

1 Massenpunkt

$$\vec{F} = \dot{\vec{p}}$$

Kraftstoß

Arbeit

$$\int_{t_1}^{t_2} dt \vec{F}(t) = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \Delta \vec{p}$$

$$\int_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2} d\vec{s} \cdot \vec{F}(\vec{s}) = E_2 - E_1 = \Delta E$$



$$\vec{p} = m \vec{v} \quad \text{Impuls}$$

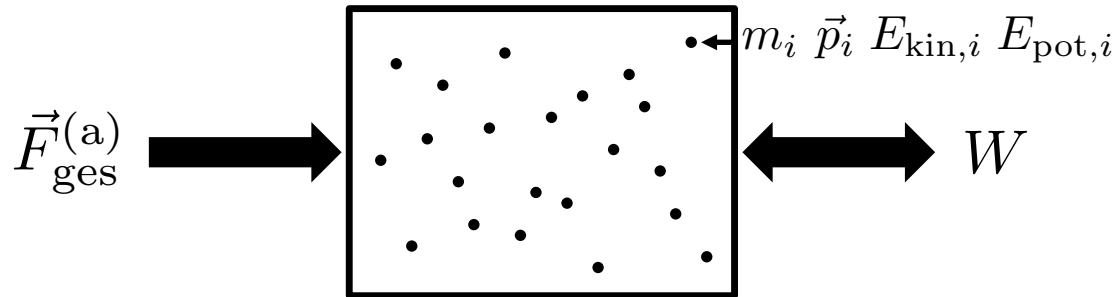


$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{kinetische Energie}$$

$$E_{\text{pot}} = \begin{cases} m g z & \vec{F}_{\text{G}} = -m \vec{g} \\ \frac{1}{2} k s^2 & \vec{F}_{\text{el}} = -k \vec{s} \end{cases}$$

potentielle Energie

System von Massenpunkten



$$\vec{p}_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i$$

Impulssatz

offenes
System

$$\vec{F}_{\text{ges}}^{(a)} = \dot{\vec{p}}_{\text{ges}}$$

Impulserhaltung

abge-
schlossenes
System

$$\vec{F}_{\text{ges}}^{(a)} = 0 \quad \curvearrowright \quad \vec{p}_{\text{ges}} = \text{konst.}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{ges}}^{\text{mech}} &= E_{\text{kin,ges}} + E_{\text{pot,ges}} \\
 &= \sum_{i=1}^N E_{\text{kin},i} + \sum_{i=1}^N E_{\text{pot},i}
 \end{aligned}$$

Energiesatz (Mechanik)

$$W = \Delta E_{\text{ges}}^{\text{mech}}$$

Energieerhaltung (Mechanik)

$$W = 0 \quad \curvearrowright \quad E_{\text{ges}}^{\text{mech}} = \text{konst.}$$

Kraftstoß



$$m = 0.058 \text{ kg}$$

$$v \approx 200 \text{ km/h} = 55.6 \text{ m/s}$$

$$\Delta t \approx 0.003 \text{ s}$$

$$\hookrightarrow \langle F \rangle = \frac{m v}{\Delta t} \approx 1075 \text{ N}$$

