

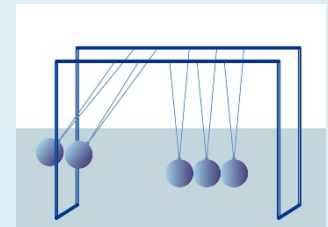
Name: _____

Videoanalyse: elastische Stöße – Energie und Impuls

[experilyser hier herunterladen](#)

Das Kugelstoßpendel wurde erstmals 1673 vom französischen Physiker *Edme Marionette* beschrieben. Damit schuf er eine Grundlage für die von Newton 1687 formulierten Axiome. Heute ist das Newtonpendel ein beliebtes dekoratives Spielzeug.

Lenkt man 2 Kugeln aus, werden dann eine Kugel oder mehrere Kugeln auf der gegenüberliegenden Seite abgestoßen? Wie groß sind die Geschwindigkeiten der Kugeln nach dem Aufprall?



Kugelstoßpendel

In vielen Sportarten wird ein Ball weggeschossen oder eine Kugel gestoßen. Den unterschiedlichen Stößen ist gemeinsam, dass zwei oder mehr Körper kurzzeitig jeweils eine Kraft aufeinander ausüben und in der Folge sich ihr Bewegungszustand ändert.

Die Größen **Impuls** und **kinetische Energie** eignen sich in besonderer Weise, um die Wechselwirkung bei Stößen zu untersuchen und die Bewegungen vorherzusagen.

Der Bewegungszustand eines Körpers wird durch den **Impuls** in Betrag und Richtung beschrieben.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Die Einheit des Impulses ist $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$.

Der Bewegung eines Körpers wird die **kinetische Energie** zugeordnet.

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

Die Einheit der Energie ist 1 J.

Erhaltungssätze:

Gesamtenergie und Gesamtimpuls bleiben in einem abgeschlossenen System erhalten. Mit beiden Größen kann man bilanzieren, d. h. die Zustände „vorher“ und „nachher“ vergleichen.

Beachte:

- Der Energieerhaltungssatz umfasst alle Energieformen. In Stößen wird mehr oder weniger kinetische Energie in innere Energie (Wärme, Verformung) umgewandelt. Sie geht der Bewegung durch den Stoß „verloren“. Die kinetische Energie bleibt in der Regel nicht erhalten.
- Impulse haben eine Richtung. Der Gesamtimpuls ergibt sich aus der Pfeiladdition. Bei eindimensionalen Stößen geht die Richtung durch das Vorzeichen ein. Insbesondere kann der Gesamtimpuls null sein, obwohl beteiligte Körper einen von null verschiedenen Impuls haben.

Vollkommen elastischer Stoß

Von einem **vollkommen elastischen Stoß** spricht man, wenn sowohl

- (1) der Gesamtimpuls als auch
 - (2) die Summe der kinetischen Energien
- beim Stoß erhalten bleiben.

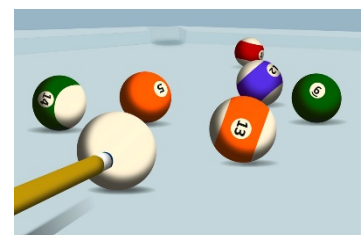
Dabei wird Kinetische Energie durch den Stoß nicht in innere Energie umgewandelt.

Beide Körper prallen voneinander ab.

Der vollkommen elastische Stoß ist ein ideales Modell.

Recht nahe am Modell sind Stöße des Kugelpendels oder der Billardkugeln. In realen Stößen treten oft zwei Mechanismen auf, wie kinetische Energie dem System entzogen wird:

- Durch den Stoß werden die beteiligten Körper verformt oder erwärmt.
- Während der Stoßdauer finden Reibungsprozesse mit der Umgebung (Luft, Unterlage) statt.



Name: _____

1 Zentraler elastischer Stoß

[Video herunterladen](#)

Auf der Fahrbahn eines Schülerversuchs wird der Stoß zweier Wagen untersucht. Die Masse jedes Wagens beträgt 118 g. Ein Wagen wird mit einem gelben Klebestreifen der andere mit einem grünen markiert. An der Stirnseite der Wagen befindet sich jeweils der Nordpol eines Magneten, sodass die Wagen sich ohne Berührung gegenseitig abstoßen. Beide Wagen werden kurz, aber nicht zu stark mit den Händen angestoßen. Der Frontalstoß wird mit Hilfe der Videoanalyse-App untersucht (Abb. 1).

