

# Eine Fahrstuhlfahrt



## Zielsetzung:

In diesem Experiment ist es unser Ziel die Bewegung eines Fahrstuhls zu untersuchen und seine Beschleunigung zu messen. Der Sensor ist ein Beschleunigungsmesser, der mit der CBL oder einem LabPro verbunden wird. Die gesammelten Daten werden im Grafikrechner gespeichert und können sowohl mit dem Rechner als auch mit dem PC analysiert werden. Alternativ ist die Auswertung von Beispieldaten möglich.

## Materialien:

Fahrstuhlkabine, CBL, Beschleunigungsmesser und TI-83. Alternativ kann der Versuch mit gespeicherten Daten nachvollzogen werden: Mit dem TI-83 oder dem PC mit dem Programm Excel.

## Datengewinnung (TI 83)

Bevor Sie das Experiment starten, stellen Sie sicher, dass die Programme ACCCAR und ACCCAL auf Ihrem TI-83 sind. Falls nicht, installieren Sie diese.

Starten Sie das Programm ACCCAR. Als Erstes werden Sie gefragt, ob der Beschleunigungsmesser kalibriert werden muss. Sie müssen ihn für jedes neue Experiment kalibrieren. Daher ist die Antwort Y (für Yes). Folgen Sie dann den Anweisungen auf dem Bildschirm des Rechners. Als 0-Position nehmen Sie die Bewegungsrichtung der Kabine. Besonders wichtig ist es, dass der Beschleunigungsmesser während der Kalibrierung absolut ruhig gehalten wird.

Als Nächstes muss die Anzahl der Datenpunkte pro Sekunde eingegeben werden. Die Antwort hängt von der Länge der Fahrt ab. Geben Sie zum Beispiel 10 ein. Auf Nachfrage geben Sie anschließend die Anzahl der Datenpunkte ein, z.B. 300. In diesem Beispiel werden die Daten für 30 Sekunden gesammelt. Jetzt drücken Sie ENTER, um mit der Datenerfassung zu beginnen.

Bringen Sie den Beschleunigungsmesser vertikal, mit dem Pfeil nach oben, an, damit er die Beschleunigung in der vertikalen Richtung misst. Starten Sie das Experiment, indem Sie ENTER drücken und den Fahrstuhl starten.

Wenn das Experiment abgeschlossen ist, zeigt der Bildschirm des Rechners ein Beschleunigungs ( $\text{m/s}^2$ )-Zeit(s)-Diagramm. Die Beschleunigung wird in Liste L2 und die Zeit in Liste L1 gespeichert. Wenn Sie das Experiment wiederholen, können Sie die Kalibrierung auslassen.

Wenn Sie das Experiment nicht durchführen können, benutzen Sie die Beispieldaten, an denen Sie das Experiment nachvollziehen und analysieren können. Die Optionen finden Sie unten.

Sie können die Dateien, die Sie zur Datenanalyse benötigen, in den entsprechenden Ordnern finden. Wenn Sie einen TI83Plus haben, laden Sie die Gruppe ELEVDATA herunter. Wenn Sie den Standardrechner TI83 haben, müssen Sie die Listen L1 und L2 auf Ihren Rechner laden.

## Datenanalyse (TI 83)

Wenn Sie Hilfe bei der Bedienung Ihres Grafikrechners brauchen, nutzen Sie die Links der Internetseite.

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

### Analyse 1: Diskussion der Beschleunigungsdaten

Untersuchen Sie Das Diagramm und versuchen Sie herauszufinden, wie der Fahrstuhl sich während des Experiments bewegt. Wenn Sie Beispieldaten benutzen, müssen Sie wissen, dass der Pfeil des Beschleunigungsmessers während des Experiments nach oben zeigt und die Daten in Bezug zu dieser Position erfasst. Versuchen Sie nun das Diagramm zu interpretieren. Z.B.: Wie ist die Fahrtrichtung? Denken sie daran, dass hier die Beschleunigung gemessen wird! Was bedeutet der Spitzenwert? Belegen Sie Ihre Antworten.

