Praktikum M1
Beschleunigte Bewegung

Alena Zwanzig (722348)
Harald Haakh (720708)

Messungen vom 04.12.2003

1 Atwoodsche Fallmaschine

1.1 Beschreibung des Experiments

Über eine Rolle der Masse $m_0 = 140g \pm 0.1g$ hängen zwei gleichschwere Gewichte der Masse $M = 170g \pm 0.1g$ zunächst im Gleichgewicht. Eines der beiden wird durch ein zusätzliches Gewicht der Masse $m = 3.9g \pm .01g$ beschwert.
Das ganze System wird durch diese zusätzliche Gewichtskraft gleichmäßig beschleunigt. Nach der Strecke s_1 wird das zusätzliche Gewichtsstück abgehoben. Die beiden Massestücke bewegen sich nun gradlinig gleichförmig. Wir maßen jeweils die Zeiten, die das System benötigte um verschiedene Strecken $15cm \leq s_1 \leq 105cm$ beschleunigt und anschließend eine Strecke von $\Delta s = 30cm$ unbeschleunigt zurückzulegen.
Um die Bremsverzögerung und damit die Reibung der Rolle zu berechnen maßen wir in einem weiteren Versuch Bremszeit und Bremsweg des Systems nachdem m nach einer konstante Beschleunigungsstrecke von $s_b = 20cm$ abgehoben wurde.

1.2 Theoretische Beschleunigung

Das gesamte System wird durch die Gewichtskraft des zusätzlichen Körpers der Masse m beschleunigt. Die beschleunigende Kraft ist demnach: $F_b = mg$
Um die Massen in Bewegung zu setzen ist nötig: $F_{M+m} = (2M + m)a$
Um die Rolle in Rotation zu versetzen ist nötig: $\tau = J\alpha = rF_r; J = \frac{m_0}{2}r^2 \Rightarrow F_r = \frac{J\alpha}{r} = \frac{Ja}{r^2} = \frac{m_0}{2}a$
Für die Beschleunigung des Gesamtsystems ergibt sich:

$$F_b = F_r + 2F_{M+m}$$

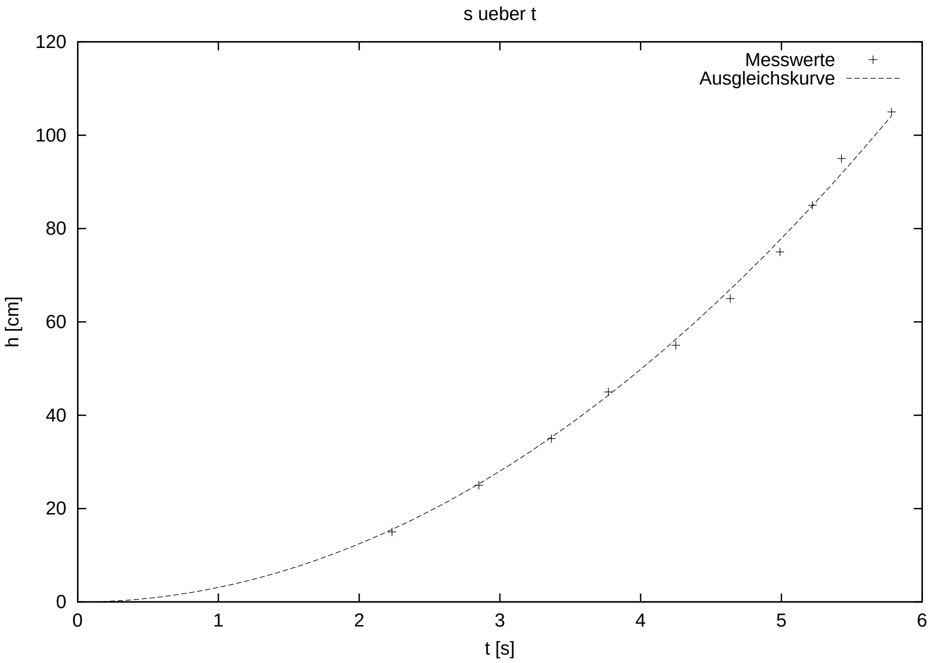
$$a = \frac{mg}{2M + m + \frac{m_0}{2}}$$

