

Springen auf einer Waage



Zielsetzung:

In diesem Experiment ist unser Ziel die Kräfte zu untersuchen, die entstehen wenn jemand auf einer Waage springt. Zur Kräftermessung wird eine Forceplate von Vernier benutzt. Sie wird mit der CBL oder LabPro verbunden. Die erfassten Daten werden im Grafikrechner gespeichert und können entweder mit dem Grafikrechner oder einem Computer analysiert werden. Alternativ können für eine Auswertung auch Beispieldaten benutzt werden.

Materialien:

Forceplate von Vernier , CBL oder LabPro und TI-83

Datenerfassung (TI 83)

Vorgehen:

- Bevor Sie das Experiment aufbauen, stellen Sie sicher, dass das Programm JUMP4S in Ihrem TI-83 Rechner ist. Wenn nicht, laden Sie es herunter.
- Steigen Sie auf die Waage (Force-Plate).
- Starten Sie das Programm JUMP4S und folgen Sie den Anweisungen auf dem Display. Es ist wichtig, dass Sie sich während der ersten Phase des Experimentes nicht bewegen. Der Rechner zeigt Ihnen an, wann Sie beginnen müssen zu springen. Jetzt werden 200 Datenpunkte mit einer Geschwindigkeit von 100 Punkten pro Sekunde gesammelt.
- Wenn das Experiment beendet ist, zeigt der Bildschirm des Rechners eine Grafik an. Die y-Achse zeigt die Kraft in Newton, die x-Achse stellt die Zeit in Sekunden dar. Die Kraftwerte werden in Liste L2 und die Zeitwerte in Liste L1 gesammelt. In Liste 3 finden Sie berechnete Werte, insbesondere die Nettokraft, die auf den Springer einwirkt. Diese Werte werden aus den Messwerten der Kraft - abzüglich des Gewichts des Springers - berechnet. Aber woher kennt der Rechner das Gewicht? Wie Sie sich vielleicht erinnern, sollten Sie in der ersten Phase des Experimentes auf der Waage stillstehen. Dabei wurde Ihr Gewicht aufgezeichnet.

Wenn Sie nicht in der Lage sind, das Experiment selbst durchzuführen, gibt es vorbereitete Dateien, mit denen Sie das Experiment studieren und diese Beispieldaten untersuchen können.

Datenanalyse (TI 83)

Analyse 1: Analyse der Kraft auf der Kraftplatte

Betrachten Sie die Grafik und versuchen Sie herauszufinden, wo sich die springende Person zu den unterschiedlichen Zeiten befindet. Während Sie das tun, behalten Sie im Gedächtnis, dass



die gemessene Kraft die Kraft auf der Waage ist. Die folgenden Fragen könnten Ihnen helfen:

- Als Erstes haben wir eine Gerade ohne Steigung. Was sind ihre Funktionswerte und was bedeuten sie?
- Als Nächstes ist ein Gefälle in der Kraftmessung sichtbar. Warum?
- Finden Sie den kleinsten Wert im ersten Gefälle. Zu welcher Position des Springers gehört er? Was ist mit den Kräften, die auf den Springer einwirken?
- Versuchen Sie die folgenden Positionen des Springers zu finden:
 - wenn er am weitesten unten ist, bevor er seine Beine streckt und sich aufwärts bewegt
 - wenn er die Waage verlässt
 - wenn er wieder landet
- Nach dem Landen ist die Kurve nicht stabil. Können Sie den Grund dafür herausfinden?
- Was ist mit den Kräften, die auf die springende Person einwirken? Malen Sie ein Bild des Springers, einschließlich der Kraftpfeile, wenn er:
 1. am Anfang kniet.
 2. er beinahe die Waage verlassen hat.
 3. sich aufwärts bewegend in der Luft befindet.
 4. gerade wieder auf der Waage gelandet ist.

Analyse 2: Analyse der Kräfte, die auf die springende Person einwirken

Jetzt wollen wir die Nettokraft, die auf den Springer wirkt, als eine Funktion der Zeit darstellen. In unserer letzten Aufgabe, Analyse 1, haben wir die Kräfte, die auf den Springer einwirken betrachtet. In allen vier Fällen war das Gewicht dasselbe und die Kraft auf der Waage differierte. Wir können die Nettokraft berechnen, indem wir das Gewicht der Person von dem Messwert der Waage subtrahieren. Das Gewicht wird auf dem Rechner in F abgespeichert und die Subtraktion wird von dem Programm durchgeführt. Die Nettokraft, in Newton, ist in Liste 3 gespeichert. Machen Sie ein Schaubild von L3 versus L1.