### Analyse 2: Untersuchung der Geschwindigkeit als eine Funktion der Zeit

Bevor Sie das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm erstellen, sollten Sie versuchen es zu skizzieren.

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

werden. Zur Linken des Gleichheitszeichens haben wir die Änderung der Geschwindigkeit und zur Rechten die Beschleunigung multipliziert mit der Länge des Zeitintervalls.

Berechnen Sie die Änderung der Geschwindigkeit in jedem Zeitintervall, wobei Sie davon ausgehen können, dass die Beschleunigung in diesem schmalen Zeitintervall konstant ist. Benutzen Sie Liste L3 zur Berechnung der Änderung der Geschwindigkeit.

Um die Geschwindigkeit als eine Funktion der Zeit auszurechnen, müssen wir die Änderung der Geschwindigkeit summieren, wobei wir davon ausgehen, dass sie bei Null beginnt. Für diesen Vorgang brauchen wir den Befehl CumSum (cumulated sum), der in LIST, Ops oder am einfachsten im CATALOG zu finden ist. Benutzen Sie Liste L4 zur Berechnung der kummulierten Summe von Liste L3.

Zeichnen Sie die Geschwindigkeitsdaten versus Zeit in einem Streudiagramm. Sieht es aus, wie erwartet?

Sehen sie sich den Graphen an und versuchen Sie seinen Verlauf zu erklären. Z.B., wie ist die Fahrtrichtung? Was bedeuten zwei getrennte Spitzenwerte? Fährt der Fahrstuhl die ganze Zeit in die gleiche Richtung? ...

### Analyse 3: Die Entfernung als eine Funktion der Zeit untersuchen

Können Sie Aussagen darüber machen, durch wie viele Stockwerke der Fahrstuhl während der Studie fährt? Hält er irgendwo an? Wenn ja, in welchen Stockwerken? Um diese und ähnliche Fragen zu beantworten, zeichnen wir das Entfernungs-Zeit-Diagramm.

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

Zur Linken des Gleichheitszeichens haben wir die Änderung des zurückgelegten Weges und zur Rechten die Geschwindigkeit multipliziert mit der Länge des Zeitintervalls.

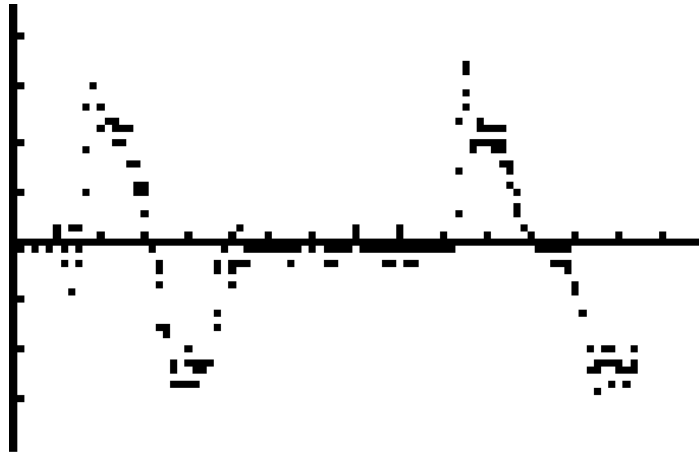
Hier finden Sie die Aktionen aus dem vorhergehenden Abschnitt wieder. Daher fahren Sie auf dieselbe Weise fort und benutzen die Listen L5 und L6, um die neuen Daten zu speichern.

Erklären Sie den Graphen und beantworten Sie die Fragen von oben.

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

## Vollständige Analyse (TI83)

Das Diagramm, das aus den Beschleunigungsdaten der Fahrstuhlfahrt gewonnen wurde, ist nebenstehend abgebildet. Wie wir sehen können, sind die Datenpunkte aufgrund leichter Vibrationen etwas gestreut.



