



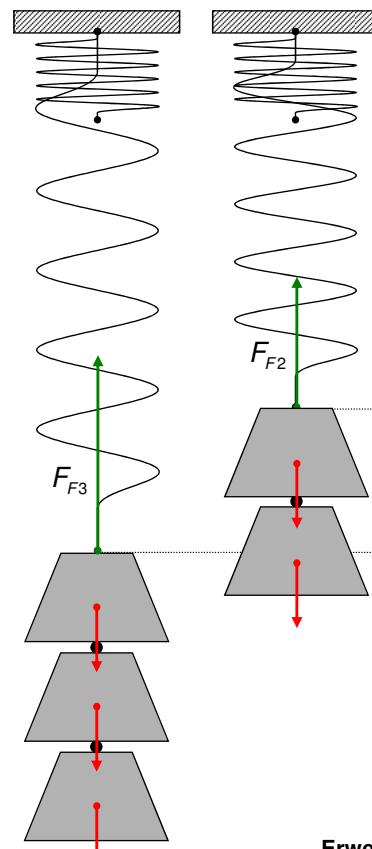
Hooksches Gesetz und Reibung

Bildquelle: Wikipedia

Lernziele

- Sie können ohne Hilfsmittel das Gesetz von Hook formulieren.
- Sie können für Ihre Anwendung entscheiden, ob Gleit- oder Haftreibung zu modellieren ist und die Modelle anwenden.

Ursache von Formänderungen



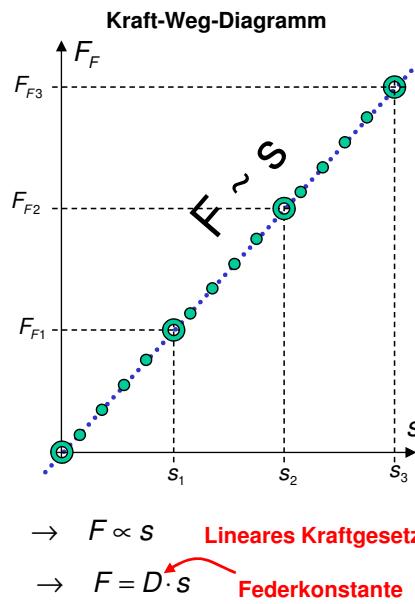
Ursache von Formänderungen

Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Längenänderung einer Feder und der wirkenden Kraft?

Welche geometrische Bedeutung hat die Federkonstante im Diagramm?

Kräfte weisen Vektoreigenschaften auf.

Wie ist der Zusammenhang zwischen der vektoriellen Kraft \vec{F} und der gerichteten Steckung \vec{s} einer Feder?



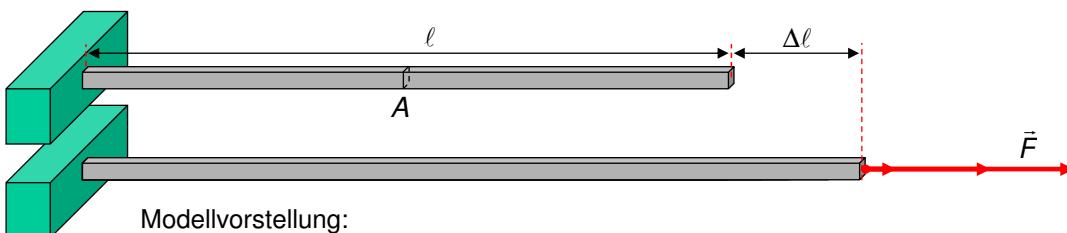
Erweiterung des Kraftbegriffes:

Kräfte sind Ursachen für Beschleunigungen und Formänderungen!