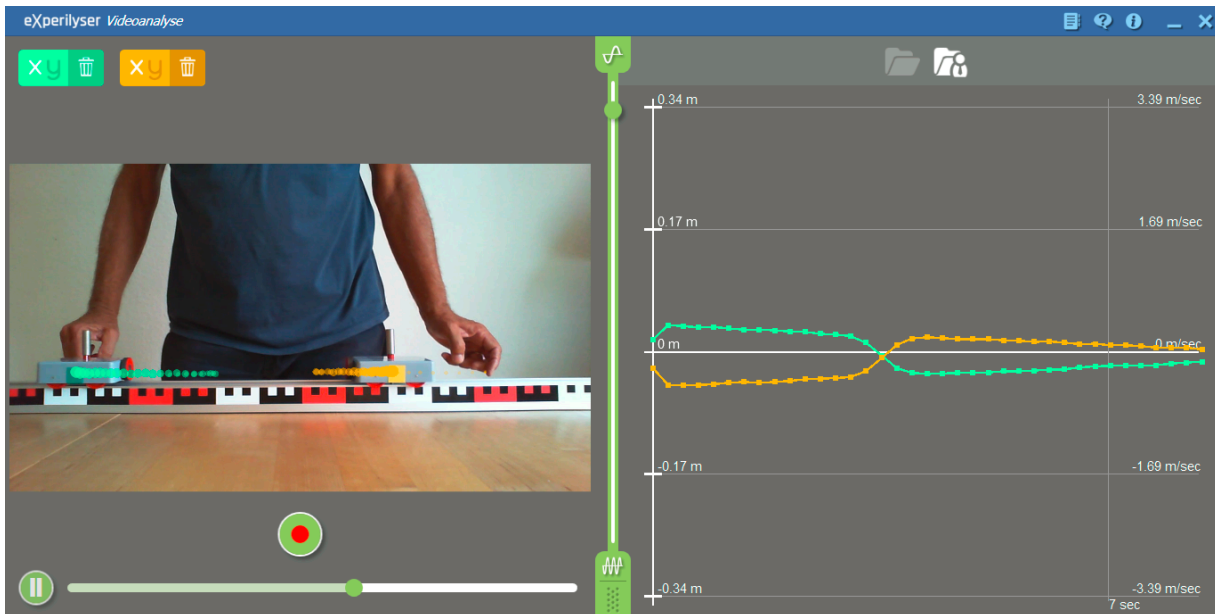
[Hilfedatei Videoanalyse](#)

Abbildung 1 Videoanalyse eines elastischen Stoßes mit t-v-Diagramm

In der linken Bildhälfte macht die App die Bahnen beider Wagen durch verblässende Spurpunkte sichtbar.

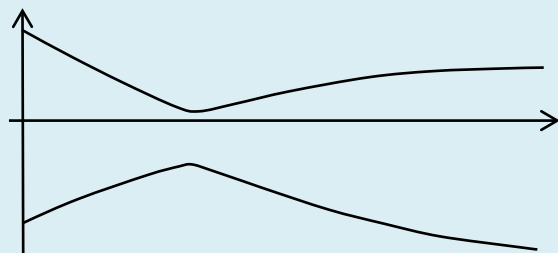
Diese Punkte markiert die App in einem zeitlichen Abstand von $\Delta t = \frac{1}{30}$ s. Auf der Skala der Schiene sind die schwarz-roten und schwarz-weißen Streifen je 10 cm lang.

Zeitgleich werden rechts im Diagramm ihre Geschwindigkeiten aufgezeichnet. Die Einheiten der Geschwindigkeit in m/s sind auf der rechten Seite des Diagramms angegeben.

Auch hier folgen die Messpunkte im zeitlichen Abstand von $\frac{1}{30}$ s.

1. Aufgaben

- 1.a Gib an, ob der Screenshot einen Moment vor oder nach dem Stoß zeigt. Gib die Richtungen an, in die sich die Wagen bewegen. Begründe deine Aussagen sowohl anhand des linken Bildes als auch mittels des rechten Diagramms.
- 1.b Die Bewegung der Wagen wird unabhängig vom Stoß kontinuierlich abgebremst. Weise dies anhand Abb. 1 nach. Benenne die Ursache des Abbremsens.
- 1.c Vom Experiment wurde ein Diagramm aus der Videoanalyse-App skizziert, ohne die Achsen zu beschriften. Beschreibe die physikalische Aussage des Diagramms. Gib die Größen an, die auf den Achsen aufzutragen sind.