Vergleichen sie diese Grafik mit der vorhergehenden. Wann haben Sie die Maximal-, die Null- und die Minimalkraft?

Analyse 3: Die Geschwindigkeit des Springers

Im vorhergehenden Abschnitt haben wir die Nettokraft als eine Funktion der Zeit dargestellt. Der Impuls ist ein Produkt der Kraft und Zeit. Der Startzeitpunkt des Springers ist Null. Daher ist das Integral zu einem beliebigen Intervallende der Kraft-Zeit-Funktion, der Impuls des sich bewegenden Körpers in diesem Moment. Wie auch immer, der Graph ist nicht geglättet und es ist unmöglich die exakte zugehörige mathematische Funktion anzugeben. Daher müssen wir das Integral numerisch berechnen.

Wir betrachten die Kraft als annähernd konstant während der einzelnen kurzen Zeitintervalle. Das bedeutet, dass der Wechsel im Impuls als F in jedem Intervall berechnet werden kann. Die Zeit zwischen zwei Punkten beträgt $1/100$ Sekunde. Daher erhalten wir die Veränderung im

Impuls, indem wir die Elemente der Liste L3 mit 0,01 multiplizieren. Dazu müssen wir $L3 \cdot 0,01$ STO L4 auf dem Startbildschirm eingeben. Das Ergebnis wird in Liste L4 gespeichert.

Jetzt können wir die Impulsänderungen summieren, um den Gesamtimpuls zu jeder gegebenen Zeit auszurechnen. Am Anfang unserer Untersuchung ist der Springer in Ruhestellung und der Impuls beträgt 0 kg m/s. Nach der ersten 1/100stel Sekunde hat sich der Impuls um den Betrag in L4(1) verändert. Zur nächsten 1/100stel Sekunde addieren wir den Impuls in L4(2) und so weiter. Das ist eine kummulierte Summe. Es gibt einen Befehl (CumSum), um die Berechnung mit dem Rechner auszuführen. Am einfachsten finden wir diesen Befehl im Katalog. Durch Eingabe von CumSum L4 STO L4 auf dem Ausgangsbildschirm wird die Rechenoperation durchgeführt. Das Ergebnis sehen wir in L4, wobei es die Impulsänderung, die vorher dort war, ersetzt. Wir benutzen Liste L4, weil wir L5 und L6 später noch benötigen.

Wenn Sie wollen, können Sie das Ergebnis ansehen, indem Sie L4 gegen L1 einzeichnen.

Wenn man den Impuls hat, ist es relativ einfach, die Geschwindigkeit des Springers zu jeder gegebenen Zeit zu berechnen. Das Gewicht des Springers ist in der Variablen F gespeichert. Um die Masse zu berechnen, teilen wir einfach das Gewicht durch 9,82. Da die Liste L4 den Impuls enthält, erhalten wir die Geschwindigkeit durch: $L4 / (F / 9,82)$ STO L4. Jetzt erhalten wir die Geschwindigkeiten in Liste L4.

Erstellen Sie eine Grafik von Geschwindigkeit versus Zeit .

Untersuchen Sie den Graphen und versuchen Sie herauszufinden, wo sich die springende Person zu den unterschiedlichen Zeiten befindet. Wie sieht es aus, wenn Sie das mit dem Kraft-Zeit-Diagramm vergleichen?

- Finden Sie die Zeiten, zu denen der Springer die Geschwindigkeit Null hat. Wo befindet sich der Springer in diesen Fällen? Gehen sie zum ersten F(t)-Graphen zurück und finden sie dort diese Punkte. Sind es die Punkte, die Sie erwartet haben?
- Es gibt einen linearen Teil in der Mitte. Was bedeutet das? Können Sie die Steigung der Linie vorhersagen? Sie können den Befehl Select benutzen, um einen Teilbereich des Graphen zu untersuchen. Benutzen sie die lineare Regression, um eine Gerade anzutragen. Verläuft die Steigung wie erwartet?
- Wenn Sie mit der Analyse fertig sind, können Sie sie mit dieser vollständigen (Muster-) Analyse vergleichen.

Datenanalyse (mit Excel)

Die Kraftdaten unseres Experimentes wurden mit Hilfe des Graph-Link-Verbindungskabels auf ein Excel-Tabellenblatt übertragen. Öffnen Sie die Datei Waage_Sprung.