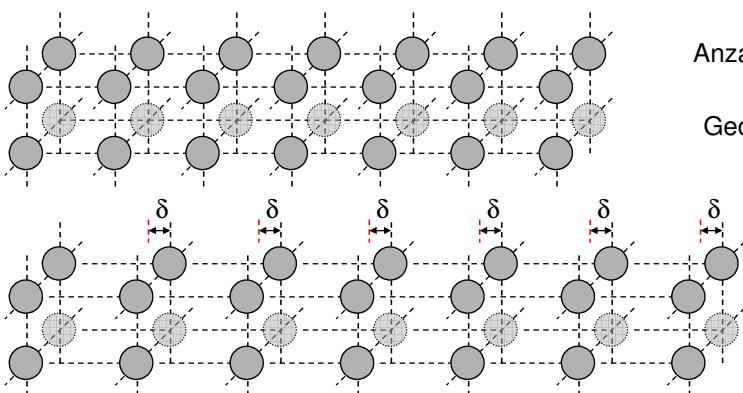
© BöJ

Hooke'sches Gesetz

Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Zugkraft und der Längenänderung bei einem langen dünnen Stab?



Modellvorstellung:



Anzahl Abstände: $N \rightarrow N \propto l$

Geometrie: $\Delta l = N \cdot \delta \rightarrow \Delta l \propto l$

Experimentelle Feststellung:

$$\Delta l \propto F \quad \text{und} \quad \Delta l \propto \frac{1}{A}$$

$$\rightarrow \Delta l \propto l \cdot \frac{F}{A}$$

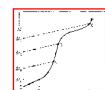
$$\rightarrow \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{A}$$

ε relative Längenänderung

Elastizitätsmodul

$$\rightarrow \varepsilon \cdot E = \sigma \quad \text{Hooke'sches Gesetz}$$

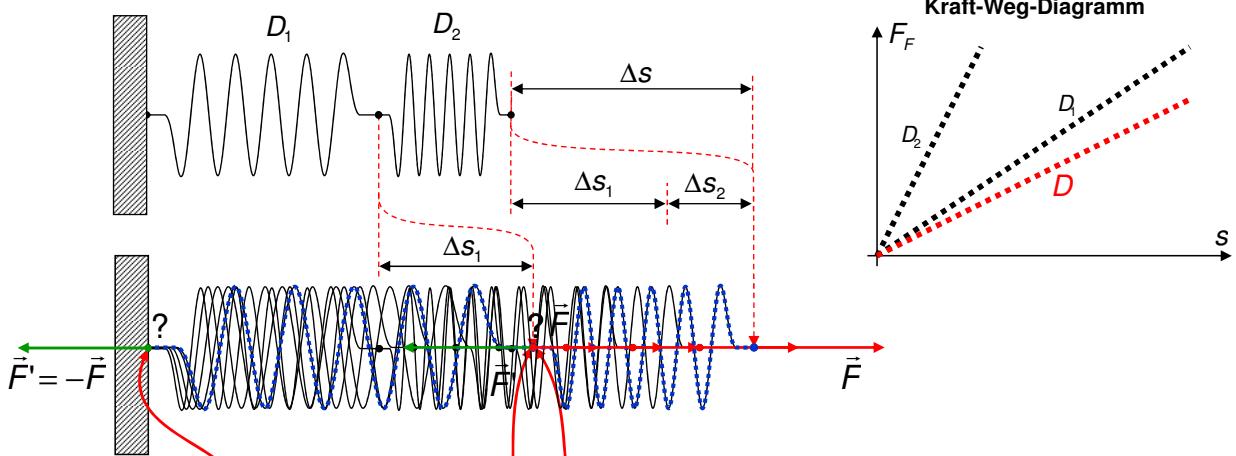
Hooke'sches Gesetz



© BöJ

Kombinationen von Federn

Wie wirkt sich die Kombinationen von Federn auf die Spannungs-Dehnungscharakteristik bei in Serie geschalteten Federn aus?



Berechnung der Ersatzfederkonstante bei Serieschaltung

$$\text{actio} = \text{reactio} \rightarrow \vec{F}' = -\vec{F} \quad \text{Federgesetz: } F = D_1 \cdot \Delta s_1 \quad \text{und} \quad F = D_2 \cdot \Delta s_2$$

Geometrie: $\Delta s_1 + \Delta s_2 = \Delta s$

$$\frac{F}{D_1} + \frac{F}{D_2} = \frac{F}{D}$$

$$\rightarrow \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} = \frac{1}{D}$$

$$D = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 + D_2} = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_2 \cdot (1 + \frac{D_1}{D_2})} < D_1$$

