

Impuls und Impulserhaltung



Zielsetzung:

In diesem Experiment ist es unser Ziel, den Impuls an einem Wagen mit seinen Impulsänderungen zu vergleichen. Die Bewegung des Autos, wenn es mit einer Kraftsonde kollidiert, wird mit dem CBR erfasst. Die Kraftsonde ist via CBL oder LabPro mit einem anderen Grafikrechner verbunden. Die erfassten Daten von beiden Sonden werden im Grafikrechner gespeichert und können entweder mit dem Grafikrechner oder Computer analysiert werden. Alternativ können Musterdaten analysiert werden.

Materialien:

Vernier Student-Kraftsensor, CBL oder LabPro, CBR und zwei Rechner, TI-83

Datengewinnung (TI 83)

Bevor Sie das Experiment aufbauen, stellen Sie sicher, dass Sie das Programm IMPULSE auf dem TI-83 Rechner haben und FALL und CLEAN auf einem anderen.

Verbinden Sie den Kraftsensor mit der CBL-Einheit in CH 1. Verbinden Sie die CBL mit dem Grafikrechner, der das Programm IMPULSE enthält. Verbinden Sie den CBR mit dem anderen Rechner.

Der vordere Teil des Wagens muss mit einem Kollisionsschutz ausgestattet werden, z.B. mit Schaumgummi. Die Rückseite des Wagens muss eine gerade Fläche haben, um gute Reflexionen an den CBR zu übermitteln. Ein Teil eines Pappdeckels (z.B. einer Pappbox für Druckerpapier) funktioniert gut.

Benutzen Sie für das Experiment einen Tisch mit einer Länge von 1,5 m. Der Kraftsensor muss am Ende des Tisches gut befestigt und seine Höhe justiert werden, damit die Kollision wie beabsichtigt stattfindet. Stellen Sie den CBR hinter den Wagen, etwa einen halben Meter von der Startposition des Wagens und einen Meter von der Kraftsonde entfernt.



Starten Sie das Programm IMPULSE.

Erst bei der Kollision werden die Daten gespeichert, so dass der gesamte Kraft-Zeit-Graph auf dem Rechnermonitor erscheinen wird, wenn das Experiment beendet ist.

Jetzt führen Sie das Experiment aus. Starten Sie das Programm FALL auf dem Rechner und stoßen Sie den Wagen in Richtung des Kraftsensors.

Wenn das Experiment beendet ist, zeigen beide Rechnerbildschirme Grafiken an. Auf einer von ihnen zeigt die y-Achse die auf den Kraftsensor einwirkende Kraft in Newton und die x-Achse die Zeit in Sekunden. Die Kraftdaten werden in Liste L2 und die Zeitdaten in Liste L1 gespeichert. Der andere Rechner zeigt das Entfernungs-Zeit-Diagramm für den Wagen. Liste L1 bis Liste L3 auf diesem Rechner enthalten die Zeitdaten, Entfernungsdaten und die Geschwindigkeitsdaten für den Wagen.

Auf der Webseite können Sie einen Film sehen, der das Experiment zeigt.

Beispieldaten (TI 83)

Wenn Sie das Experiment nicht durchführen können, nutzen sie die vorbereitete Datei, in der Sie das Experiment nachvollziehen und Beispieldaten analysieren können. Die Möglichkeiten werden unten gezeigt:

Bringen Sie Ihre Daten auf den TI83 oder TI83 Plus. Kurze Instruktion, wie man einen Download durchführt. Laden Sie die Gruppendatei IMPULSE herunter, die aus fünf Listen mit experimentellen Daten besteht, oder laden Sie die fünf Listen L1, L2, L3, L4 und L5 einzeln herunter. Die Daten werden folgendermaßen organisiert: die Bewegungsdaten mit der Zeit in Liste L1, die Entfernung in Liste L2 und Geschwindigkeit in Liste L3. Die Informationen von dem anderen Rechner wurden übertragen und sind in den Listen L4 und L5 gespeichert. Die Masse des Wagens in unserem Experiment betrug 1,060 kg.

Datenanalyse (TI 83)

Analyse 1: Diskussion der Entfernungs-Daten

Untersuchen Sie das Diagramm und versuchen Sie herauszufinden, was zu verschiedenen Zeiten während der Bewegung passiert. Erklären Sie die verschiedenen Steigungen. Was passiert an der Spitze des Graphen?