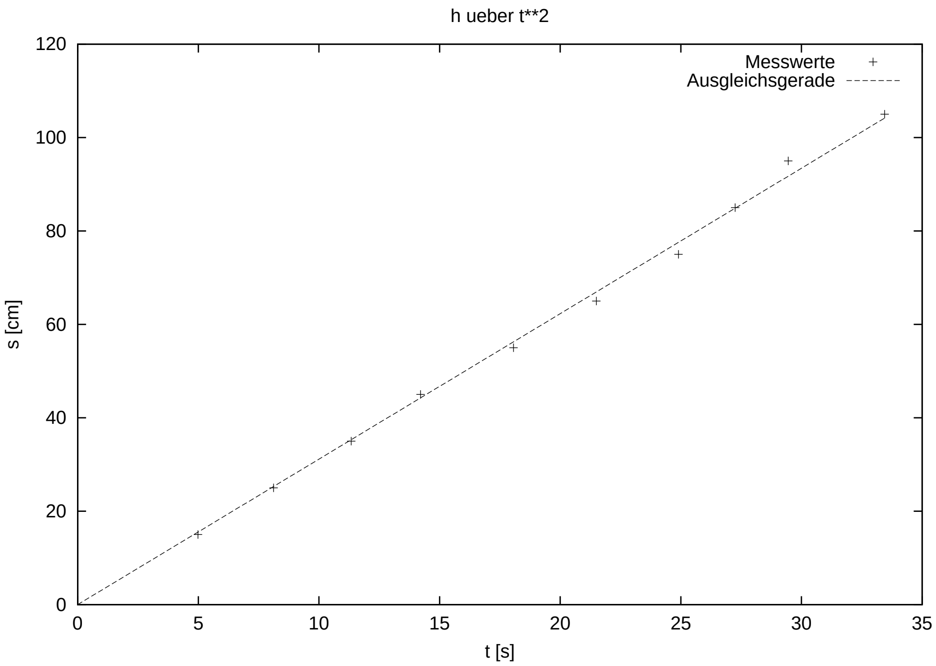
$$|u_a| = |\frac{\partial a}{\partial m}u_m| + |\frac{\partial a}{\partial M}u_M| + |\frac{\partial a}{\partial m_0}u_{m_0}| = 0.3\frac{cm}{s^2}$$

Mit der Messunsicherheit von $\pm 0.1g$ bei den Massen erhalten wir als theoretischen Wert $a = (9.5 \pm 0.3)\frac{cm}{s^2}$

