

Flugzeugstart



Zielsetzung:

In diesem Experiment untersuchen wir die Bewegung eines Flugzeugs, indem wir seine Beschleunigung messen. Da es schwierig sein dürfte, dieses Experiment heutzutage ohne Probleme (zum Beispiel beim Check-In) durchzuführen, werden wir Daten benutzen, die vor dem 11. September 2001 gesammelt wurden. Das Flugzeug war eine Boeing 737 und die Daten wurden während des Abhebens von Stockholm-Arlanda gesammelt. Der Sensor war ein Beschleunigungsmesser, der mit einer CBL und einem TI83 verbunden war. Die gesammelten Daten wurden im Grafikrechner gespeichert und können nun mit dem Grafikrechner oder PC analysiert werden.

Materialien:

Gespeicherte Daten und einen TI-83 oder einen PC mit Excel.

Datengewinnung (TI 83)

Die Beschleunigungsdaten werden während der Bewegung auf der Startbahn des Flughafens gesammelt. Die Beschleunigungen werden in Liste L2 und die entsprechenden Zeiten in Liste L1 gespeichert. Die Beschleunigung wird in m/s^2 gemessen und die Zeit in Sekunden.

Da Sie das Experiment wahrscheinlich nicht auszuführen können (oder wollen), gibt es fertige Messdaten. Damit können Sie das Experiment nachvollziehen und analysieren. Falls es Ihnen möglich ist, das reale Experiment durchzuführen, folgen Sie dem Installationsvorgang, der in dem Experiment "Eine Autofahrt" beschrieben wird.

Sie können die Daten, die Sie zum Analysieren benötigen, auf der Seite "Musterdaten " finden. Wenn Sie einen TI83 Plus-Rechner haben, laden Sie die Gruppe FLDATA herunter. Für den Standardrechner TI83 müssen Sie die Listen L1 und L2 auf Ihren Rechner herunterladen.

Datenanalyse (TI 83)

Wenn Sie Probleme bei der Handhabung des Grafikrechners haben, benutzen Sie die Links.

Beginnen Sie mit der Aufzeichnung der Beschleunigung versus Zeit in einem Streudiagramm.

Analyse 1: Diskussion der Beschleunigungsdaten

Untersuchen Sie das Diagramm und deuten Sie es. Versuchen Sie herauszufinden, wo das Flugzeug abhebt. Beachten Sie dabei, dass das Flugzeug stark geneigt wird, wenn es vom Boden abhebt. Dadurch wird die gemessene Beschleunigung um die horizontale Komponente der Erdbeschleunigung beeinflusst.

Analyse 2: Untersuchung der Geschwindigkeit als Funktion der Zeit

Zuerst wollen wir das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm erstellen. Skizzieren Sie es vorher,

indem Sie das Beschleunigungs-Zeit-Diagramm von oben benutzen.

Beschleunigung wird definiert als $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, was als $\Delta v = a * \Delta t$ geschrieben werden kann.

Auf der linken Seite der Gleichheitszeichen haben wir die Änderung der Geschwindigkeit und auf der rechten die Länge des Zeitintervalls der Beschleunigung.

Berechnen Sie für jedes Zeitintervall die Änderung der Geschwindigkeit unter der Voraussetzung, dass die Beschleunigung in diesem kurzen Zeitintervall konstant ist. Benutzen Sie Liste L3 zur Berechnung der Änderung der Geschwindigkeit

Um die Geschwindigkeit als eine Funktion der Zeit zu bekommen, müssen wir die Änderungen der Geschwindigkeiten summieren. Dabei gehen wir davon aus, dass sie bei Null beginnt. Wir benutzen den Befehl CumSum (kummulierte Summe), der sich unter LIST befindet, Ops (Optionen) oder einfacher rufen Sie sie aus dem Katalog auf. Benutzen Sie Liste L4 zur Berechnung der kummulierten Summe von Liste L3.

Zeichnen Sie die Geschwindigkeits-Zeit-Daten in ein Streudiagramm. Sieht es aus, wie erwartet?