Die Zeitdaten (Einheit s) sind in Spalte A und die Kraftdaten (Einheit N) in Spalte B. Die Kraft, die auf die Waage einwirkt, ist aufgezeichnet. Der Inhalt der Spalte C ist die Nettokraft, die auf die springende Person einwirkt. Diese Spalte wird aus der vorhergehenden berechnet: durch die Subtraktion des Gewichts der springenden Person.

Zeichnen Sie die ursprünglichen Kraftdaten, z.B. Daten von der Kraftuntersuchung, versus Zeit in ein Streudiagramm ein.

Hilfe finden Sie bei: Wie erstelle ich ein Streudiagramm in Excel? , wo ein Streudiagramm aus einer anderen Datenreihe angelegt wird.

Analyse 1: Analyse der Kraft auf der Kraftplatte

Betrachten Sie die Grafik und versuchen Sie herauszufinden, wo sich die springende Person zu den unterschiedlichen Zeiten befindet. Während Sie das tun, denken Sie daran, dass die gemessene Kraft die Kraft auf der Waage ist. Die folgenden Fragen könnten Ihnen helfen:

- Als Erstes haben wir eine Gerade ohne Steigung. Was sind ihre Funktionswerte und was bedeuten sie?
- Als Nächstes ist ein Gefälle in der Kraftmessung sichtbar. Was macht der Springer an dieser Stelle?
- Finden Sie den kleinsten Wert im ersten Gefälle. Die Kraft, die auf die Waage einwirkt, ist beträchtlich geringer als das Gewicht der Person. Was bedeutet das für die Kräfte, die auf den Springer einwirken? Was können Sie über die Größe und Richtung der Nettokraft aussagen, die auf die Person einwirkt? In welche Richtung geht die Beschleunigung an diesem Punkt?
- Jetzt folgen Sie der Kurve bis zum Maximum. Eine große Kraft wirkt auf die Waage. Wieder abwärts zum Wert Null. Was passiert an dieser Stelle? Was bedeutet der Wert Null?
- Wann landet der Springer wieder auf der Waage? Woher wissen Sie das?
- Wie kommt der letzte Ausschlag zustande, der annähernd dem Startwert entspricht?
- Was ist mit den Kräften, die auf die springende Person einwirken? Zeichnen Sie Bilder mit Kraftpfeilen, wenn er:
 1. am Anfang kniet.
 2. er beinahe die Waage verlassen hat.
 3. sich aufwärts bewegend in der Luft befindet.
 4. gerade wieder auf der Waage gelandet ist.

Analyse 2: Analyse der Kräfte, die auf die springende Person einwirken

Jetzt wollen wir die Nettokraft, die auf den Springer wirkt, als eine Funktion der Zeit darstellen. Dieses Vorgehen wird hier erklärt: "Wie Daten aus nicht nebeneinander liegenden Spalten grafisch dargestellt werden".

* Vergleichen Sie alle Ihre Aussagen aus dem vorangehenden Abschnitt, mit dem, was sie aus diesem Graphen schließen können. Der Schwerpunkt soll dabei auf der Beschleunigung liegen. Da gemäß Newtons zweitem Gesetz der Bewegung $F = m \cdot a$ ist, hat die Beschleunigung immer dieselbe Richtung wie die Nettokraft!

* Untersuchen Sie zu welchem Zeitpunkt die Nettokraft: maximal, Null und minimal ist.

Analyse 3: Untersuchung der Geschwindigkeit der springenden Person

Gemäß Newtons zweitem Gesetz, das in der Form $F \cdot \Delta t = \Delta(m \cdot v)$ geschrieben werden kann, gleicht der Impuls auf den Körper, $F \cdot \Delta t$, die Impulsänderung $\Delta(m \cdot v)$ aus.

* Wir wissen, dass der Springer zum Zeitpunkt Null startet. Am Anfang ist er also im Ruhezustand. Wir können ganz einfach die Änderung des Impulses für jedes Zeitintervall berechnen. Dazu benutzen wir die Nettokraft, die auf den Springer einwirkt und die Intervalllänge. Anschließend ist es möglich, die Summe dieser Impulsänderungen zu berechnen. Wenn diese Werte das Maximum erreichen, ist der Impuls maximal. Was bedeutet das für die Geschwindigkeit? Immer, wenn der Impuls verschwindet, können wir entsprechend etwas zu der Geschwindigkeit aussagen. Berechnen Sie die Änderung des Impulses und die Summe der Impulsänderungen. Sie können hier eine Anleitung finden.