Wie wir erkennen können, ist der Graph nicht linear. Was bedeutet das? Können Sie eine Erklärung dafür finden?

Benutzen Sie Paare von Datenpunkten: Ein Paar an jeder Seite der Spitze, um die Geschwindigkeit des Wagens im benachbarten Bereich der Spitze zu berechnen. Wie groß ist der Geschwindigkeitswechsel?

Berechnen Sie die Impulsänderung des Wagens.

Analyse 2: Diskussion der Geschwindigkeits-Daten

Im nächsten Schritt zeichnen Sie die Geschwindigkeit (L3) als Funktion der Zeit (L1)

Machen Sie Aussagen über den Graphen. Vergleichen Sie Ihre Aussagen aus dem vorherigen Abschnitt mit den neuen. Finden Sie Übereinstimmungen

zwischen ihnen?

Bestimmen Sie den Geschwindigkeitswechsel während der Kollision und berechnen Sie die Impulsänderungen noch einmal.

Vergleichen Sie die Geschwindigkeiten direkt vor und nach der Kollision.

Berechnen Sie die kinetischen Energien des Wagens direkt vor und nach der Kollision. Gibt es einen Energieverlust des Wagens? Erklären Sie das !

Analyse 3: Diskussion der Kraft-Daten

Betrachten Sie die Kraft, die auf die Kraftsonde wirkt, als Funktion der Zeit. Entspricht es Ihren Erwartungen? Ist es möglich irgendwelche Aussagen über die Kraft, die auf den Wagen wirkt zu treffen?

Der Impuls auf einen Körper während eines Zeitintervalls dt wird definiert als $I = F dt$, wobei F die Kraft ist, die in dieser Zeit wirkt.

Berechnen Sie die Impulse auf den Wagen während aller Zeitintervalle. Diese Berechnungen können zum Beispiel in Liste L3 gemacht werden. Um alle diese Beiträge zu summieren, brauchen Sie nur SUM L3 zu benutzen. Der Befehl SUM findet sich unter LIST (2:nd STAT) MATH. Damit erhalten wir den Impuls, der auf den Wagen wirkt.

Analyse 4: Vergleichen Sie die Ergebnisse der Bewegungs- und Kraftdaten

In Analyse 1 und 2 wurden die Impulsänderungen des Wagens berechnet. In Analyse 3 wird der Impuls auf den Kraftsensor berechnet.

Jetzt vergleichen Sie die Impulsänderungen des Wagens mit dem Impuls des Wagens. Was schließen Sie daraus?

Wenn Sie Ihre Arbeit beendet haben, können Sie Ihre Schlussfolgerungen mit der vollständigen (Muster-) Analyse vergleichen.

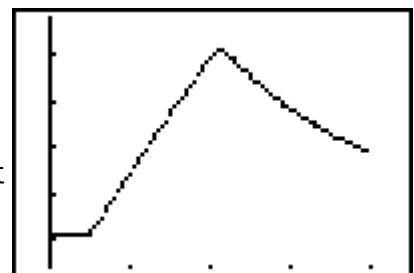
Einige Extras zum Nachdenken

Als der Impuls berechnet wurde, haben wir eine numerische Integration durchgeführt, um den Bereich zwischen der Kraftkurve und der horizontalen Achse zu berechnen. Was wäre passiert, wenn der Schaumstoff sich versteift hätte oder ganz weggenommen worden wäre?

Erklären Sie welche Bedeutung Airbags für den Schutz der Insassen eines Autos haben.

Impuls und Impulsänderungen - Vollständige Analyse mit dem TI 83

Das Weg-Zeit-Diagramm zeigt, dass der Wagen am Anfang für einen kurzen Moment still steht. Während eines kurzen Zeitintervalls zwischen 0,4 s und 0,6 s, beschleunigt er vom CBR weg (wenn er angeschoben wird). Danach ist der Graph fast linear, bis zu der Zeit von 2,0 s, wenn der Schaumstoff des Wagens mit der Kraftsonde in Berührung kommt. Dieser Kontakt dauert ungefähr 0,2 s. Danach bewegt sich der Wagen in die andere Richtung - zurück zum CBR. Dieser Teil des Graphen ist auch fast linear.