Betrachten sie das Diagramm und versuchen Sie es zu deuten. Wie sieht es mit der Geschwindigkeit beim Abheben des Flugzeugs aus?

Analyse 3: Untersuchung des zurückgelegten Weges als Funktion der Zeit

Wie weit bewegt sich das Flugzeug während der ersten zehn Sekunden? Wie lang muss das Rollfeld sein? Um diese und ähnliche Fragen beantworten zu können, zeichnen wir das Weg-Zeit-Diagramm.

Geschwindigkeit wird definiert als $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, was als $\Delta s = v * \Delta t$ geschrieben werden kann.

Auf der linken Seite der Gleichheitszeichen haben wir die Änderung des zurückgelegten Weges und auf der rechten die Länge des Geschwindigkeitsintervalls.

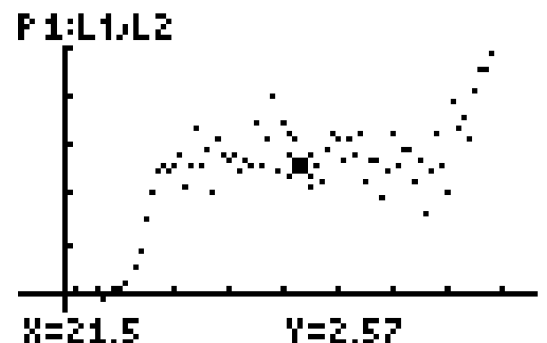
Jetzt kann man den Ablauf aus dem vorherigen Abschnitt wiedererkennen. So verfahren sie auf dieselbe Art und benutzen die Listen L5 und L6, um die neuen Werte zu speichern.

Deuten sie das Diagramm und beantworten die Fragen von oben.

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

Datenanalyse (TI 83)

Das Beschleunigungsdiagramm des Flugzeugstartes (der im Internet zu finden ist) ist nebenstehend abgebildet. Wir bemerken, dass die Datenpunkte infolge der Vibrationen etwas streuen.



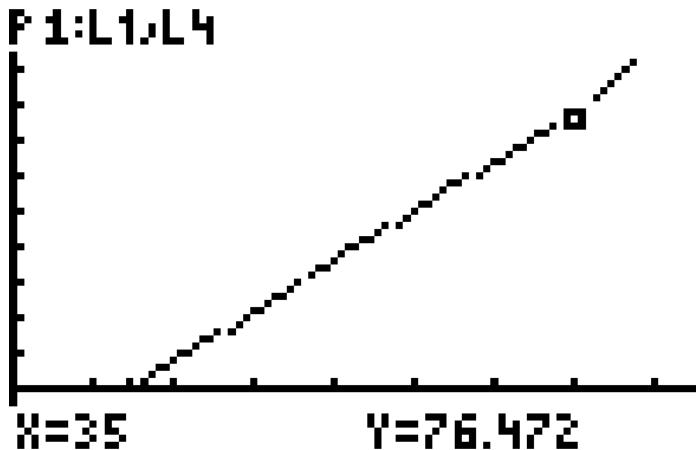
Analyse 1

Beim Start erhöht sich die Beschleunigung sehr schnell, bis

zu einem Wert von ungefähr 2,5 m/s². Dieser Wert bleibt bis zum Schluss ziemlich konstant. Das ist, wenn das Flugzeug abhebt und der Beschleunigungsmesser, der nach vorne gerichtet ist, sich ebenfalls neigt und beginnt, einen Teil der Erdbeschleunigung zu messen.