* Berechnen Sie die Masse der springenden Person. Berechnen Sie anschließend die Geschwindigkeit des Springers. Anleitungen zu diesen Schritten finden Sie [hier](#). Zeichnen Sie einen Geschwindigkeits-Zeit-Graphen.

* Vergleichen Sie den Geschwindigkeits-Zeit-Graphen mit dem Nettokraft- Zeit-Graphen. Achten Sie dabei besonders auf die speziellen Zeitwerte, die im vorhergehenden Abschnitt abgerufen wurden.

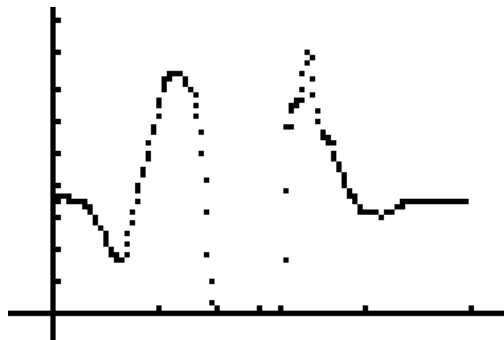
* Warum ist ein Teil des Geschwindigkeitsgraphen linear? Finden Sie die Steigung dieses linearen Teils heraus. Was sind Ihre Rückschlüsse? Betrachten sie nun die Nettokraft im selben Zeitintervall. Erklären Sie Ihre Beobachtung!

Wenn Sie Ihre Arbeit beendet haben können Sie Ihre Schlussfolgerungen mit der [vollständigen \(Muster-\)Analyse](#) vergleichen.

Vollständige Analyse (TI83)

Die Kraft auf einer Kraftplatte

Die grafische Darstellung des Sprungs sehen Sie hier:



Am Anfang sehen wir eine Parallele zur x-Achse, wenn die Person still steht. Die Größe der Kraft entspricht dem Gewicht der Person. Das Gewicht wird vor dem Sprung gemessen und im Register F im Rechner abgespeichert. In diesem Fall beträgt es 887 N, was einer Masse von 90,3 kg entspricht.

Als Nächstes zeigt der Graph eine Verminderung, die der Bewegung des Springers wenn er in die Hocke geht entspricht. Die Kraft auf der Kraftplatte wird reduziert, weil für die Abwärtsbeschleunigung eine abwärts gerichtete Nettokraft notwendig sein muss. Beim Minimum beträgt die Kraft 421 N, das ergibt eine Nettokraft von $887 \text{ N} - 421 \text{ N} = 466 \text{ N}$, die abwärts gerichtet ist. In diesem Moment beschleunigt die Person abwärts mit einer Beschleunigung von:

$$a = 466 / 90,3 \text{ m/s}^2 \approx 5,2 \text{ m/s}^2.$$

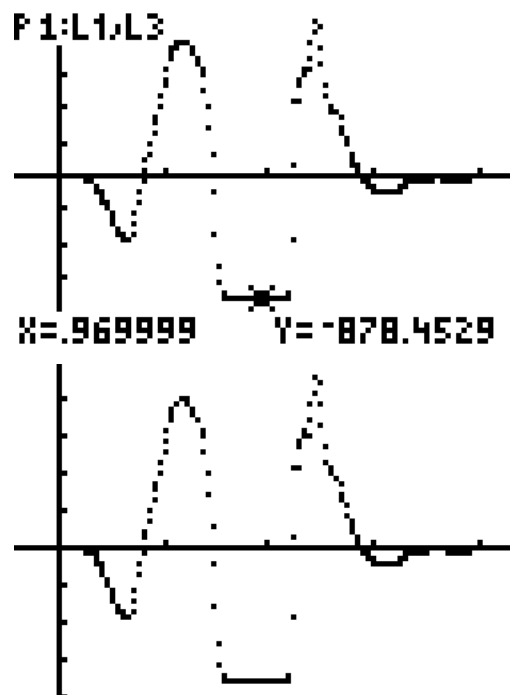
Nun stößt sich der Springer von der Waage ab, aber er beschleunigt immer noch abwärts. Beachten sie, dass der Punkt, wo er wieder zurück ist, bei 887 N, bedeutet, dass die Beschleunigung gleich Null ist. Er befindet sich noch immer in der Abwärtsbewegung. Tatsächlich hat er jetzt seine größte Abwärtsgeschwindigkeit erreicht. Der tiefste Punkt wird erst nahe an der Spitze des Kraft-Zeit-Graphen erreicht.