Wenn der Weg-Zeit-Graph linear ist, ist die Bewegung gleichförmig und die Geschwindigkeit konstant. Wenn Sie noch einmal auf die Grafik sehen, haben beide nahezu linearen Bereiche wechselnde Steigungen. In beiden Fällen gibt es Geschwindigkeitswechsel. Die Geschwindigkeit des Wagens sinkt in beiden Fällen. Gründe dafür sind Reibung und Luftwiderstand. Ein anderer wahrscheinlicher Grund liegt darin, dass die Tischoberfläche nicht ganz horizontal ist. Wenn das der Fall ist, können wir das auch erkennen, aber mehr dazu später.

Einen Auszug aus der Tabelle, mit Zeit- und Entfernungswerten, sehen Sie hier. Wenn Sie den markierten und den ersten Datenpunkt benutzen, ist es möglich die Geschwindigkeit vor der Kollision zu berechnen. Wenn wir das mit zwei Punkten direkt nach der Kollision wiederholen, erhalten wir entsprechend die Geschwindigkeit nach der Kollision.

L1	L2	L3	1
1.9567	1.1643	.46587	
1.9967	1.1829	.46411	
2.0366	1.2013	.43319	
2.0765	1.2175	.27331	
2.1164	1.2232	-.0018	
2.1564	1.2174	-.2337	
2.1963	1.2045	-.3231	
L1(52)=2.07651			

Vorher:

$$v_1 = (1,2175 - 1,1643)/(2,0765 - 1,9567) \text{ m/s} = 0,444 \text{ m/s.}$$

Nachher:

$$v_2 = (1,165 - 1,204)/(2,316 - 1,214) \text{ m/s} = -0,334 \text{ m/s.}$$

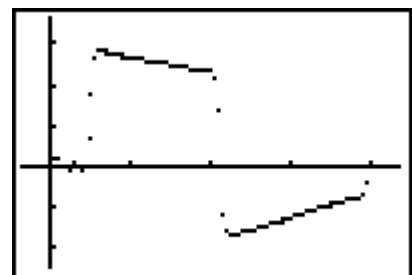
Die Impulsänderung ist

$$p = m(v_2 - v_1) = 1,060 \cdot (-0,334 - 0,445) \text{ kgm/s} = -0,83 \text{ kgm/s}$$

Vollständige Analyse 2

Das Weg-Zeit-Diagramm sieht so aus:

Wir erkennen das kurze Zeitintervall zwischen 0,4 s und 0,6 s wenn der Wagen weggeschoben wird. Danach sehen wir die Bewegung zum Kraftsensor hin. Reibungskraft wirkt offensichtlich zwischen 0,46 s und 2,0 s. Die Geschwindigkeit des Wagens wird von 0,57 m/s auf 0,46 m/s reduziert. Das ergibt eine durchschnittliche Beschleunigung von $(0,46 - 0,57)/(2,0 - 0,6) \text{ m/s}^2 = -0,079 \text{ m/s}^2$.



Dann kollidiert der Wagen und kehrt seine Bewegungsrichtung um. Einmal mehr können wir sehen, dass die Bewegung zu dem CBR zurück nicht gleichmäßig verläuft. Der Graph ist ziemlich linear, mit einer Steigung, die die Geschwindigkeitsminderung des Wagens widerspiegelt. Auch hier können wir die Beschleunigung berechnen:

$$a = (-0,15 - (-0,34))/(3,87 - 2,28) \text{ m/s}^2 = 0,12 \text{ m/s}^2.$$

Wenn wir die absoluten Werte der beiden Beschleunigungen vergleichen, sehen wir, dass die zweite Beschleunigung beträchtlich länger ist. Daher ist die Kraft, die die Geschwindigkeit reduziert, größer. Außerdem sieht es so aus, als ob es eine kleine Steigung auf der

Tischoberfläche gibt. Ansonsten hätten die beiden Werte annähernd gleich sein müssen. Warum rollt der Wagen aber nicht über die Oberfläche, wenn er in der Ruhestellung verbleibt?