Name: _____

2 Quantitative Auswertung des Stoßes

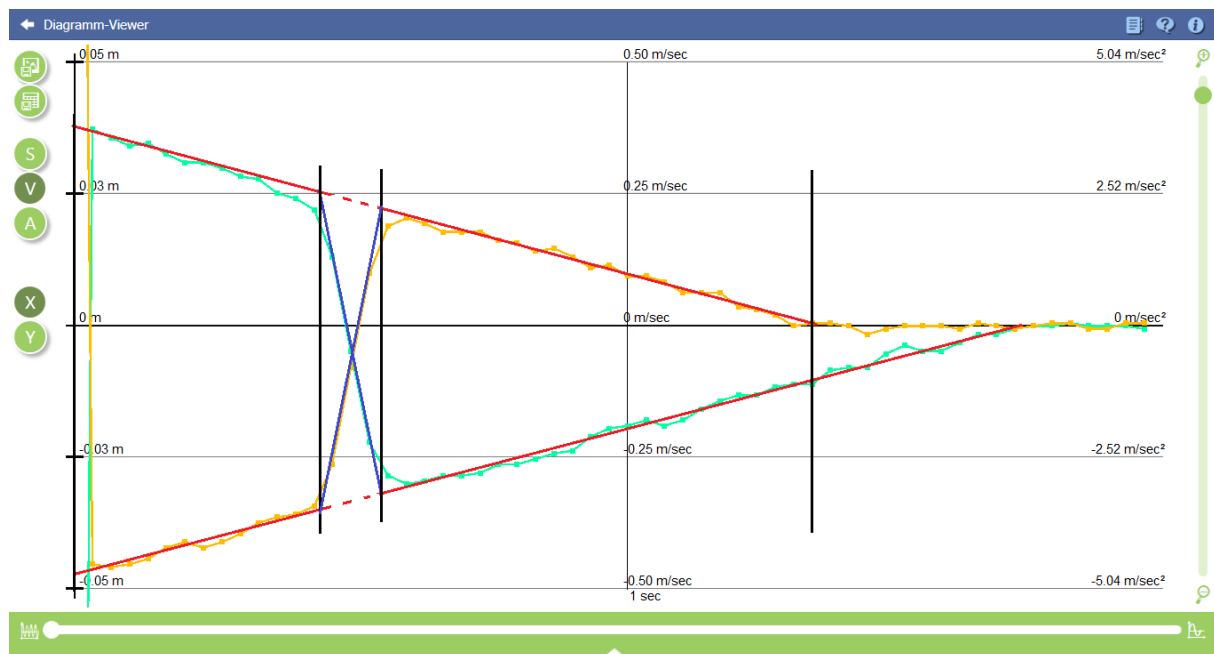
Khalid hat aus dem Diagramm-Viewer das t - v -Diagramm kopiert. In das Diagramm hat er für jeden Wagen eine Ausgleichskurve eingezeichnet, die sich aus roten und blauen Strecken zusammensetzt (Abb. 2).

Zudem hat er 4 Zeitpunkte mit schwarzen, senkrechten Linien markiert. Dort hat er die Geschwindigkeitswerte der roten Ausgleichsgeraden abgelesen und in Tabelle 1 festgehalten.

Khalid und Laura diskutieren über das Experiment und das Diagramm, das sich durch die Ausgleichsgeraden ergibt (siehe nächste Seite).

t in s	0	0,45	0,56	1,34
$v_{\text{rot oben}}$ in m/s	0,37	0,25	0,22	0
$v_{\text{rot unten}}$ in m/s	-0,45	-0,33	-0,32	-0,10

Tabelle 1

Abbildung 2 t - v -Diagramm mit eingezeichneten Hilfslinien

Name: _____

2. Aufgaben

2.a **Laura:** „Für beide Wagen scheinen in diesem Versuch die Bremsseffekte, die unabhängig vom Stoß auftreten, etwa gleich groß zu sein.“

→ Ermittle die Bremsbeschleunigungen und berechne die Kräfte.

2.b **Laura:** „Nach 1,34 s bleibt der gelbe Wagen stehen. Wo bleiben sein Impuls und seine Energie?“

→ Berechne den Impuls und die kinetische Energie des gelben Wagens nach dem Stoß zum Zeitpunkt $t = 0,56$ s.

→ Erkläre den Verbleib des Impulses und der Energie, wenn der Wagen stehen bleibt.