Die Maximalkraft erreicht 1870 N und ergibt eine Aufwärtsbeschleunigung von mehr als 10 m/s^2 . Danach sinkt die Kraft, bis der Springer den Kontakt mit der Kraftplatte bei ungefähr $t = 0,79 \text{ s}$ verliert. Von jetzt an, bis $t = 1,10 \text{ s}$, ist er in der Luft. Die Bewegung in der Luft dauert $0,31 \text{ s}$.

Nach $1,10 \text{ s}$ landet er wieder. Die Person hat wieder Kontakt mit der Waage, wie man den Messwerten entnehmen kann. Die Maximalkraft auf der Waage beträgt während der Landung annähernd 2000 N bei $t = 1,23 \text{ s}$. Danach haben wir einen letzten Ausschlag um einen bestimmten Wert: Nämlich dem Gewicht der Person. Der Ausschlag entsteht durch die Dämpfung der Spiralfeder in der Kraftplatte.

Die Nettokraft, die auf den Springer einwirkt

Jetzt wollen wir die Nettokraft, die auf den Springer einwirkt, als Funktion darstellen. Es ist leicht zu verstehen, dass wir als Ergebnis nur eine vertikale Verschiebung des vorangehenden Graphen erhalten.



Wir erkennen, dass die Nettokraft am Anfang und bei den Zeiten $0,40 \text{ s}$, $0,73 \text{ s}$ und $1,12 \text{ s}$ Null beträgt. Diese Werte können ermittelt werden, indem wir TRACE auf den Graphen anwenden.

Die Minimalkraft liegt bei $0,33 \text{ s}$ und in dem Intervall von $0,79 \text{ s} - 1,10 \text{ s}$. Das erste Mal während des "Knieens" und das zweite Mal, wenn der Springer in der Luft ist. Ab dann beträgt die Nettokraft zwischen 880 N und bis zu 887 N . Das ergibt eine Abwärtskraft von 880 N , die der Gravitationskraft entspricht, die auf die Person wirkt. Die Beschleunigung beträgt $a = 880 / 90,3 \text{ m/s}^2 \approx 9,7 \text{ m/s}^2$.

Während der Landung haben wir eine maximale Nettokraft von 1120 N. Die Aufwärtsbeschleunigung des Springers in diesem Moment übersteigt g und ist $a = 1120 / 90,3 \text{ m/s}^2 = 12,4 \text{ m/s}^2$.

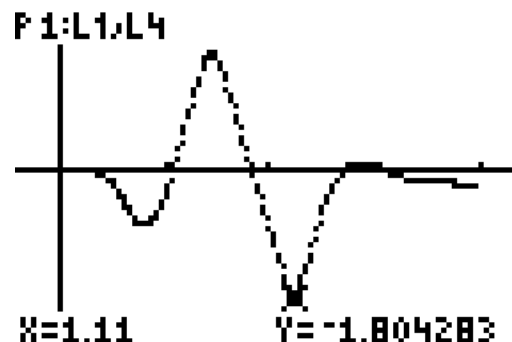
Die Geschwindigkeit der springenden Person

Am Anfang ist der Springer in der Ruhestellung. Daher betragen die Geschwindigkeits- und Impulswerte Null.

Die Änderung des Impulses in einem Intervall, wird als Impuls auf den Körper in diesem Zeitintervall berechnet. Die Nettokraft ist in Liste L3 eingetragen und das Zeitintervall ist 0,01 s. Die Änderung des Impulses wird von der Nettokraftzeit 0,01 vorgegeben, wie in der Analyse beschrieben.

Wenn wir die Impulsänderungen zu einer bestimmten Zeit summieren, erhalten wir den Impuls zu dieser Zeit. Die erste Änderung ergibt den Impuls nach 0,01 s. Die Summe der ersten beiden Änderungen den Impuls nach 0,02 s und so weiter. Die Funktion, die wir benutzen, um diese Summe zu bestimmen ist die kummulierte Summe (CumSum), wie in der Analyse beschrieben.