### Analyse 1

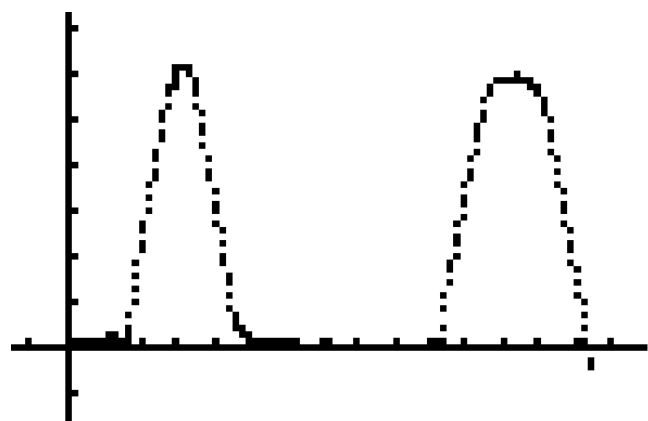
Nach einem kurzen Moment gibt es eine positive Beschleunigung, d.h. die Fahrstuhlkabine beschleunigt aufwärts. Bei ungefähr 6 s bis zu 10 s reduziert der Fahrstuhl seine Geschwindigkeit. Der Bereich zwischen dem Graphen und der x-Achse in den positiven und negativen Ausschlägen scheint gleich zu sein. Das zeigt, dass der Fahrstuhl einige Stockwerke über dem Startlevel in Ruheposition war.

Der Fahrstuhl macht für 10 s Pause. Dann bewegt er sich weiter aufwärts. Zuerst beschleunigt er, dann fährt er mit gleichmäßiger Geschwindigkeit (keine Beschleunigung) bis er wieder bremst. Die Aufzeichnung endet kurz bevor der Aufzug steht.

### Analyse 2

Wenn wir die Geschwindigkeit als eine Funktion der Zeit darstellen, erhalten wir folgendes Diagramm:

In diesem Diagramm sehen wir, dass die Fehler durch die Vibrationen fast ganz verschwinden, wenn wir die kummulierte Summe berechnen. Das liegt daran, dass sie zufällig ausgewählt wurden und wenn wir sie addieren erhalten wir eine Summe = 0.

