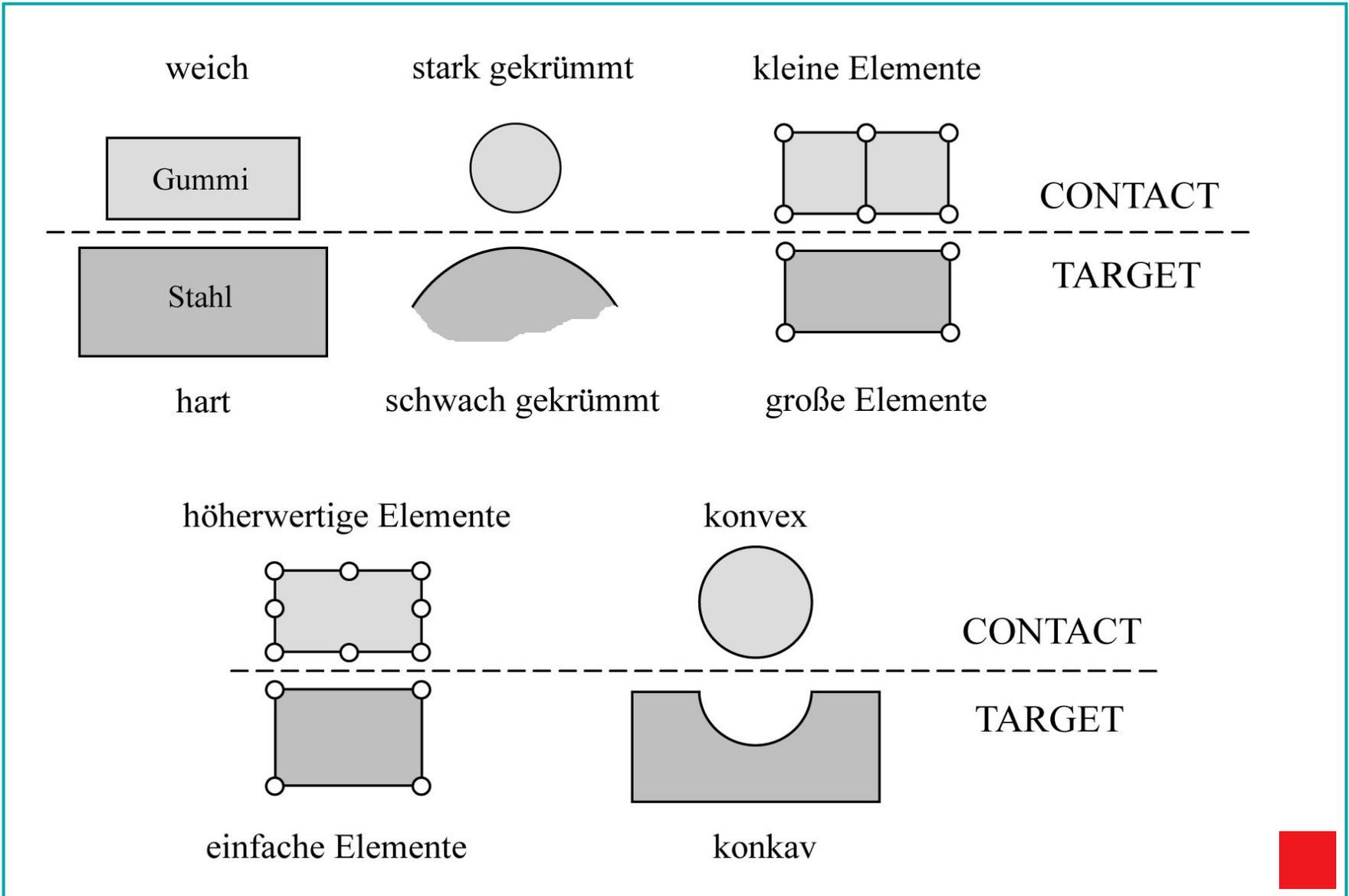
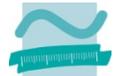


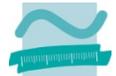
hier keine Kontrolle des Kontaktstatus

➔ Daher: stets die härtere (steifere) der beiden Oberflächen mit Target-Elementen überziehen



# Kontakt- und Zielfläche (Hinweise)





- **Node-to-surface:**

CONTA175 + TARGE169 (2D)

CONTA175 + TARGE170 (3D)

- **Surface-to-surface**

CONTA171 + TARGE169 (2D)

CONTA173 + TARGE170 (3D)

} Lineare Elemente  
(ohne Zwischenknoten)

CONTA172 + TARGE169 (2D)

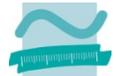
CONTA174 + TARGE170 (3D)

} Quadratische Elemente  
(mit Zwischenknoten)

- **Node-to-node:**

CONTA178 (2D und 3D)

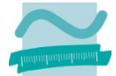




## Exemplarisch für node-to-surface und surface-to-surface:

- Modellgenerierung und Vernetzung der Bauteile wie bisher
- Identifikation der möglichen Kontaktflächen
- Festlegen von Target- und Kontaktfläche
- Auswählen von Elementtypen (TARGE und CONTA) mit entsprechenden Real Constants (z.B. Reibwerte)
- Randbedingungen definieren (wie bisher)
- Lösungsoptionen und Lastschritte festlegen
- Lösen (SOLVE)
- Ergebnisdarstellung (Postprozessing)





- Klassisches COULOMBSches Reibgesetz

$$F_R = \mu F_N$$

⇒ Reibwert erforderlich (über Material properties)

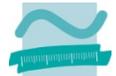
- Erweiterungen (u.a.)

➤ FACT ⇒ Faktor zwischen Haft- und Gleitreibwert

➤ TAUMAX ⇒ Gleiten auch bei großer Normalkraft  $F_N$   
(TAUMAX = maximale Haftkraft)

➤ COHE ⇒ Haften auch bei  $F_N = 0$  (Kohäsion)





- Erzeugung der Kontaktelemente möglich über ...
  - Contact Manager (Contact Wizard)
    - ➡ Modeling > Create > Contact Pair
  - ESURF-Kommando
    - ➡ Elemente auf selektierten Oberflächen generieren
- Kontaktfeststellung bei ...
  - surface-to-surface ➡ an den GAUSS-Punkten  
(Umstellung möglich)
  - node-to-surface ➡ an den entsprechenden Knoten