Wenn wir die Geschwindigkeiten vor und nach der Kollision nehmen, jeweils 0,464 m/s und -0,339 m/s, können wir die Impulsänderung zu

$$m(v_2 - v_1) = 1,060 \cdot (-0,339 - 0,464) \text{ kgm/s} = -0,85 \text{ kgm/s.}$$

berechnen.

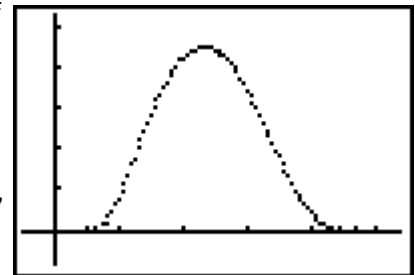
Dieser Wert liegt in guter Übereinstimmung mit dem vorherigen: 0,83 kgm/s.

Wenn wir die Geschwindigkeiten vorher = 0,464 m/s, und nachher = 0,339 m/s, vergleichen, sehen wir, dass es einen Verlust an kinetischer Energie gibt. Wie groß ist er? Welcher Anteil der kinetischen Ausgangsenergie geht verloren?

Der Verlust der kinetischen Energie wird in der Kraftsonde und im Schaumstoff in Wärme umgewandelt.

Vollständige Analyse 3

Das Kraft-Zeit-Diagramm zeigt einen Impuls, wenn die Kraft auf ein Maximum von 12 N steigt und dann wieder auf Null fällt. Die gesamte Kollision dauert etwas weniger als 0,2 s.



Um den Impuls während eines Zeitintervalls zu berechnen, multiplizieren Sie einfach die Kraft mit der Länge des Intervalls, in unserem Fall 0,0025 s. Benutzen Sie Liste L3 dafür.

Positionieren Sie den Cursor an den Anfang der Liste und geben die Formel $L_3 = 0,0025 \cdot L_2$ ein. Anschließend drücken Sie ENTER. Summieren Sie schließlich alle Werte in Liste L3. Gehen Sie dazu auf den Startbildschirm (QUIT (2:nd MODE)). Das Ergebnis ist 0,898 Ns. Folglich ist der Impuls, der auf den Wagen wirkt $-0,898 \text{ Ns} = 0,90 \text{ Ns}$.

Vollständige Analyse 4

Die Impulsänderungen von Analyse 1 und 2 betragen jeweils $-0,83 \text{ kgm/s}$ und $0,85 \text{ kgm/s}$. Sie liegen in guter Übereinstimmung mit dem Ergebnis, dass wir bei Analyse 3 bekommen haben, wo der Impuls $0,90 \text{ Ns}$ betrug.

Da diese Einheiten anders zu sein scheinen, betrachten wir sie näher.

$$1 \text{ Ns} = 1 (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) \cdot \text{s} = 1 \text{ kgm/s.}$$

Der erste Schritt folgt aus der Tatsache, dass Kraft = Masse * Zeit * Beschleunigung ist.

Daraus schließen wir, dass der Impuls auf den Wagen seiner Impulsänderung gleicht. Eine theoretische Ableitung bestätigt das experimentelle Ergebnis.

Datenanalyse (mit Excel)

Die Bewegungs- und Kraftdaten aus dem Experiment wurden mit dem Grafik-Verbindungskabel auf ein Excel-Tabellenblatt übertragen. Öffnen Sie die Datei Impulse und Impulsänderung.

Die Daten vom CBR sind in Spalte A bis C. Zeitdaten (Einheit s) sind in Spalte A; Entfernungsdaten in B und Geschwindigkeit in C. Die Daten des Kraftsensors sind in den Spalten D (Zeit in Sekunden) und E (Kraft in Newton). Die Masse des Wagens beträgt 1,060 kg. Zeichnen Sie Entfernung versus Zeit in einem Streudiagramm.

Analyse 1: Diskussion der Entfernungs-Daten

Untersuchen Sie das Diagramm und versuchen Sie herauszufinden, was zu den verschiedenen Zeiten während der Bewegung passiert. Erklären Sie die verschiedenen Steigungen. Was passiert an der Spitze des Graphen?

Wie wir erkennen können, ist der Graph nicht linear. Was bedeutet das? Können Sie eine Erklärung dafür finden?