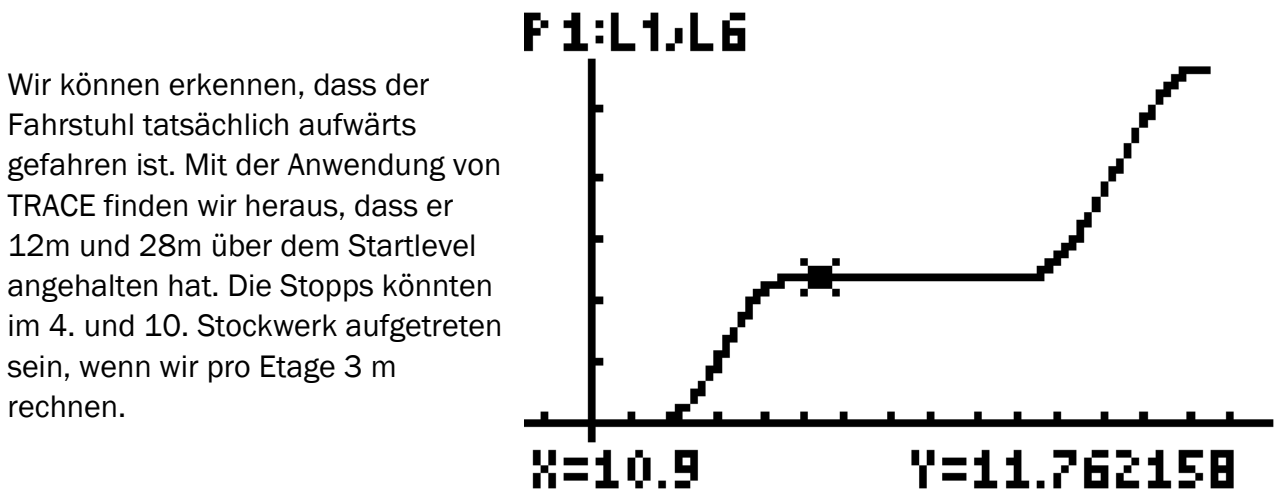


Wir sehen in der Grafik, dass die Geschwindigkeit positiv ist, da sich der Fahrstuhl in die Richtung der positiven Beschleunigung bewegt, nämlich aufwärts. Der erste Höchstwert ist das Resultat der Beschleunigung, gefolgt von einer Verlangsamung in Aufwärtsrichtung. Der Aufzug stoppt zwischen 10 s und 20 s, dann fährt er weiter aufwärts. Diesmal bewegt sich der Fahrstuhl für einige Sekunden mit einer konstanten Geschwindigkeit bevor er für den nächsten Stopp wieder abbremst.

Wie wir sehen können, ist die Geschwindigkeit am Ende negativ. Entsprechend dem Beschleunigungsgraphen oben wurde das Experiment beendet, bevor der Fahrstuhl wieder komplett zum Stillstand kam. Das bedeutet, dass die Geschwindigkeit am Ende positiv sein müsste (was aber nicht der Fall ist). Das ist das Resultat der Summierung aller systematischen Fehler, die auf den Schwierigkeiten beruhen, den Beschleunigungsmesser zu kalibrieren. Ein kleiner Fehler in jedem Datenpunkt addiert sich zu einem großen Fehler auf, wenn er systematisch ist.

### Analyse 3

Nachdem alles noch einmal durchgeführt wurde, erhalten wir folgendes Weg-Zeit-Diagramm.



### Datenanalyse (mit Excel)

Die Beschleunigungsdaten aus dem Experiment wurden mit dem Graph-Link-Verbindungskabel auf ein Excel Tabellenblatt übertragen. Öffnen Sie die Datei Fahrstuhl\_fahrt. Sie finden sie [hier](#). Während des Experiments betrug die Daten-Sammelrate 2 Punkte pro Sekunde. Das bedeutet, es liegen 0,5 s zwischen den Einzelmessungen. Insgesamt wurden 290 Datenpunkte aufgenommen. Das Experiment dauert 145 Sekunden, also etwas mehr als zwei Minuten.

Die Zeitdaten (Einheit s) sind in Spalte A und die Beschleunigungswerte (in  $\text{m/s}^2$ ) in Spalte B.

Zeichnen Sie die Beschleunigung versus Zeit in einem Streudiagramm. Wenn Sie Hilfe benötigen, sehen Sie auf der Webseite "Wie erstelle ich ein Streudiagramm in Excel?" nach. Dort finden Sie ein Streudiagramm, das aus anderen Datenreihen erstellt wurde.

### Analyse 1: Diskussion der Beschleunigungsdaten

Untersuchen Sie das Diagramm und versuchen Sie herauszufinden, wie sich der Fahrstuhl während des Experiments bewegt. Wenn Sie Beispieldaten benutzen, müssen Sie wissen, dass der Pfeil des Beschleunigungsmessers während des Experiments nach oben zeigt und die Daten in Bezug zu dieser Position erfasst. Versuchen Sie nun das Diagramm zu interpretieren. Z.B.: Wie ist die Fahrtrichtung. Denken sie daran, dass hier die Beschleunigung gemessen wird. Was bedeutet der Spitzenwert? Verteidigen sie Ihre Antworten.

### Analysis 2: Untersuchung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

Das erste Ziel ist die Erstellung des Geschwindigkeits-Zeit-Diagramms.

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

Zur Linken des Gleichheitszeichens haben wir den Änderung der Geschwindigkeit und zur Rechten die Beschleunigung multipliziert mit der Länge des Zeitintervalls.