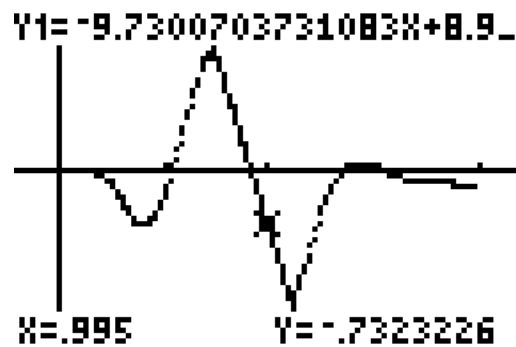
Jetzt haben wir eine Liste mit dem Impuls des Körpers zu jeder gegebenen Zeit. Daraus können wir die Geschwindigkeit zu jeder gegebenen Zeit berechnen. Das machen wir, indem wir den Impuls durch die Masse dividieren (wie in der Analyse beschrieben). Dann zeichnen wir den Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm und erhalten folgenden Graphen:



Beachten Sie, dass die Minimalgeschwindigkeit bei $t = 0,40 \text{ s}$ ist. An dieser Stelle ist die Nettokraft, die auf den Springer wirkt, bei Null und ändert die Richtung wie vorher erläutert. Die Maximalgeschwindigkeit bei $t = 0,73 \text{ s}$, erscheint das nächste Mal bei $t = 0,79 \text{ s}$, wenn die Nettokraft verschwindet.

Bei $t = 0,79 \text{ s}$ verlässt der Springer die Waage und ist für 0,31 s in der Luft. Im Graphen sehen wir das als Gerade. Das entsteht dadurch, dass als einzige Kraft die Gravitationskraft auf den Springer einwirkt. Mit dieser konstanten Kraft erhalten wir eine gleichmäßige Beschleunigungsbewegung.

Um die Steigung des linearen Abschnittes zu finden, starten wir die [Auswahl](#) und wenden die [lineare Regression](#) auf den ausgewählten Teil an. Wenn wir die Regressionsgerade in das ursprünglichen Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm einzeichnen, sieht das so aus:



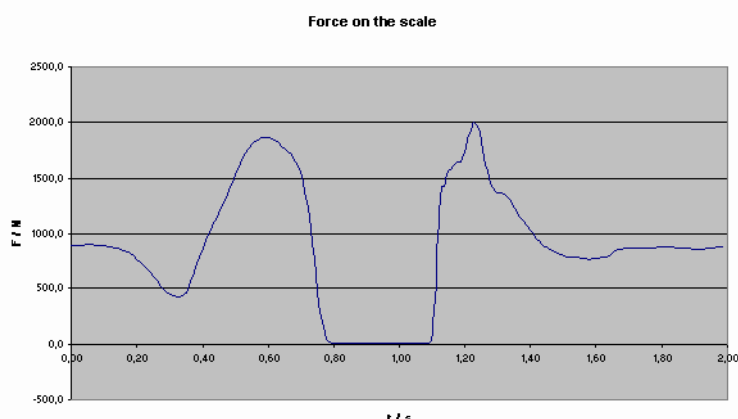
Die Regressionsgleichung hat eine Steigung von $-9,73 \text{ m/s}^2$, die ziemlich nah an den erwarteten $9,82 \text{ m/s}^2$ liegt.

Die Geschwindigkeit ist beim Verlassen der Waage kleiner, als bei der Landung. $1,67 \text{ m/s}$ im Vergleich zu $1,80 \text{ m/s}$. Das hängt vermutlich davon ab, wie man springt und wie man landet. Wenn man die Waage verlässt, ist man in der aufrechtesten Haltung, die Beine durchgedrückt und die Zehen berühren kaum noch die Waage. Bei der Landung versuchen Sie sanft, mit leicht angewinkelten Knien, aufzukommen. Das macht den Weg abwärts länger als aufwärts. Folglich haben Sie mehr Zeit zu beschleunigen und erreichen eine größere Geschwindigkeit.

Vollständige Analyse (Excel)

Das Ergebnis des Sprungs sehen wir unten. Am Anfang sehen wir eine Parallele zur x-Achse, wenn die Person still steht. Das Gewicht wird von der Kraftplatte gemessen. Wie wir unten auf dem Tabellenblatt in Spalte B sehen können, gibt es eine kleine Abweichung: Das Gewicht liegt zwischen 880 N und 890 N . Der Mittelwert der ersten zehn Daten ist 887 N . Die Masse berechnet sich daraus zu $90,3 \text{ kg}$.

Danach bewegt sich der Springer mit angewinkelten Knien abwärts. Die Kraft verringert sich in Übereinstimmung mit der Tatsache, dass sich die Person abwärts bewegt.