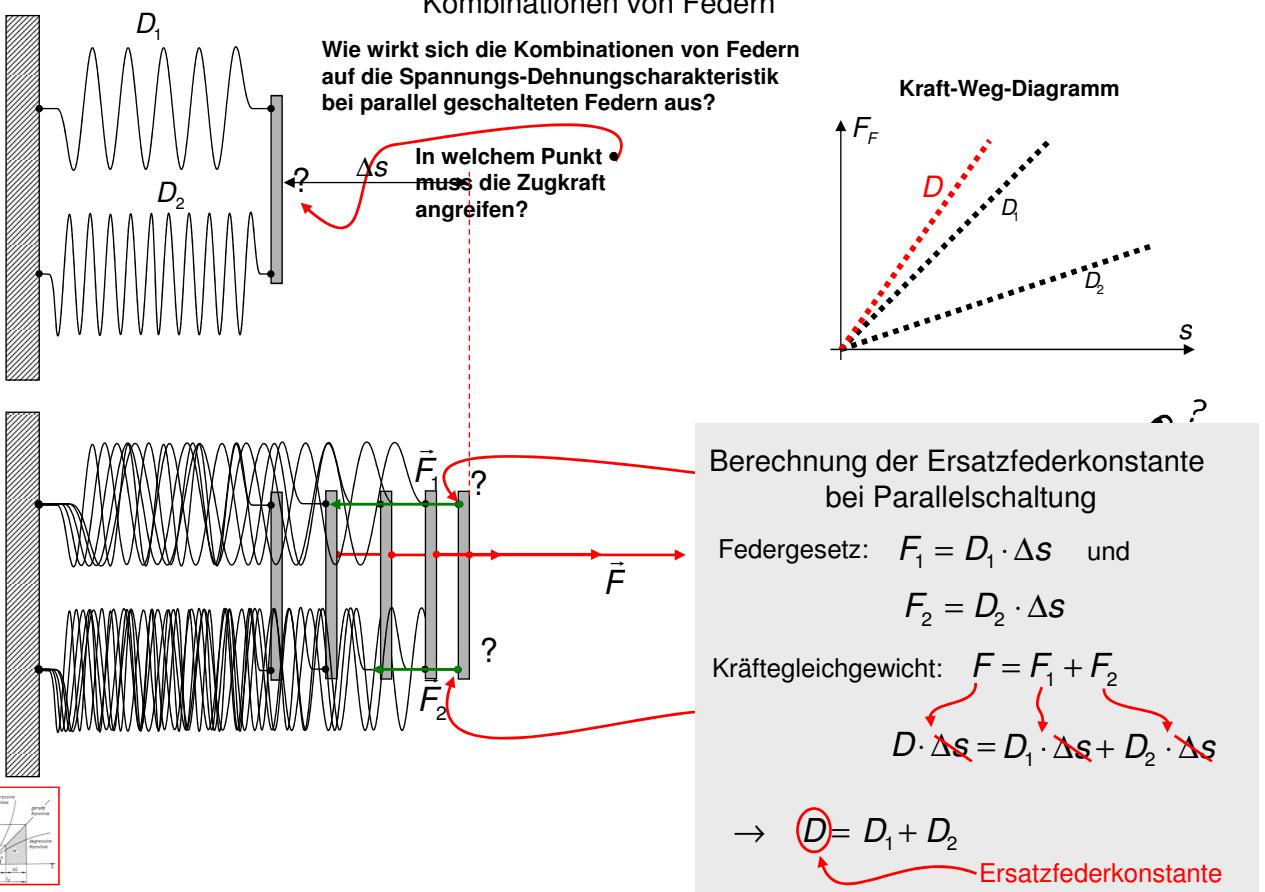
Ersatzfederkonstante

Kombination von Federn, Serieschaltung

© BöJ

Kombinationen von Federn

Wie wirkt sich die Kombinationen von Federn auf die Spannungs-Dehnungscharakteristik bei parallel geschalteten Federn aus?