1.3 Bestimmung der Beschleunigung aus dem s-t-Diagramm

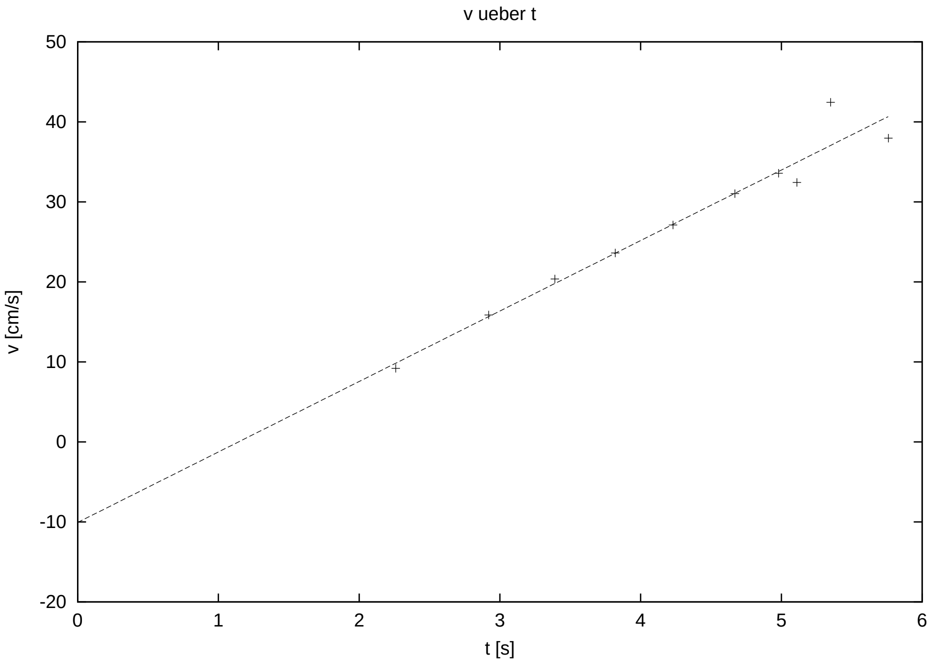
Im $h = h(t)$-Diagramm ermittelte das Programm *GnuPlot* für eine Ausgleichskurve der Form $h(t) = \frac{1}{2}at^2$ den Parameter $a = 6.2\frac{cm}{s^2} \pm 0.3\frac{cm}{s^2}$. Die Ungenauigkeit bestimmten wir aus dem Wertepaar mit dem größten Vertrauensbereich der gemessenen Zeit ($t_1 = 5.42s \pm 0.1s; s_1 = 95cm \pm 0.5cm$).
Im $h = h(t^2)$-Diagramm ergab sich eine Ausgleichgerade. $h(x) = \frac{1}{2}ax; x = t^2$ mit demselben Wert für a, wobei $\frac{1}{2}a$ gerade die Steigung der Geraden ist.





1.4 Bestimmung der Beschleunigung aus dem v-t-Diagramm

Im $v - t$-Diagramm ermittelte das Programm *GnuPlot* für eine Ausgleichsgerade der Form $v(t) = at + c$ die Parameter $a = 8.80 \frac{cm}{s^2}$ und $c = -10.1 \frac{cm}{s}$.



Die gemessenen Zeiten t_2 dürften in etwa stimmen, da die Reaktionszeit sowohl am Anfang als auch am Ende des Intervalls auftritt und sich in etwa ausgleicht. Der negative Y-Achsenabschnitt kann so interpretiert werden, dass die theoretische Geschwindigkeit erst etwa $1s$ später erreicht wird, was wohl durch die eben nicht idealen Reibungsverhältnisse zu erklären ist.
Die Ausreißer am rechten Ende des Diagramms kommen dadurch zustande, dass bei wachsender Beschleunigungsstrecke die Zeit, mit der die feste Messstrecke für die Geschwindigkeit durchlaufen wird, so kurz wird ($< 1s$), dass eine exakte Messung hier mit den gegebenen Hilfsmitteln nicht mehr möglich ist.
Diese Messreihe ist - wie man sieht - ungenauer als der Wert aus dem s-t-Diagramm, zudem mehr zu messende Größen mit einfließen. Im Folgenden wird deshalb der genauere aus dem s-t-Diagramm abgelesene Wert weiterverwendet.

1.5 Bestimmung der Bremsverzögerung

Die Differenz zwischen dem theoretischen und dem gemessenen Wert der Beschleunigung beträgt

$$\Delta a = a_{theoretisch} - a_{gemessen} = (9.5 \pm 0.3 - 6.2 \pm 0.3)\frac{cm}{s^2} = (3.3 \pm 0.6)\frac{cm}{s^2}$$

Wir erhielten bei einer Beschleunigungsstrecke von $s_1 = 20cm$ als mittlere Bremszeit $t_b = 5.44s \pm 1s$ und für den mittleren Bremsweg $s_b = 46.8cm \pm 0.5cm$. Da die Streuung der Bremswege deutlich größer als die Ableseungenauigkeit ($\pm 0.5cm$) war, nahmen wir als Messungenauigkeit das Vertrauensintervall von $\Delta s_b = 2cm$ an. Für die Bremszeit nahmen wir das Vertrauensintervall von $\Delta t_b = 0.3s$ und für die Beschleunigungszeit das oben benutzte Intervall von $\Delta t_1 = 0.1s$ an.