Als Nächstes zeigt der Graph eine Verminderung, die der Bewegung des Springers wenn er in die Hocke geht entspricht. Die Kraft auf der Kraftplatte wird reduziert, weil für die Abwärtsbeschleunigung eine abwärts gerichtete Nettokraft notwendig sein muss. Beim Minimum beträgt die Kraft 421 N , das ergibt eine Nettokraft von $887 \text{ N} - 421 \text{ N} = 466 \text{ N}$, die abwärts gerichtet ist. In diesem Moment beschleunigt die Person abwärts mit einer Beschleunigung von:

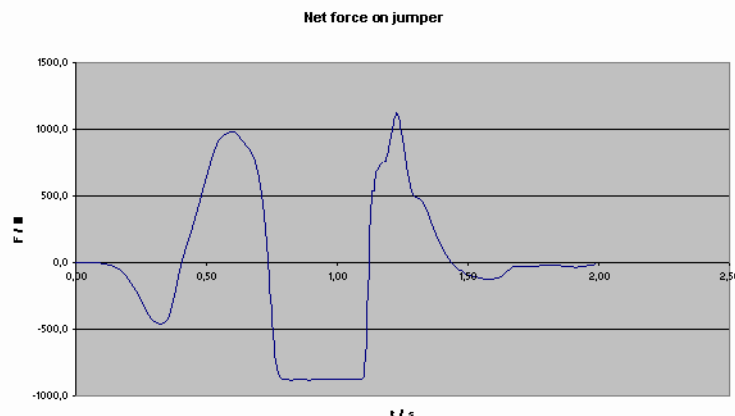
$$a = 466/90,3 \text{ m/s}^2 \approx 5,2 \text{ m/s}^2.$$

Jetzt stößt sich die Person ab, bis sie die Maximalkraft von 1870 N bei 0,59 s erreicht. Danach sinkt die Kraft, bis der Springer den Kontakt mit der Kraftplatte bei ungefähr $t = 0,79 \text{ s}$ verliert. Von jetzt an, bis $t = 1,10 \text{ s}$ ist er in der Luft. Die Bewegung in der Luft dauert 0,31 s

Kehren wir zum Zeitintervall zwischen 0,33 s und 0,79 s zurück. In zwei Fällen stimmt die Kraft auf der Waage mit dem Gewicht der Person überein. Die Nettokraft auf den Springer beträgt hier Null und die Beschleunigung wechselt in diesem Moment die Richtung. Bei der Zeit von 0,40 s wechselt die Beschleunigung von abwärts zu aufwärts und bei 0,73 s von auf- zu abwärts. Das sagt etwas über die maximale Abwärts- und die maximale Aufwärtsgeschwindigkeit aus. Wir kehren später dazu zurück.

Nach 1,10 s landet der Springer wieder. Einmal mehr ist die Person in Kontakt mit der Waage. Das können wir aus den Messwerten entnehmen. Die Maximalkraft während der Landung beträgt annähernd 2000 N ($t = 1,23 \text{ s}$). Danach haben wir einen letzten Ausschlag um einen bestimmten Wert, nämlich dem Gewicht der Person. Der Ausschlag ist das Resultat der gedämpften Spiralfeder in der Kraftplatte.

Jetzt wollen wir die Nettokraft, die auf den Springer einwirkt, als Funktion darstellen. Es ist leicht zu verstehen, dass wir als Ergebnis nur eine vertikale Verschiebung des vorangehenden Graphen erhalten.



Wir erkennen, dass die Nettokraft am Anfang und bei den Zeiten 0,40 s, 0,73 s und 1,12s Null beträgt. Diese Werte können ermittelt werden, indem wir TRACE auf den Graphen anwenden.

Die Minimalkraft liegt bei 0,33 s und in dem Intervall von 0,79 s – 1,10 s. Das erste Mal während der Springer kniet und das zweite Mal, wenn der Springer in der Luft ist. Ab dann beträgt die Nettokraft zwischen 880 N und bis zu 887 N. Das ergibt eine Abwärtskraft von 880 N, die der Gravitationskraft entspricht, die auf die Person wirkt. Die Beschleunigung beträgt $a = 880 / 90,3 \text{ m/s}^2 \approx 9,7 \text{ m/s}^2$.

Während der Landung haben wir eine maximale Nettokraft von 1120 N. Die Aufwärtsbeschleunigung des Springers in diesem Moment übersteigt g und ist $a = 1120 / 90,3 \text{ m/s}^2 = 12,4 \text{ m/s}^2$.

Vollständige Analyse 3

Am Anfang ist der Springer in der Ruhestellung. Daher betragen die Geschwindigkeits- und Impulswerte Null.

Die Änderung des Impulses in einem Intervall wird als Impuls auf den Körper in diesem Zeitintervall berechnet.