Der Fahrstuhl befindet sich am Anfang in Ruhestellung. Daher wissen wir, dass die Anfangsgeschwindigkeit Null beträgt. Wir können die Änderung der Geschwindigkeit in jedem Zeitintervall einfach berechnen, indem wir die Nettobeschleunigung und die Intervalllänge benutzen. Dann ist es auch möglich, die Summen der Änderungen der Geschwindigkeit zu berechnen. Berechnen Sie die Änderungen der Geschwindigkeit und die Summen davon.

Stellen Sie die Geschwindigkeitsdaten versus Zeit in einem Streudiagramm dar. Da die Spalten nicht nebeneinander liegen, funktioniert das etwas anders als oben.

Jetzt versuchen Sie den Graphen zu deuten. Z.B.: Wie ist die Fahrtrichtung? Was bedeuten zwei getrennte Spitzenwerte? Warum gibt es ein Plateau auf dem zweiten Höchstwert? Fährt der Fahrstuhl die ganze Zeit in dieselbe Richtung?

### Analyse 3: Die Entfernung als eine Funktion der Zeit untersuchen

Können Sie Aussagen darüber machen, durch wie viele Stockwerke der Fahrstuhl während des Experiments fährt? Hält er irgendwo an? In welchen Stockwerken? Um diese und ähnliche Fragen zu beantworten zeichnen wir das Entfernungs-Zeit-Diagramm.

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

Zur Linken des Gleichheitszeichens haben wir die Änderung des zurückgelegten Weges und zur Rechten die Geschwindigkeit multipliziert mit der Länge des Zeitintervalls.

Hier finden Sie die Aktionen aus dem vorhergehenden Abschnitt wieder. Daher fahren Sie auf dieselbe Weise fort.

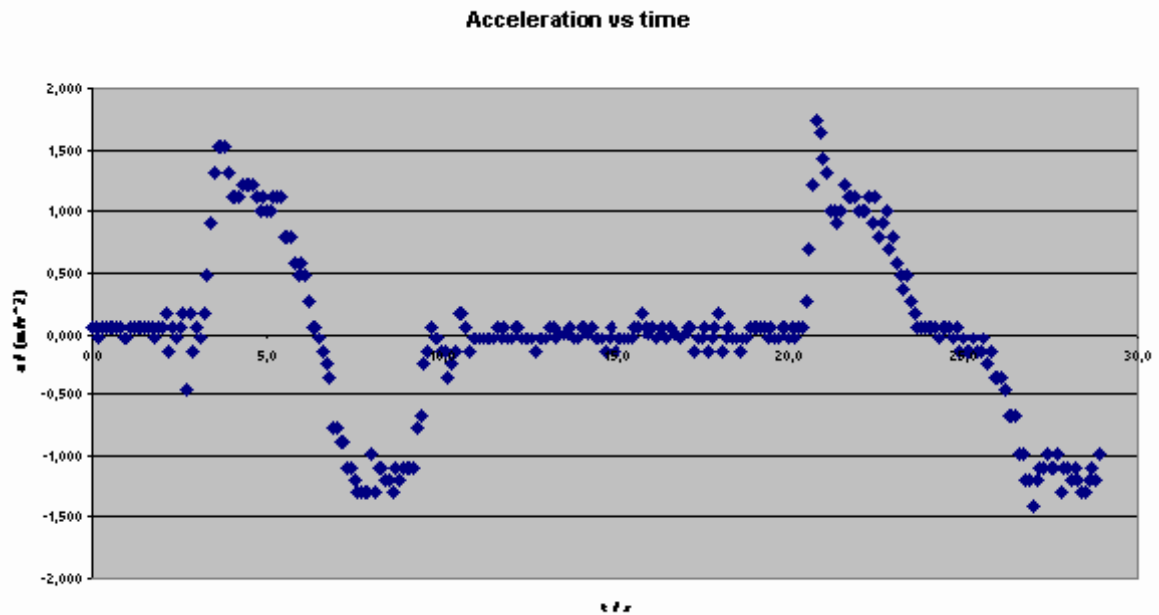
Erklären Sie den Graphen und beantworten Sie die Fragen von oben.