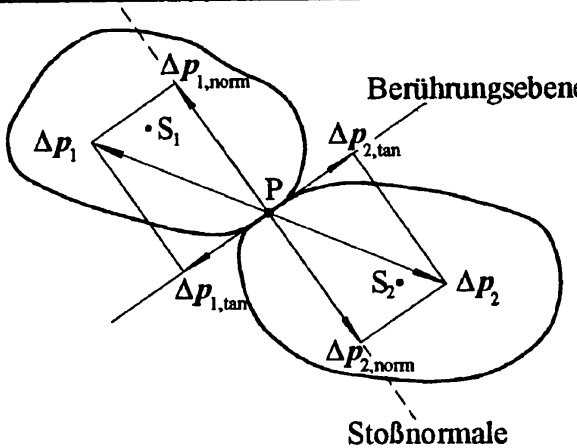
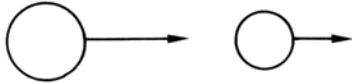
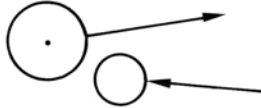
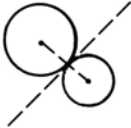
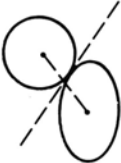
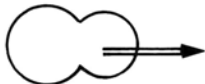
		Im Berührungspunkt P der beiden Stoßpartner lässt sich eine <i>Berührungsebene</i> (Tangentialebene) und senkrecht darauf die <i>Stoßnormale</i> konstruieren. Ohne äußere Kräfte gilt für die Impulsänderungen (Kraftstöße) der beiden Stoßpartner: $\Delta \mathbf{p}_1 = \int \mathbf{F}_{21} dt = -\Delta \mathbf{p}_2 = \int \mathbf{F}_{12} dt$ Entsprechend gilt für die Komponenten: $\Delta \mathbf{p}_{1,tan} = -\Delta \mathbf{p}_{2,tan} \text{ und } \Delta \mathbf{p}_{1,norm} = -\Delta \mathbf{p}_{2,norm}$	
glatter Stoß	$\Delta \mathbf{p}_{1,tan} = \Delta \mathbf{p}_{2,tan} = 0$, tritt auf, wenn im Berührungspunkt keine Reibungskraft wirksam wird	Reibung	nein
rauer Stoß	$\Delta \mathbf{p}_{1,tan} = -\Delta \mathbf{p}_{2,tan} \neq 0$, im Berührungspunkt wirkt eine Reibungskraft		ja
zentraler Stoß	Die Wirkungslinie der Kraftstöße $\Delta \mathbf{p}$ geht durch die beiden Schwerpunkte S_1 und S_2 . Die Stoßpartner werden durch den Stoßvorgang nicht in Rotation versetzt. Homogene, glatte Kugeln stoßen stets zentral	Rotation	nein
exzentrischer (nicht zentraler) Stoß	Die Wirkungslinie der Kraftstöße $\Delta \mathbf{p}$ geht nicht durch die beiden Schwerpunkte S_1 und S_2 ; mindestens einer der Stoßpartner wird durch den Stoßvorgang in Rotation versetzt		ja
gerader Stoß	Die Geschwindigkeiten $\mathbf{v}_1$ und $\mathbf{v}_2$ der beiden Schwerpunkte S_1 und S_2 bewegen sich parallel zur Stoßnormalen. Bei stoßenden Kugeln laufen die Schwerpunkte S_1 und S_2 vor und nach dem Stoß auf derselben Geraden	1D	ja
schiefer Stoß	Die Geschwindigkeit wenigstens eines der beiden Schwerpunkte S_1 und S_2 besitzt eine Komponente in tangentialer Richtung: $\mathbf{v}_{1,tan} , \mathbf{v}_{2,tan} \neq 0$.		nein
elastischer Stoß	Es tritt kein Verlust an kinetischer Energie auf	E_{kin} -Verlust	nein
unelastischer Stoß	Ein Teil der kinetischen Energie wird in andere Energieformen umgewandelt		ja

Abb. 2.38 Klassifikation der Stoßprozesse. Betrachtet werden nur Stöße, bei denen die Stoßpartner vor dem Stoß reine Translationsbewegungen ausführen

Stoßart	Bild	Charakteristika
gerade		Die Bahnen beider Schwerpunkte liegen auf einer Geraden.
schief		Die Bahnen beider Schwerpunkte liegen in einer Ebene und schließen einen Winkel ein.
zentral		Die Schwerpunkte der Stoßpartner liegen auf der Normalen zur Berührungsebene durch den Berührungspunkt (Stoßnormale).
exzentrisch		Die Schwerpunkte liegen nicht auf der Stoßnormalen. Es tritt Rotation auf.
elastisch		Die Summen der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß sind gleich.
inelastisch		Die Summen der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß sind verschieden.
unelastisch		Die Körper bewegen sich nachher mit einer gleichen, gemeinsamen Endgeschwindigkeit weiter.

Quizfrage 1

Sie lassen einen Ball fallen. Dieser stößt mit dem Boden zusammen und prallt zurück in die halbe Ausgangshöhe. Um welche Art Stoß handelt es sich?

- A. Elastisch
- B. Unelastisch

Quizfrage 2

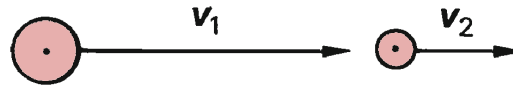
Was gilt für die Änderung der kinetischen Gesamtenergie beim Gewehrrückstoß?