Analyse 2

Wenn wir die Geschwindigkeit als eine Funktion der Zeit darstellen, erhalten wir diese Grafik:



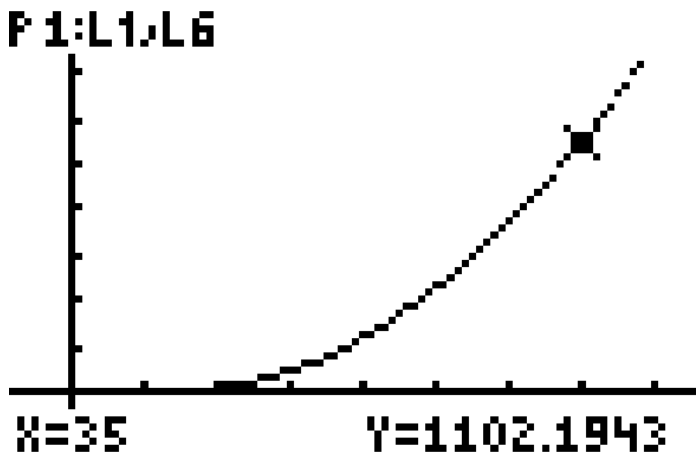
In dieser Grafik sehen wir, dass die Streuung der Daten, die von den Vibrationen des Flugzeuges herrühren, im Gegensatz zum ersten Diagramm, fast ganz verschwunden sind, wenn die kumulierte Summe berechnet wird. Das liegt daran, dass sie addiert die Summe Null ergeben.

Wir erkennen auch, dass die steigende Geschwindigkeit fast linear ist. Das

entspricht den ziemlich konstanten Beschleunigungsdaten. Bis auf den letzten Teil der Kurve, wo es eine Unterbrechung gibt, weil das Flugzeug abhebt, können wir die Geschwindigkeit beim Abheben auf 76m/s oder 273 km/h schätzen. Eine Geschwindigkeit, die das Flugzeug in weniger als 30 Sekunden erreicht!

Analyse 3

Wenn wir das alles wiederholen, erhalten wir das folgende Weg-Zeit-Diagramm:



Wenn wir davon ausgehen, dass das Flugzeug 35 s nach dem Beginn der Datenerfassung abhebt - gemäß unserer vorherigen Analyse - sehen wir, dass das Flugzeug einen Weg von 1100 m zurückgelegt hat! In nur 30 s!

Datenanalyse (mit Excel)

Die Beschleunigungsdaten aus dem Experiment wurden mit Hilfe eines Graph-Link-Verbindungskabels auf ein Excel-Tabellenblatt übertragen. Öffnen sie die Datei "Takeoff" (Start). Während des Experiments betrug die Datenrate 2 Punkte pro Sekunde, das bedeutet 0,5 s zwischen den Messpunkten. Nur 79 Messpunkte wurden gesammelt. Es handelt sich hier um ein kurzes Experiment, das nur 40 Sekunden dauerte.

Die Zeitdaten (Einheit s) sind in Spalte A und die Beschleunigungsdaten (Einheit m/s²) in

Spalte B.

Erstellen Sie das Beschleunigungs-Zeit-Diagramm als Streudiagramm.

Analyse 1: Diskussion der Beschleunigungsdaten

Untersuchen Sie das Diagramm und deuten Sie es. Versuchen Sie herauszufinden, wo das Flugzeug den Boden verlässt. Beachten Sie dabei, dass das Flugzeug stark geneigt wird, wenn es vom Boden abhebt. Dadurch wird die gemessene Beschleunigung um die horizontale Komponente der Erdbeschleunigung beeinflusst.

Analyse 2: Untersuchung der Geschwindigkeit als Funktion der Zeit

Zuerst wollen wir das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm erstellen.

Beschleunigung wird definiert als $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, was als $\Delta v = a * \Delta t$ geschrieben werden kann.

Auf der linken Seite der Gleichheitszeichen haben wir die Änderung der Geschwindigkeit und auf der rechten die Länge des Zeitintervalls der Beschleunigung.

Am Anfang ist das Flugzeug im Ruhezustand. Wir wissen also, dass die Anfangsgeschwindigkeit Null ist. Wir können die Änderung der Geschwindigkeit für jedes Zeitintervall berechnen, indem wir die Beschleunigung während dieses Intervalls und die Intervalllänge benutzen. Dann ist es auch möglich die Summe der Änderungen der Geschwindigkeit zu berechnen. Berechnen Sie die Änderungen der Geschwindigkeit für jedes Intervall und summieren Sie sie.