2.c **Khalid:** „Ich vermute: Würden beide Wagen nicht aneinanderstoßen, würden die t - v -Kurven des grün und gelb markierten Wagens vollständig entlang der roten Ausgleichsgeraden verlaufen.“

→ Formuliere physikalische Gründe, die gegebenenfalls für oder gegen Khalids These sprechen.

2.d **Laura:** „Das sieht ja so aus, als würde der gelbe Wagen die Bewegung des grünen Wagens übernehmen und nach dem Zusammenprall fortsetzen. Und der grüne übernimmt die Rolle des gelben. Das ist ein Tauschgeschäft.“

Khalid: „Ich sehe das anders. Wenn ein Ball an einer Wand abprallt, fliegt er gleich schnell zurück. Hier prallen beide Wagen voneinander ab. Also setzt jeder Wagen seine eigene Bewegung nun aber nur in umgekehrter Richtung fort.“

→ Vergleiche die Beträge der Geschwindigkeiten unmittelbar vor und nach der Phase des Stoßes, und entscheide zwischen Khalids und Lauras Hypothesen.

2.e **Khalid:** „Die Magnete stoßen sich so ab, dass sich die Wagen nicht berühren. Dabei wird nichts deformiert und beide Wagen reiben nicht aneinander. Also ist der Stoß vollkommen elastisch.“

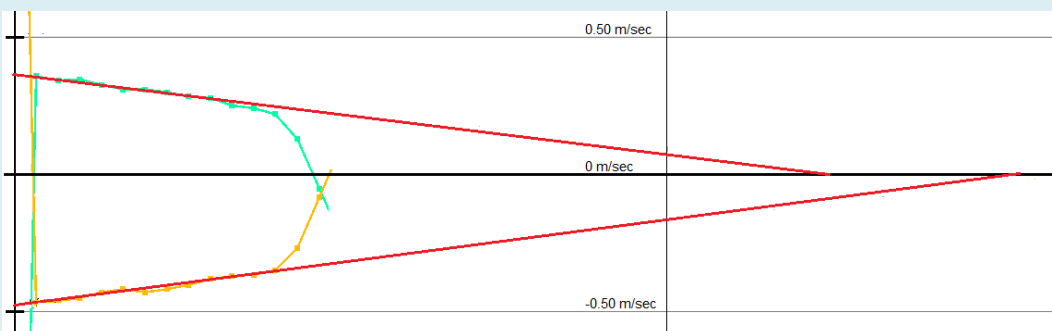
Laura: „Aber die Summe der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß sind nicht gleich groß.“

Khalid: „Der Verlust an kinetischer Energie ist auf die Rollreibung jedes Wagens während des Stoßes, aber nicht auf den Zusammenprall zurückzuführen. Vor und nach dem Stoß nimmt die Geschwindigkeit aufgrund des Rollens in gleichen Zeiten um den gleichen Betrag ab. Während des Stoßes wird aber die Geschwindigkeitsabnahme nicht stärker. Würde durch eine nicht elastische Verformung beim Stoß zusätzlich kinetische Energie in innere Energie umgewandelt, müssten die Geschwindigkeiten nach dem Stoß kleiner sein als die, die sich ausschließlich aufgrund der Rollreibung ergeben.“

→ Nimm Stellung zu diesen Statements.

→ Berechne die kinetischen Gesamtenergien vor und nach dem Stoß.

→ Ergänze im folgenden t - v -Diagramm einen möglichen Verlauf nach dem Stoß, wenn zusätzlich kinetische Energie durch Verformung der Wagen umgewandelt würde.



Name: _____

3 Experiment elastischer Stöße

[Hilfedatei zur Videoanalyse](#)

Untersuche mit der Videoanalyse-App folgende elastische Stöße.

- (1) Ein Wagen stößt auf einen ruhenden Wagen.
- (2) Beide Wagen stoßen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aneinander.
- (3) Beide Wagen haben ein unterschiedliches Gewicht.

3. Aufgaben

- 3.a Stelle soweit möglich vor dem Experimentieren Hypothesen auf, wie sich die Wagen nach dem Stoß bewegen.
- 3.b Überprüfe experimentell deine Hypothesen.
Hinweis: Wenn du die Wagen zu schnell anstößt, kann es passieren, dass die App dem farbigen Punkt nicht folgen kann.
- 3.c Überprüfe die Gültigkeit des Impulserhaltungssatzes.