A. < 0

B. $= 0$

C. > 0

vor dem Stoß



nach dem Stoß



Abb. 2.39 Gerader, zentraler Stoß

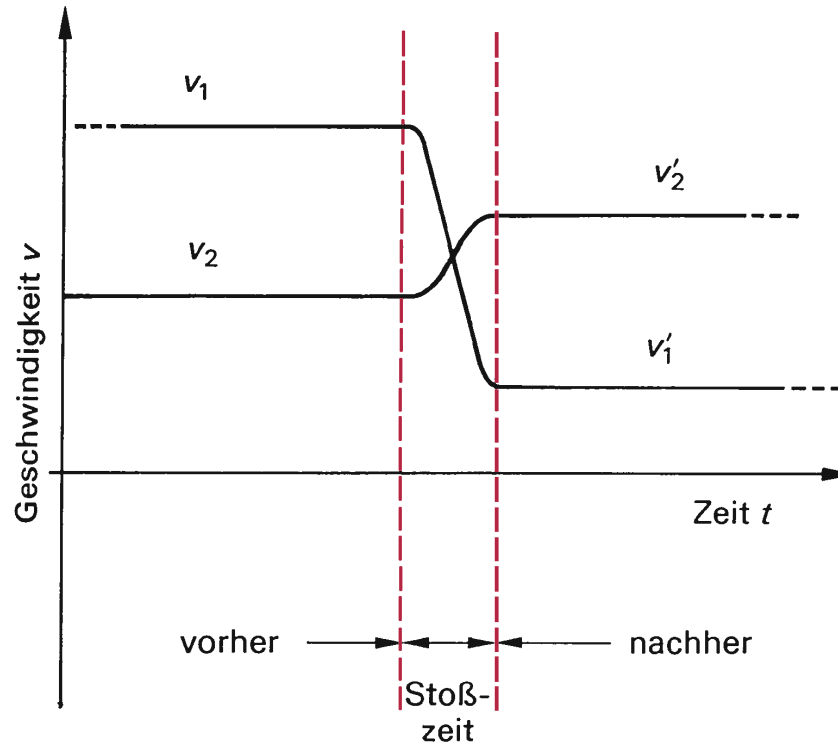


Abb. 2.36 Zeitlicher Verlauf des Stoßes zweier elastischer Körper

Doppelball-Versuch



youtube.com/watch?v=0cXZHH6GqU8

Quizfrage 3

Welches „Moderator“-Material bremst schnelle Neutronen effektiver durch elastische Stöße ab?

A. H_2O (18 u)

B. C (12 u)

Quizfrage 4

Sie lassen einen „Basket-Tennis-Doppelball“ aus 1 m Höhe fallen. Welche maximale Höhe erreicht der Tennisball?

- A. 9 m
- B. 5 m
- C. 4 m
- D. 2 m

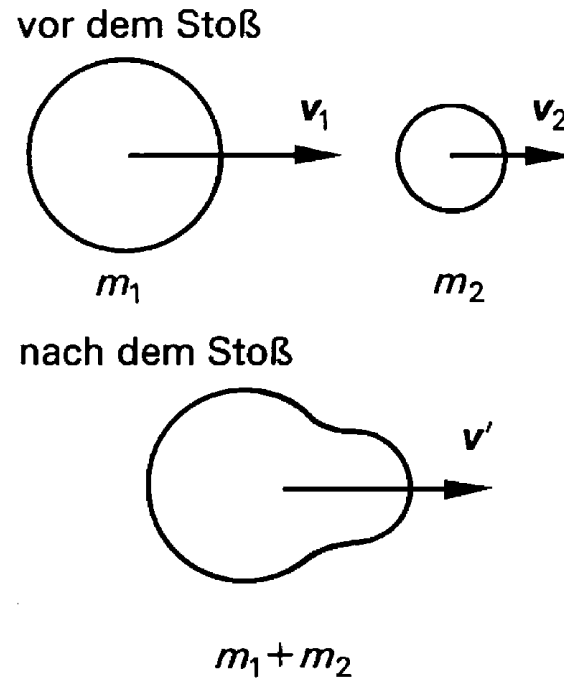


Abb. 2.41 Gerader, zentraler, unelastischer Stoß mit Kopplung (vollplastischer Stoß)

$$\varepsilon \approx 0.5$$



youtube.com/watch?v=3ladne_ye88

Quizfrage 5

Ein Körper mit Masse m_1 stößt mit einem ruhenden Körper mit Masse $m_2 = 2 m_1$ vollkommen plastisch zusammen ($\varepsilon = 0$). Wie hoch ist der E_{kin} -Verlust?

- A. $1/4 E_{\text{kin},1}$
- B. $1/2 E_{\text{kin},1}$
- C. $2/3 E_{\text{kin},1}$
- D. $3/4 E_{\text{kin},1}$

Quizfrage 6

Sie lassen einen Ball fallen. Dieser stößt mit dem Boden zusammen und prallt zurück in die halbe Ausgangshöhe. Wie groß ist die Stoßzahl ε ?

- A. 0
- B. 0.5
- C. 0.7
- D. 1

Quizfrage 7

Wie hoch ist der Anteil der kinetischen Energie der Kugel, der in kinetische Energie des Pendels umgewandelt wird?

- A. 0.1%
- B. 1%
- C. 10%
- D. 100%

Quizfrage 8

Sie führen einen schiefen elastischen Billardkugelstoß ohne Reibung und Effet durch. Unter welchem Winkel bewegen sich die Kugeln auseinander?