Berechnung der Ersatzfederkonstante bei Parallelschaltung

$$\text{Federgesetz: } F_1 = D_1 \cdot \Delta s \quad \text{und}$$

$$F_2 = D_2 \cdot \Delta s$$

$$\text{Kräftegleichgewicht: } F = F_1 + F_2$$

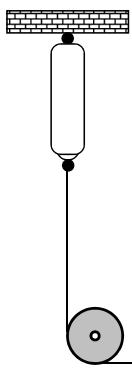
$$D \cdot \Delta s = D_1 \cdot \Delta s + D_2 \cdot \Delta s$$

$$\rightarrow D = D_1 + D_2$$

Ersatzfederkonstante

Kombination von Federn, Parallelschaltung

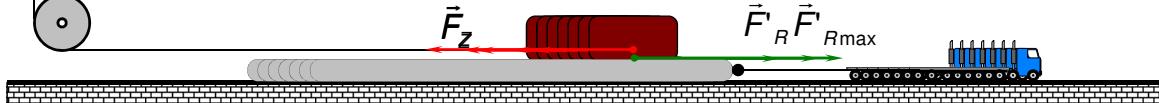
© BöJ



Analysen zur Haftreibungskraft

Die Ursache für die Haftreibung bei Festkörpern liegt einerseits in der Struktur der Berührungsflächen und andererseits in der Art der Wechselwirkung zwischen den in diesem Bereich liegenden Atomen.

Worin liegt die Ursache der Haftreibung?



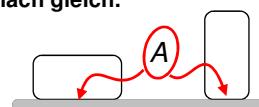
Experimentelle Feststellung:

Die Haftreibungskraft \vec{F}_R ist der zur Auflagefläche parallelen Zugkraft \vec{F}_Z entgegengerichtet und bis zu einem maximal möglichen Wert $\vec{F}_{R\max}$ dieser dem Betrage nach gleich.

$$\rightarrow \vec{F}_R = \vec{F}_Z \quad \text{im Wertebereich}$$

$$0 \leq F_Z \leq F_{Z\max} = F_{R\max}$$

Der Maximalwert der Haftreibungskraft hängt nicht von der Grösse der Auflagefläche ab!



$$\rightarrow F_{R\max} \neq f(A) \\ (\text{Gilt für starre Körper!})$$

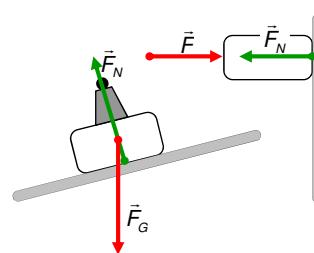
Die maximale Haftreibungskraft ist proportional zur Normalkraft.

$$\rightarrow F_{R\max} \propto F_N$$

Der Proportionalitätsfaktor wird als Haftreibungskoeffizient bezeichnet.

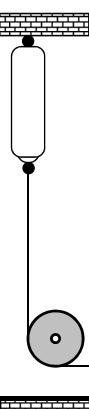
$$\rightarrow F_{R\max} = \mu \cdot F_N$$

Haftreibungskoeffizient



Analysen zur Haftreibungskraft

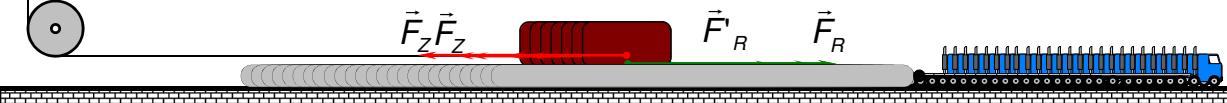
© BöJ



Analysen zur Gleitreibungskraft

Die massgeblichen Ursachen bei der Gleitreibung bei Festkörpern sind gleich wie jene bei der Haftreibung.

Worin liegt die Ursache der Gleitreibung?



Experimentelle Feststellung:

Die Gleitreibungskraft \vec{F}_R ist der zur Auflagefläche parallelen Bewegungsrichtung entgegengesetzt.

$$\rightarrow \vec{F}_R \uparrow \downarrow \vec{v}$$

Die Gleitreibungskraft hängt nicht von der Grösse der Auflagefläche ab!

$$\rightarrow F_R \neq f(A)$$

(Gilt für starre Körper!)