Da die Nettokräfte in Spalte C sind, wird die Änderung des Impulses in Zelle D2 berechnet. Geben Sie in D2 die Formel $=C2*0,01$ ein. So werden die Nettokräfte und die Länge der Zeitintervalle multipliziert.

Kopieren sie diese Formel in die ganze Spalte D herunter. Alle Änderungen des Impulses sind nun berechnet.

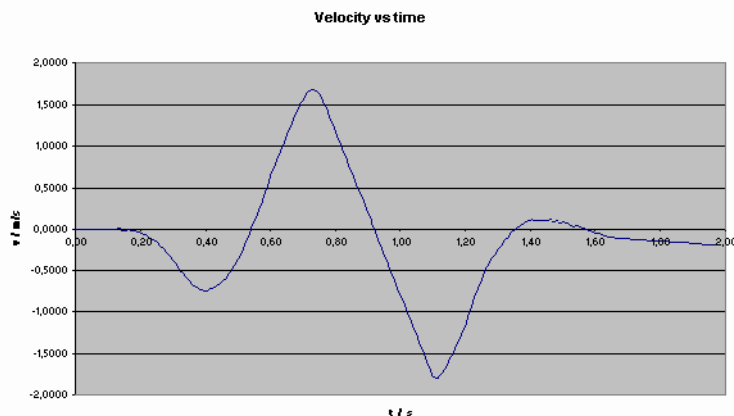
Die Summe der ersten zwei Änderungen des Impulses ergeben den Impuls nach diesen zwei Intervallen, da der Startwert 0 kgm/s beträgt. Wenn wir fortfahren, die Impulse zu summieren, erhalten wir den Impuls nach jedem Zeitintervall.

Jetzt wird der erste Impulswert in Zelle E2 berechnet. Geben Sie die Formel $=D2+0$ in diese Zelle ein. Natürlich können Sie den letzten Term aussparen. Wir haben ihn nur eingegeben, um klar zu machen, dass der Startwert Null beträgt.

Jetzt können wir die Änderung des Impulses in Zelle D3 zu diesem Wert addieren. Dazu geben wir die Formel $=E2+D3$ in Zelle E3 ein. Beachten sie, dass diese Formel jetzt in der ganzen Spalte E abwärts kopiert werden muss und uns die Impulswerte berechnet.

Die Masse des Springers ist bekannt: 90,3 kg. Mit den Impulswerten in Spalte E erhalten wir die Geschwindigkeiten in Spalte F, indem wir die Werte durch die Masse dividieren. Geben Sie die Formel in Zelle F2 ein und kopieren Sie sie wieder bis nach unten.

Zeichnen sie das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm.



Beachten Sie, dass die Minimalgeschwindigkeit bei $t = 0,40$ s ist. An dieser Stelle verschwindet die Nettokraft, die auf den Springer wirkt und ändert die Richtung von ab- zu aufwärts. Die Maximalgeschwindigkeit bei $t = 0,73$ s erscheint das nächste Mal bei $t = 0,79$ s, wenn die Nettokraft wiederum verschwindet. Jetzt ändert sich die Richtung von auf- zu abwärts.

Bei $t = 0,79$ s verlässt der Springer die Waage und ist für 0,31 s in der Luft. Im Graphen sehen wir das als Gerade, da als einzige Kraft die Gravitationskraft auf den Springer einwirkt. Diese konstante Kraft bewirkt eine gleichmäßige Beschleunigungsbewegung.

Um die Steigung des linearen Abschnittes zu finden, benutzen wir Spalte G, und berechnen dort die Steigung zwischen angrenzenden Zellen. Beginnend in Zelle G82, die der Zeit von 0,74 s entspricht, geben Sie die Formel $=(F82-F81)/0,01$ ein. Dann kopieren Sie die Formel bis in Zelle F112.

Die Werte liegen um $-9,7 \text{ m/s}^2$. Lassen Sie uns den Mittelwert berechnen. Dieser beträgt $-9,7 \text{ m/s}^2$. Indem wir den letzten Wert vernachlässigen, verbessert sich das Mittel ein wenig.

Die Geschwindigkeit ist beim Verlassen der Waage kleiner als bei der Landung. Wenn man die Waage verlässt, sind die Beine durchgedrückt, bei der Landung angewinkelt. Das ist die Ursache!

Vergleichen Sie diesen Graphen mit der Kraft, die die Nettokraft auf den Springer darstellt. Dann analysieren Sie den Graphen, indem Sie ihn mit dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm vergleichen. Bestätigt das die Ergebnisse?