A. $< 90^\circ$

B. 90°

C. $> 90^\circ$

8.3 Schiefer, zentraler, elastischer Stoß

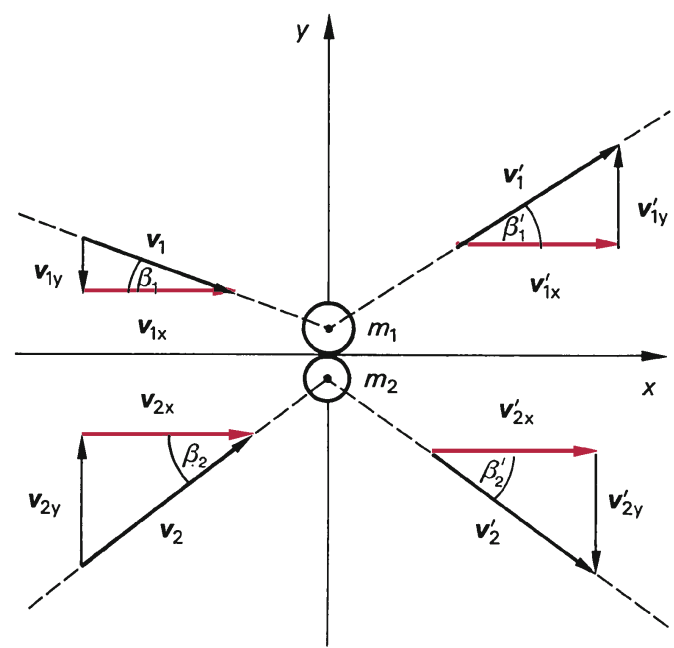


Abb. 2.43 Schiefer, zentraler, elastischer Stoß

Tab. 2.5 Schiefer, zentraler, elastischer Stoß

	Geschwindigkeiten	
	vor dem Stoß	nach dem Stoß
Körper 1 Masse m_1	v_{1x}	$v'_{1x} = v_{1x}$
	v_{1y}	$v'_{1y} = \frac{(m_1 - m_2)v_{1y} + 2m_2v_{2y}}{m_1 + m_2}$
Körper 2 Masse m_2	v_{2x}	$v'_{2x} = v_{2x}$
	v_{2y}	$v'_{2y} = \frac{2m_1v_{1y} + (m_2 - m_1)v_{2y}}{m_1 + m_2}$

Geschickte Wahl der Koordinatenachsen:

- gleichförmige Bewegung in x-Richtung
- gerader, zentraler, elastischer Stoß in y-Richtung

2 Spezialfälle:

- Billardkugelstoß: $m_1 = m_2, \quad \vec{v}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

$$\curvearrowright \vec{v}'_1 = \begin{pmatrix} v_{1x} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \vec{v}'_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ v_{1y} \end{pmatrix} \quad \curvearrowright \vec{v}'_1 \perp \vec{v}'_2$$

- Reflexion: $m_1 \ll m_2, \quad \vec{v}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

$$\curvearrowright \vec{v}'_1 = \begin{pmatrix} v_{1x} \\ -v_{1y} \end{pmatrix}, \quad \vec{v}'_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \curvearrowright \beta_1 = \beta'_1$$

Quizfrage 9

Bei einem schiefen, zentralen, elastischen Stoß gelte $m_2 = 2 m_1$ und $v_{2x} = v_{2y} = 0$. Unter welchem Winkel bewegen sich die Stoßpartner auseinander?

A. $< 90^\circ$

B. 90°

C. $> 90^\circ$

Quizfrage 10

Lässt sich der Endzustand eines 3D elastischen Stoßes mit Impuls- und Energieerhaltung vollständig bestimmen?

A. Ja

B. Nein

1D-Stoß

$$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2$$

$$p = m v$$

$$E_{\text{kin}_1} + E_{\text{kin}_2} = E'_{\text{kin}_1} + E'_{\text{kin}_2} + \Delta W$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v'_2 - v'_1 = -\varepsilon (v_2 - v_1), \quad 0 \leq \varepsilon \leq 1$$

Stoßzahl

$$\Delta W = \frac{1}{2} (1 - \varepsilon^2) \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2)^2$$

$E_{\text{kin,ges}}$ -Verlust

elastisch

$$\varepsilon = 1$$



$$\Delta W = 0$$



$$v'_i = 2 v_{\text{SP}} - v_i \quad (i = 1, 2)$$

vollkommen
plastisch

$$\varepsilon = 0$$



$$v'_1 = v'_2$$

$$v_{\text{SP}} = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

teilweise
plastisch

$$0 < \varepsilon < 1$$