Benutzen Sie Paare von Datenpunkten, ein Paar an jeder Seite der Spitze, um die Geschwindigkeit des Wagens im benachbarten Bereich der Spitze zu berechnen. Wie groß ist der Geschwindigkeitswechsel?

Berechnen Sie die Impulsänderungen des Wagens.

Analyse 2: Diskussion der Geschwindigkeits-Daten

Nun zeichnen Sie die Geschwindigkeit als Funktion der Zeit.

Machen Sie Aussagen über das Diagramm. Vergleichen Sie Ihre Aussagen aus dem vorherigen Abschnitt mit den neuen. Finden Sie Übereinstimmungen zwischen ihnen?

Bestimmen Sie den Geschwindigkeitswechsel während der Kollision und berechnen Sie die Impulsänderungen noch einmal.

Vergleichen Sie die Geschwindigkeiten direkt vor und nach der Kollision. Berechnen Sie die kinetischen Energien des Wagens direkt vor und nach der Kollision. Gibt es einen Energieverlust des Wagens? Erklären Sie das !

Analyse 3: Diskussion der Kraft-Daten

Betrachten Sie die Kraft, die auf die Kraftsonde wirkt, als Funktion der Zeit. Entspricht es Ihren Erwartungen? Ist es möglich irgendwelche Aussagen über die Kraft, die auf den Wagen wirkt zu treffen?

Der Impuls auf einen Körper während eines Zeitintervalls dt wird definiert als $I = F \cdot dt$, wobei F die Kraft ist, die in dieser Zeit wirkt.

Berechnen Sie den Impuls, der auf den Wagen wirkt, für alle Zeitintervalle. Diese Berechnungen können zum Beispiel in Spalte F des Tabellenblattes gemacht

werden. Jetzt summieren Sie alle diese Beiträge, um den Impuls zu bekommen, der auf den Wagen während der Kollision wirkt.

Analyse 4: Vergleichen Sie die Ergebnisse von den Bewegungsdaten und den Kraftdaten

In Analyse 1 und 2 wurden die Impulsänderungen des Wagens berechnet. In Analyse 3 wird der Impuls auf den Kraftsensor berechnet.

Jetzt vergleichen Sie die Impulsänderungen des Wagens mit dem Impuls des Wagens. Was schließen Sie daraus?

Wenn Sie Ihre Arbeit beendet haben, können Sie Ihre Schlussfolgerungen mit der vollständigen Analyse vergleichen.

Einige Extras zum Nachdenken

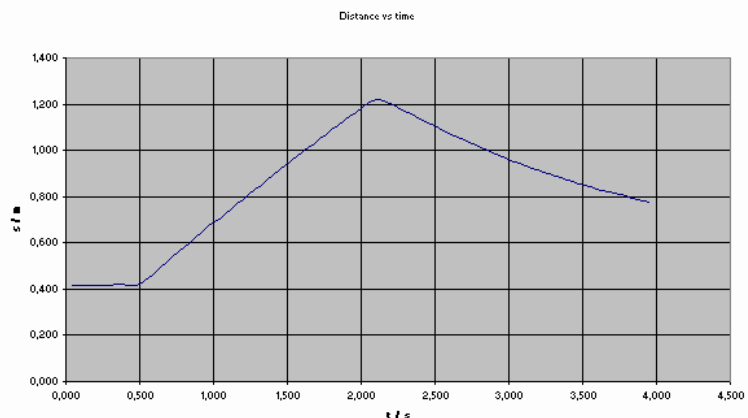
Als der Impuls berechnet wurde, haben wir eine numerische Integration durchgeführt, um den Bereich zwischen der Kraftkurve und der horizontalen Achse zu berechnen. Was wäre passiert, wenn der Schaumstoff sich versteift hätte oder ganz weggenommen worden wäre?

Erklären Sie welche Bedeutung Airbags für den Schutz der Insassen eines Autos haben.

Vollständige Analyse (mit Excel)

Vollständige Analyse 1

Das Weg-Zeit-Diagramm zeigt, dass der Wagen am Anfang für einen kurzen Moment still steht. Während eines kurzen Zeitintervalls zwischen 0,4 s und 0,6 s, beschleunigt er vom CBR weg (wenn er angeschoben wird). Danach ist der Graph fast linear, bis zu der Zeit von 2,0 s, wenn der Schaumstoff des Wagens mit der Kraftsonde in Berührung kommt. Dieser Kontakt dauert ungefähr 0,2 s. Danach bewegt sich der Wagen in die andere Richtung - zurück zum CBR. Dieser Teil des Graphen ist auch fast linear.