Zeichnen Sie die Geschwindigkeitsdaten versus Zeit in ein Streudiagramm. Da die Spalten nicht nebeneinander liegen, funktioniert das anders als oben beschrieben.

Betrachten Sie das Diagramm und versuchen Sie es zu deuten. Wie sieht es mit der Geschwindigkeit beim Abheben des Flugzeugs aus?

Analyse 3: Untersuchung des zurückgelegten Weges als Funktion der Zeit

Wie weit bewegt sich das Flugzeug während der ersten zehn Sekunden? Wie lang muss das Rollfeld sein? Um diese und ähnliche Fragen beantworten zu können, zeichnen wir das Weg-Zeit-Diagramm.

Geschwindigkeit wird definiert als $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, was als $\Delta s = v * \Delta t$ geschrieben werden kann.

Auf der linken Seite der Gleichheitszeichen haben wir die Änderung des zurückgelegten Weges und auf der rechten die Länge des Geschwindigkeitsintervalls.

Jetzt kann man den Ablauf aus dem vorherigen Abschnitt wieder erkennen. So fahren Sie auf dieselbe Art fort.

Deuten Sie das Diagramm. Welche Wegstrecke hat das Flugzeug zurückgelegt?

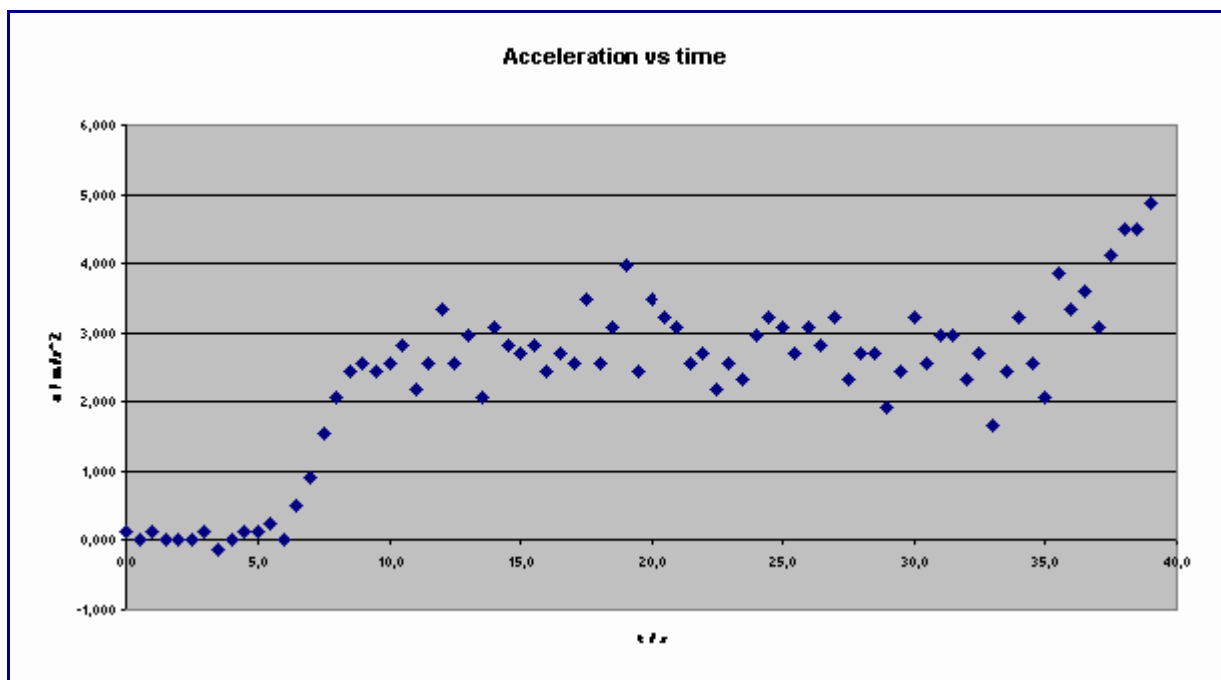
Wenn Sie Ihre Arbeit beendet haben, können Sie Ihre Schlussfolgerungen mit der vollständigen (Muster-)Analyse vergleichen.