Die Gleitreibungskraft hängt nicht von der Geschwindigkeit ab!

$$\rightarrow F_R \neq f(v)$$

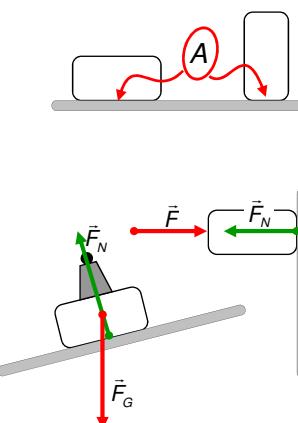
Die Gleitreibungskraft ist proportional zur Normalkraft.

$$\rightarrow F_R \propto F_N$$

Der Proportionalitätsfaktor wird als Gleitreibungskoeffizient bezeichnet.

$$\rightarrow F_R = \mu \cdot F_N$$

Gleitreibungskoeffizient

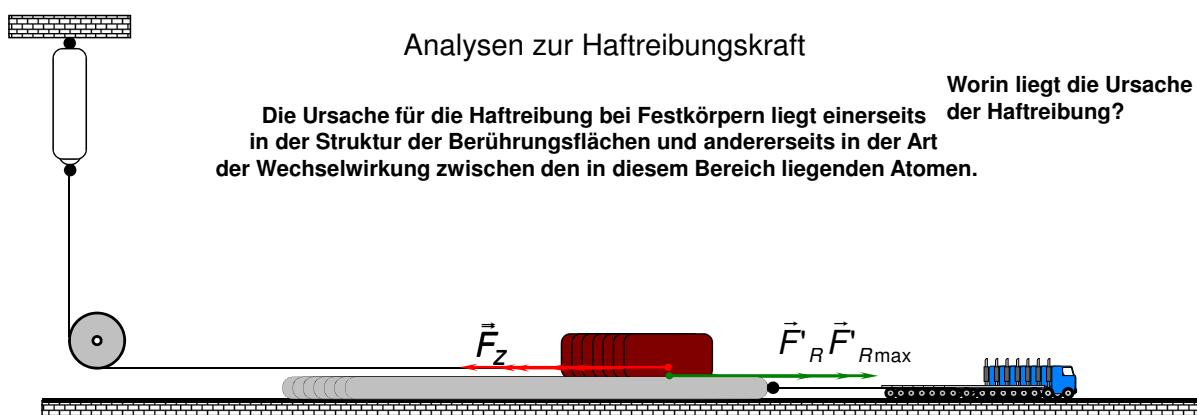


Analysen zur Gleitreibungskraft

© BöJ

Lernziele

- Sie können eine Erklärung für die Entstehung von Reibung geben.
- Sie können die Kräftediagramme eines ruhenden Beobachter auf die Situation für einen bewegten Beobachter und umgekehrt umrechnen.



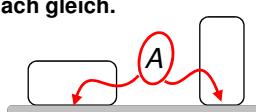
Experimentelle Feststellung:

Die Haftreibungskraft \vec{F}_R ist der zur Auflagefläche parallelen Zugkraft \vec{F}_Z entgegengerichtet und bis zu einem maximal möglichen Wert $\vec{F}_{R\max}$ dieser dem Betrage nach gleich.

$$\rightarrow \vec{F}_R = \vec{F}_Z \quad \text{im Wertebereich}$$

$$0 \leq F_Z \leq F_{Z\max} = F_{R\max}$$

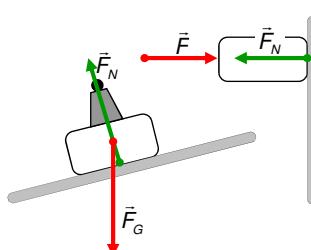
Der Maximalwert der Haftreibungskraft hängt nicht von der Grösse der Auflagefläche ab!



$$\rightarrow F_{R\max} \neq f(A) \quad (\text{Gilt für starre Körper!})$$

Die maximale Haftreibungskraft ist proportional zur Normalkraft.