Wenn der Distanz-Zeit-Graph linear ist, ist die Bewegung gleichförmig und die Geschwindigkeit konstant. Wenn Sie noch einmal auf das Diagramm sehen, haben beide nahezu linearen Bereiche wechselnde Steigungen. In beiden Fällen gibt es Geschwindigkeitswechsel. Die Geschwindigkeit des Wagens sinkt in beiden Fällen. Gründe dafür sind Reibung und Luftwiderstand. Ein anderer wahrscheinlicher Grund liegt darin, dass die Tischoberfläche nicht ganz horizontal ist. Wenn das der Fall ist, können wir das auch erkennen, aber mehr dazu später.

Einen Auszug aus der Tabelle, mit Zeit- und Entfernungswerten, sehen Sie hier. Wenn Sie den markierten und den ersten Datenpunkt benutzen, ist es möglich die Geschwindigkeit vor der Kollision zu berechnen. Wenn wir das mit zwei Punkten direkt nach der Kollision wiederholen, erhalten wir entsprechend die Geschwindigkeit nach der Kollision.

1,957	1,164
1,997	1,183
2,037	1,201
2,077	1,218
2,116	1,223
2,156	1,217
2,196	1,204
2,236	1,192
2,276	1,178
2,316	1,165

Vorher $v_1 = (1,218 - 1,164)/(2,077 - 1,957) \text{ m/s} = 0,445 \text{ m/s}$.

Nachher $v_2 = (1,165 - 1,204)/(2,316 - 1,214) \text{ m/s} = -0,334 \text{ m/s}$.

Die Impulsänderung beträgt:

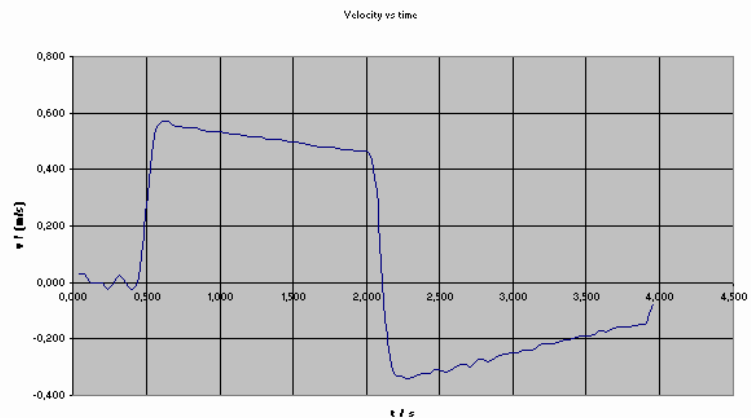
$$p = m(v_2 - v_1) = 1,060 \cdot (-0,334 - 0,445) \text{ kgm/s}$$

$$= -0,83 \text{ kgm/s}$$

Vollständige Analyse 2

Das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm sieht so aus:

Wir erkennen das kurze Zeitintervall zwischen 0,4 s und 0,6 s, wenn der Wagen weggeschoben wird. Danach sehen wir die Bewegung zum Kraftsensor hin. Reibungskraft wirkt offensichtlich zwischen 0,46 s und 2,0 s. Die Geschwindigkeit des Wagens wird von 0,57 m/s auf 0,46 m/s reduziert. Das ergibt eine durchschnittliche Beschleunigung von $(0,46 - 0,57)/(2,0 - 0,6) \text{ m/s}^2 = -0,079 \text{ m/s}^2$.