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

## Vollständige Analyse (MS EXCEL)

### Vollständige Analyse 1

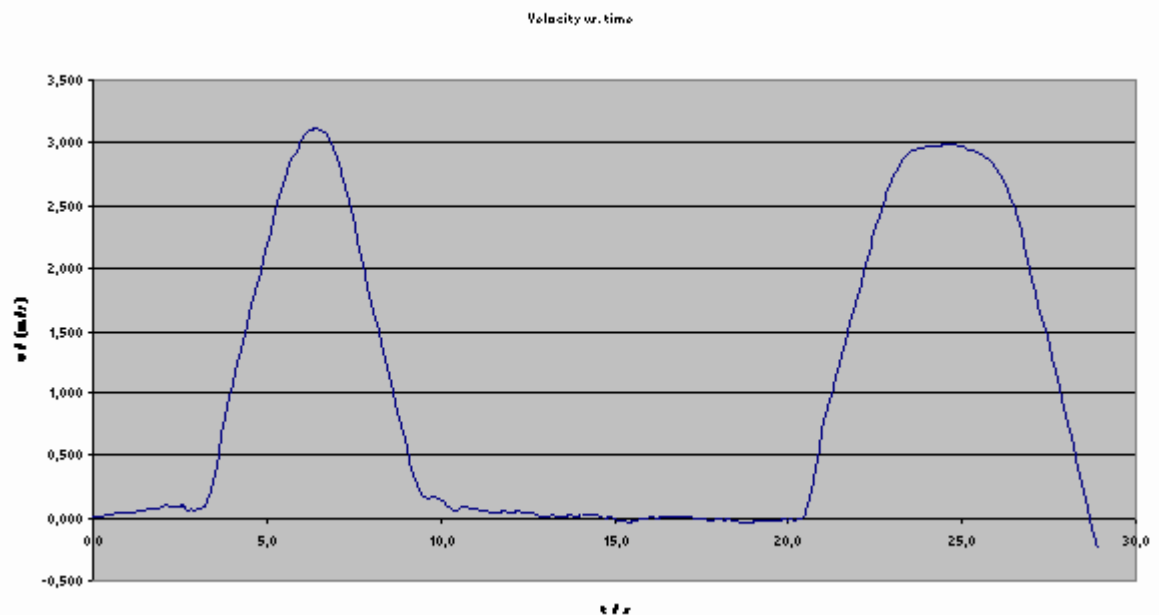
Das Diagramm, das aus den Beschleunigungsdaten der Fahrstuhlfahrt gewonnen wurde, ist unten abgebildet. Wie wir sehen können, sind die Datenpunkte aufgrund leichter Vibrationen ein wenig gestreut.



Nach einem kurzen Moment gibt es eine positive Beschleunigung, d.h. die Fahrstuhlkabine beschleunigt aufwärts. Bei ungefähr 6 s bis zu 10 s reduziert der Fahrstuhl seine Geschwindigkeit. Der Bereich zwischen dem Graphen und der x-Achse in den positiven und negativen Ausschlägen scheint gleich zu sein. Das zeigt, dass der Fahrstuhl einige Stockwerke über dem Startlevel in Ruheposition war.

Der Fahrstuhl macht für 10 s Pause. Dann bewegt er sich weiter aufwärts. Zuerst beschleunigt er, dann fährt er mit gleichmäßiger Geschwindigkeit (keine Beschleunigung), bis er wieder bremst. Das Experiment endet kurz bevor der Aufzug steht.