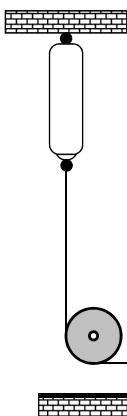
Der Proportionalitätsfaktor wird als Haftreibungskoeffizient bezeichnet.



$$\rightarrow F_{R\max} \propto F_N$$

$$\rightarrow F_{R\max} = \mu' F_N$$

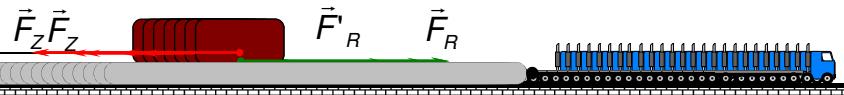
Haftreibungskoeffizient



Analysen zur Gleitreibungskraft

Die massgeblichen Ursachen bei der Gleitreibung bei Festkörpern sind gleich wie jene bei der Hafreibung.

Worin liegt die Ursache der Gleitreibung?



Experimentelle Feststellung:

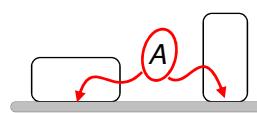
Die Gleitreibungskraft \vec{F}_R ist der zur Auflagefläche parallelen Bewegungsrichtung entgegengesetzt.

$$\rightarrow \vec{F}_R \uparrow \downarrow \vec{v}$$

Die Gleitreibungskraft hängt nicht von der Größe der Auflagefläche ab!

$$\rightarrow F_R = f(A)$$

(Gilt für starre Körper!)



Die Gleitreibungskraft hängt nicht von der Geschwindigkeit ab!

$$\rightarrow F_R = f(v)$$

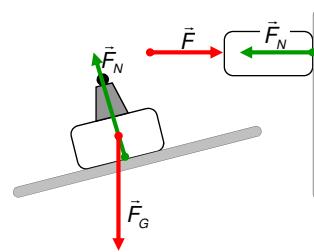
Die Gleitreibungskraft ist proportional zur Normalkraft.

$$\rightarrow F_R \propto F_N$$

Der Proportionalitätsfaktor wird als Gleitreibungskoeffizient bezeichnet.

$$\rightarrow F_R = \mu \cdot F_N$$

Gleitreibungskoeffizient



Analysen zur Gleitreibungskraft

© BöJ

Rollreibung

Wodurch kommt die Rollreibung zustande?

Die Rollreibung oder der Rollwiderstand ist eine Folge der beim Abrollen auftretenden Verformungen von Rädern und Unterlage.



Verformung der Unterlage

Verformung des Rades

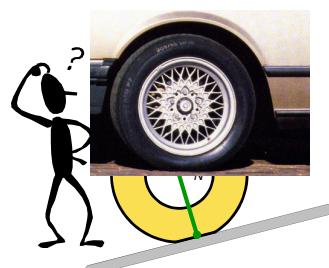
geringe Verformung der Unterlage und Rades

z.B. fahren im Schnee



Die Rollreibung ist proportional zur Normalkraft

z.B. Auto auf Asphalt



Der Proportionalitätsfaktor wird als Rollreibungskoeffizient bezeichnet.

z.B. Eisenbahn



→

$$\rightarrow F_R = \mu_{RR} \cdot F_N$$

Rollreibungskoeffizient

Rollreibung

© BöJ

Reibungskoeffizienten

Stoffpaare	μ_h	μ_g
Stahl/Stahl	0.75	0.5
Eisen/Eisen	1.10	0.4
Aluminium/Aluminium	1.05	1.04
Nickel/Nickel	1.6	0.7
Kupfer/Stahl	0.53	0.36
Blei/Stahl	0.95	0.95
Stahl/Aluminium	0.61	0.47
Glas/Glas	0.94	0.4
Holz/Holz*	0.6	0.4
Teflon/Teflon	0.04	0.04
Eis/Eis	0.1	0.03
Stahl/Glas	0.6	0.1
Messing/Holz	0.65	0.6
Stahl/Eis	0.3	0.1
Holz/Eis	0.4	0.1
Teflon/Eis	0.1	0.05
Gummi/trockener Asphalt	0.9	0.8
Gummi/nasser Asphalt	0.5	0.4
Gummi/Eis	0.05	0.05
Beton/Beton	0.8	0.7
Sandpapier/Sandpapier	1–5	0.5–3