Vollständige Analyse (mit Excel)

Vollständige Analyse 1

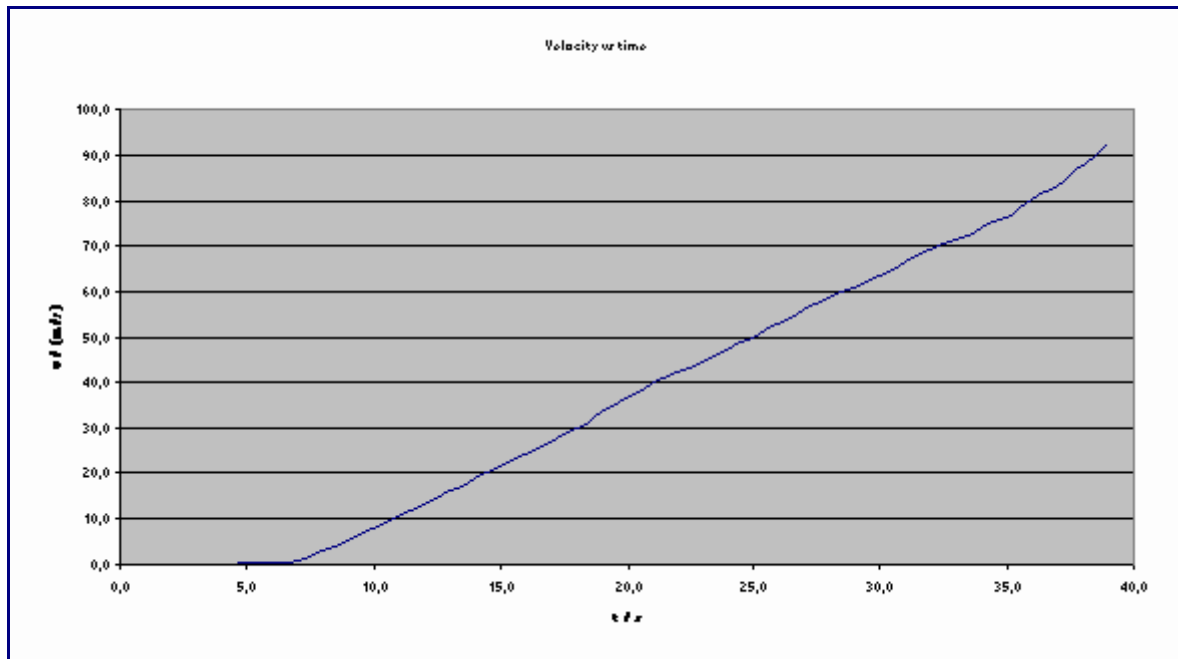
Das Beschleunigungs-Zeit-Diagramm ist unten abgebildet. Wie wir sehen, sind die Daten gestreut. Der Hauptgrund dafür sind die Vibrationen des Flugzeugs, wenn es auf dem Rollfeld beschleunigt, die Störsignale beim Beschleunigungsmesser verursachen. Trotz dieser Störungen können wir einen Level konstanter Beschleunigung in der Vorwärtsrichtung identifizieren. Der Wert scheint um die $2,7 \text{ m/s}^2$ zu liegen.

Aber lassen Sie uns am Anfang beginnen. Das Flugzeug ist einen Moment in Ruhestellung, bevor es startet. Bei ungefähr 6,0 Sekunden gibt es eine Änderung. Das Flugzeug beginnt auf dem Rollfeldes zu beschleunigen. Dann erscheint eine Zeitspanne mit relativ konstanter Beschleunigung (mit Störsignalen). Am Ende der Studie haben wir schließlich einen Anstieg in der Beschleunigung, der zeigt, dass das Flugzeug den Boden verlassen hat. Das Flugzeug neigt sich gegen die Horizontale, was einen Anstieg der Beschleunigung verursacht. Dieser Anstieg ist abhängig von dem Betrag der horizontalen Komponente der Schwerkraft, die aus dem Neigungswinkel resultiert. Wenn das Flugzeug in der Luft ist, kann die Beschleunigung (ohne das Risiko eines Reifenschadens) in die Vorwärtsrichtung erhöht werden. Die Zeit bis zum Abheben liegt bei annähernd 36 Sekunden.