## Vollständige Analyse 2

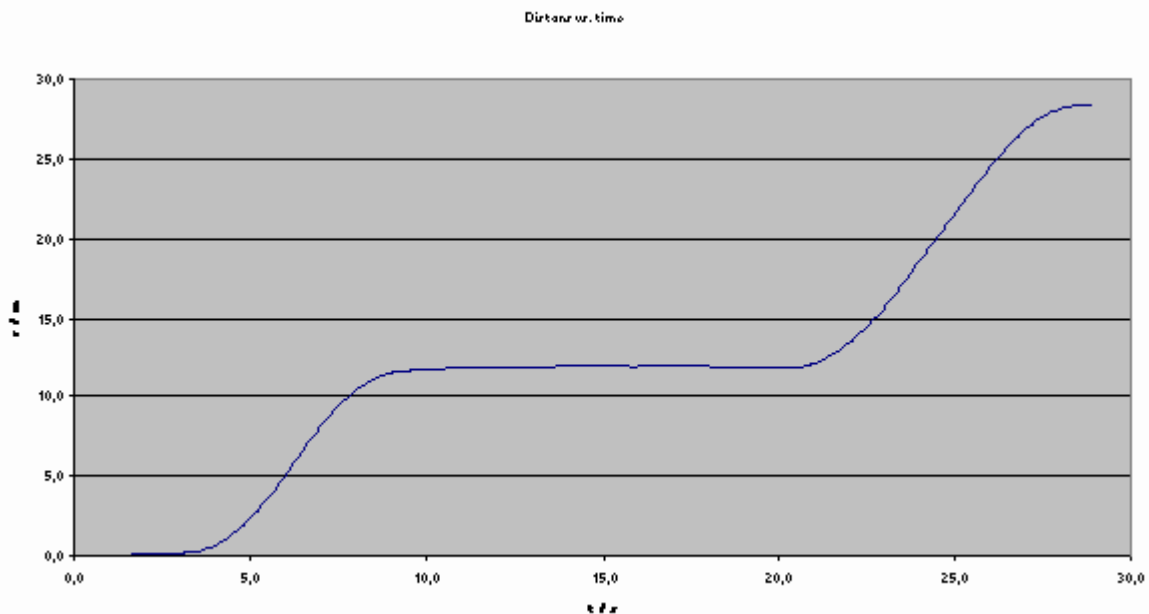


In diesem Diagramm sehen wir, dass die Fehler durch die Vibrationen fast ganz verschwinden, wenn wir die kummulierte Summe berechnen. Das liegt daran, dass sie zufällig ausgewählt wurden und wenn wir sie addieren erhalten wir eine Summe = 0.

Wir sehen in der Grafik, dass die Geschwindigkeit positiv ist, da sich der Fahrstuhl in die Richtung der positiven Beschleunigung bewegt, nämlich aufwärts. Der erste Höchstwert ist das Resultat der Beschleunigung, gefolgt von einer Verlangsamung in die Aufwärtsrichtung. Der Aufzug stoppt zwischen 10 s und 20 s, dann fährt er weiter aufwärts. Diesmal bewegt sich der Fahrstuhl für einige Sekunden mit einer konstanten Geschwindigkeit, bevor er für den nächsten Stopp wieder abbremst.

Wie wir sehen können, ist die Geschwindigkeit am Ende negativ. Entsprechend dem Beschleunigungsgraphen oben wurde das Experiment beendet, bevor der Fahrstuhl wieder komplett zum Stillstand kam. Das bedeutet, dass die Geschwindigkeit am Ende positiv sein müsste (was aber nicht der Fall ist). Das ist das Resultat der Summierung aller systematischen Fehler, die auf den Schwierigkeiten beruhen, den Beschleunigungsmesser zu kalibrieren. Ein kleiner Fehler in jedem Datenpunkt addiert sich zu einem großen Fehler auf, wenn er systematisch ist.

### Vollständige Analyse 3



Wir können erkennen, dass der Fahrstuhl tatsächlich aufwärts gefahren ist. Mit der Anwendung von TRACE finden wir heraus, dass er 12 m und 28 m über dem Startlevel angehalten hat. Die Stopps könnten im 4. und 10. Stockwerk aufgetreten sein, wenn wir pro Etage 3 m rechnen.