* abhängig von der Faserrichtung

Reibungskoeffizienten

(Bergmann Schäfer)

© BöJ

Atomares Bild der Reibung

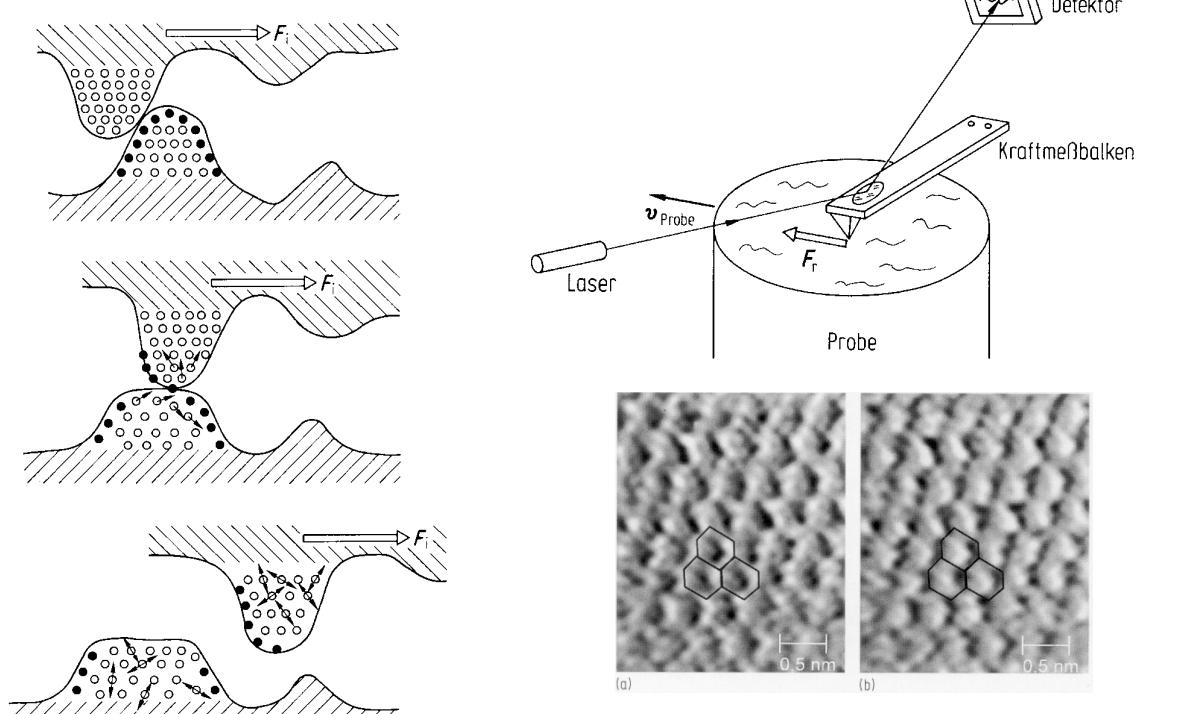
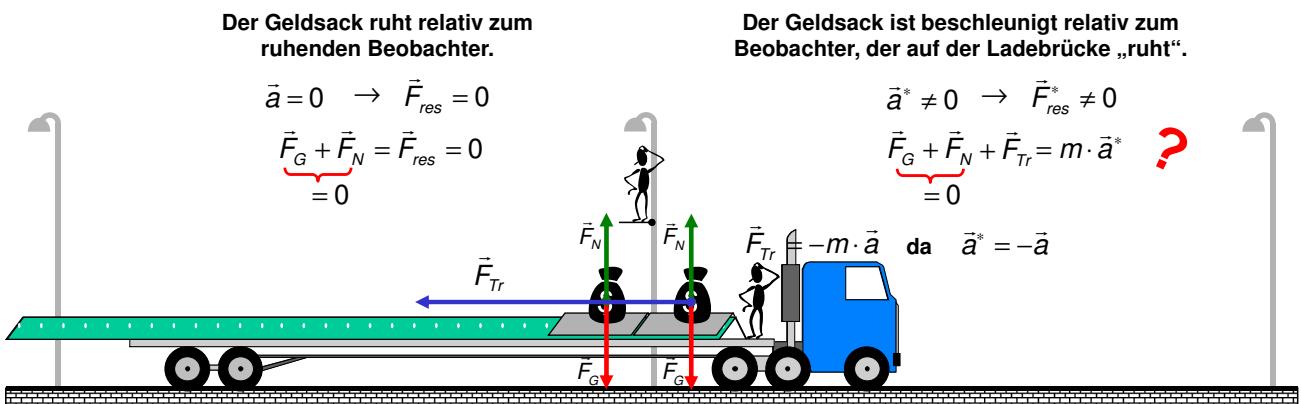
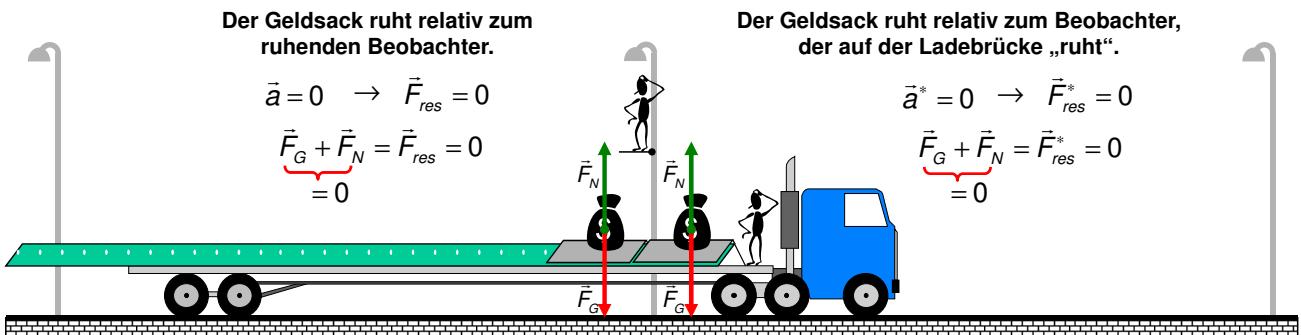