Vollständige Analyse 2

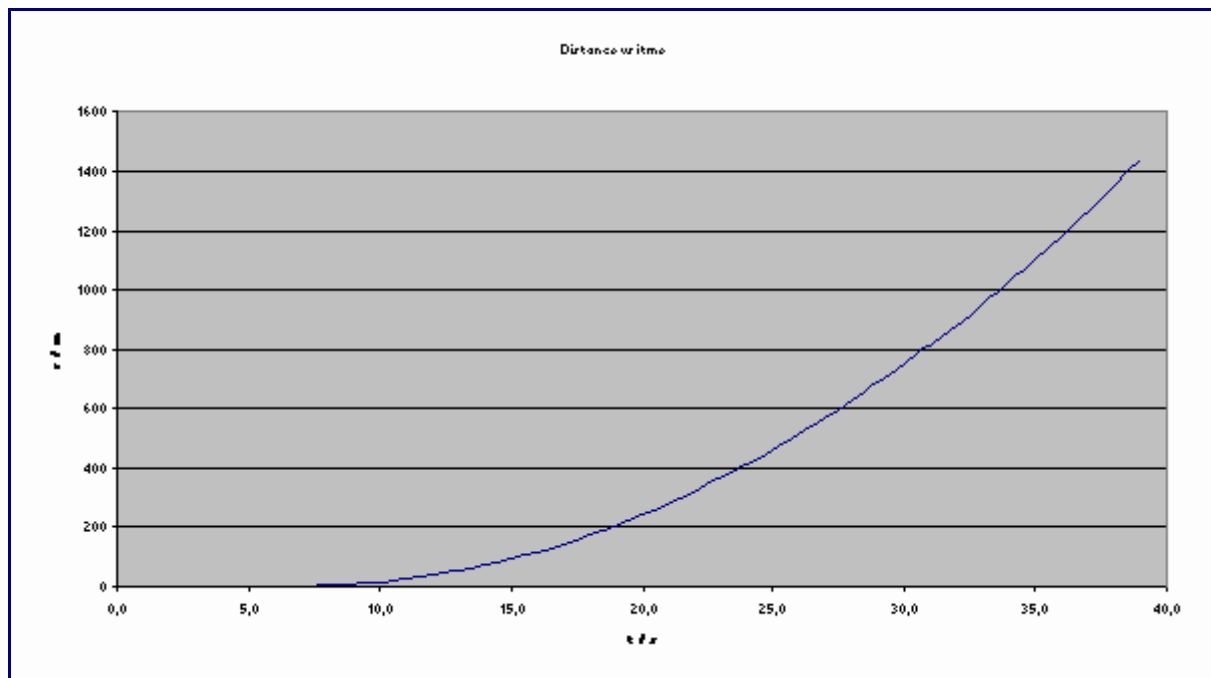
Wenn wir das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm erstellen, erhalten wir folgende Grafik:



Der Graph hat einen recht linearen Teil zwischen 7,0 s und 35,0 s. Die Beschleunigung ist daher annähernd konstant, solange das Flugzeug auf dem Boden ist. Die Geschwindigkeit beim Abheben beträgt 80 m/s nach 36,0 s, das entspricht 290 km/h.

Vollständige Analyse 3

Das Weg-Zeit-Diagramm sieht folgendermaßen aus:



Während der ersten 10 Sekunden legt das Flugzeug 16 Meter zurück. Wenn das Flugzeug abhebt, hat es etwa 1400 Meter zurückgelegt. Das ist die Minimallänge auf dem Rollfeld.