Dann kollidiert der Wagen und kehrt seine Bewegungsrichtung um. Einmal mehr können wir sehen, dass die Bewegung zu dem CBR zurück nicht gleichmäßig verläuft. Der Graph ist ziemlich linear, mit einer Steigung, die die Geschwindigkeitsminderung des Wagens spiegelt. Auch hier können wir die Beschleunigung berechnen:

$$a = (-0,15 - (-0,34))/(3,87 - 2,28) \text{ m/s}^2 = 0,12 \text{ m/s}^2$$

Wenn wir die absoluten Werte der beiden Beschleunigungen vergleichen, sehen wir, dass die zweite Beschleunigung beträchtlich länger ist. Daher ist die Kraft, die die Geschwindigkeit reduziert, größer. Außerdem sieht es so aus, als ob es eine kleine Steigung auf der Tischoberfläche gibt. Ansonsten hätten die beiden Werte annähernd gleich sein müssen. Warum rollt der Wagen nicht über die Oberfläche, wenn er in der Ruhestellung verbleibt?

Wenn wir die Geschwindigkeiten vor und nach der Kollision nehmen, jeweils 0,464 m/s und -0,339 m/s, können wir die Impulsänderung zu

$$m(v_2 - v_1) = 1,060 \cdot (-0,339 - 0,464) \text{ kgm/s} = -0,85 \text{ kgm/s}$$

berechnen.

Dieser Wert liegt in guter Übereinstimmung mit dem vorherigen: 0,83 kgm/s.

Wenn wir die Geschwindigkeiten vorher = 0,464 m/s und nachher = 0,339 m/s, vergleichen, sehen wir, dass es einen Verlust an kinetischer Energie gibt. Wie groß ist er? Welcher Anteil der kinetischen Ausgangsenergie geht verloren?

Der Verlust der kinetischen Energie wird in der Kraftsonde und im Schaumstoff in Wärme umgewandelt.

Vollständige Analyse 3

Das Kraft-Zeit-Diagramm zeigt einen Impuls, wenn die Kraft auf ein Maximum von 12 N steigt und dann wieder auf Null fällt. Die gesamte Kollision dauert etwas weniger als 0,2 s.

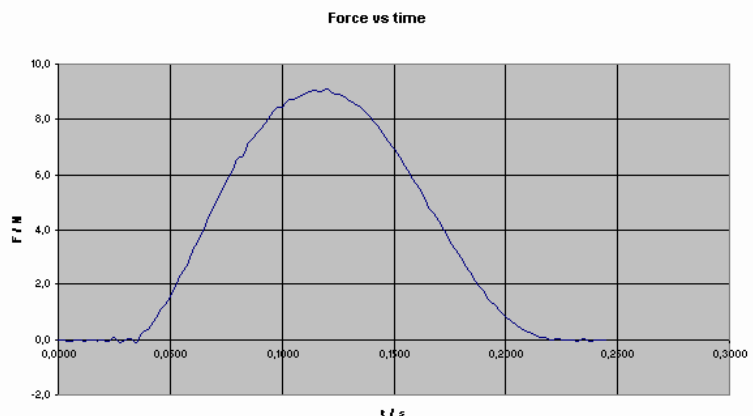
Um den Impuls während eines Zeitintervalls zu berechnen, multiplizieren Sie einfach die Kraft mit der Länge des Intervalls, in unserem Fall 0,0025 s. Benutzen Sie Spalte F in dem Tabellenblatt und beginnen Sie in Zelle 3.

Schreiben Sie die Formel

=E3*0,0025 in die Zelle und

drücken Sie ENTER. Kopieren Sie nun die Formel komplett nach

unten, um alle Beiträge zu dem Gesamtimpuls zu berechnen. Summieren Sie schließlich alle diese Werte. Folglich ist der Impuls, der auf den Wagen wirkt -0,898 Ns = 0,90 Ns.



Vollständige Analyse 4

Die Impulsänderungen von Analyse 1 und 2 betragen jeweils -0,83 kgm/s und 0,85 kgm/s. Sie liegen in guter Übereinstimmung mit dem Ergebnis, dass wir bei Analyse 3 bekommen haben, wo der Impuls 0,90 Ns betrug.

Da diese Einheiten anders zu sein scheinen, betrachten wir sie näher.

$$1 \text{ Ns} = 1 (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) \cdot \text{s} = 1 \text{ kgm/s}.$$

Der erste Schritt folgt aus der Tatsache, dass Kraft= Masse* Zeit* Beschleunigung ist.

Daraus schließen wir, dass der Impuls auf den Wagen seiner Impulsänderung gleicht. Eine theoretische Ableitung bestätigt das experimentelle Ergebnis.