Abb. 12.16 Mit der Anordnung aus Abb. 12.15 aufgenommene Bilder einer Glimmeroberfläche mit atomarer Auflösung. (a) Oberflächenstruktur mit eingezeichneten Elementarzellen; Profiltiefe 0.25 nm; Höhen hell, Tiefen dunkel. (b) Struktur der Reibungskräfte bei einem Auflagedruck der Spitze von $5 \cdot 10^{-9}$ N; große Kräfte hell, kleine Kräfte dunkel; Grauskalabereich $5 \cdot 10^{-10}$ N (Photos: O. Marti, Konstanz).

Überlegungen zur Kräftesituation in beschleunigten Bezugssystemen



Überlegungen zur Kräftesituation in beschleunigten Bezugssystemen

© BöJ

Prinzip von D'Alembert

Prinzip von D'Alembert

In Bezug auf ein mit einem beschleunigten Körper mitbewegten Bezugssystem befindet sich dieser in Ruhe. Die vektorielle Summe aller am Körper angreifenden Kräfte einschließlich der Trägheitskraft ist also stets gleich Null.

Prinzip von D'Alembert

$\ddot{a} = 0 \rightarrow \vec{F}_{res} = 0$	$\ddot{a}^* = 0 \rightarrow \vec{F}_{res}^* = 0$	$\ddot{a} \neq 0 \rightarrow \vec{F}_{res} \neq 0$
$\vec{F}_G + \vec{F}_F = \vec{F}_{res} = 0$	$\vec{F}_G + \vec{F}_F = \vec{F}_{res}^* = 0$	$\vec{F}_G + \vec{F}_F = \vec{F}_{res} = m \cdot \ddot{a}$
$= 0$	$= 0$	$\neq 0$
Die Kugel ruht relativ zum ruhenden Beobachter.	Die Kugel „ruht“ relativ zum Beobachter im ruhenden Lift.	Die Kugel ist beschleunigt relativ zum ruhenden Beobachter.

Prinzip von D'Alembert

© BöJ