$$a_{R;s} = \frac{s_1}{s_b} a_{gemessen} = (2.8 \pm 0.2)\frac{cm}{s^2}$$

$$a_{R;t} = \frac{t_1}{t_b} a_{gemessen} = (3.1 \pm 0.5)\frac{cm}{s^2}$$

Damit liegen die experimentell ermittelten Werte der Bremsverzögerung in der Größenordnung von Δa.

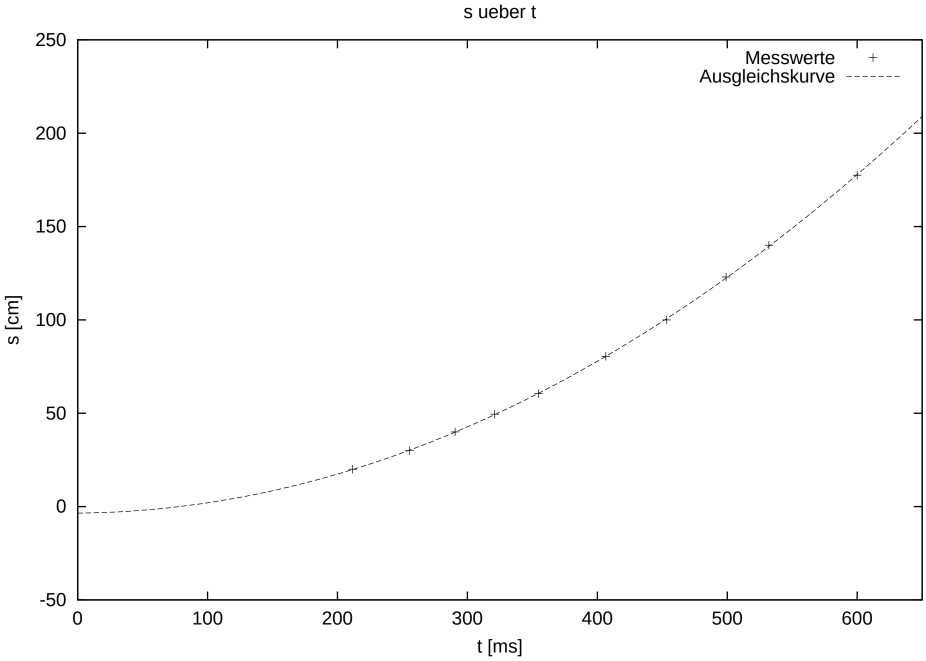
2 Bestimmung der Fallbeschleunigung

Wir maßen die Fallzeit für 10 Fallstrecken zwischen 20cm und 200cm je fünf mal mittels zweier Lichtschranken. Die obere Lichtschranke war möglichst nah unter der Starthöhe der fallenden Kugel, um die Anfangsgeschwindigkeit v_0 möglichst klein zu halten.
Laut Aufgabenstellung waren zu den gemessenen Zeiten jeweile $\Delta t = 50ms$ hinzuzuaddieren. Dies führt nun in den Diagrammen zur Entstehung eines *negativen* Y-Achsenachsenabschnitts. Bei Verwendung der tatsächlichen

Messwerte ist dieser Abschnitt *positiv*, was der Realität entspricht, da die Kugel beim Durchgang durch die obere Lichtschranke eine Startgeschwindigkeit besitzt.
Wir nahmen wegen des labilen Meterstabs eine Messunsicherheit von $\pm 1cm$ für die Fallstrecke an. Für die Zeit nahmen wir das größte auftretende Vertrauensintervall von $1.1ms$ aus dem Zahlenpaar $h = 123cm; t = 499ms$ an.

2.1 $h = h(t)$ Diagramm

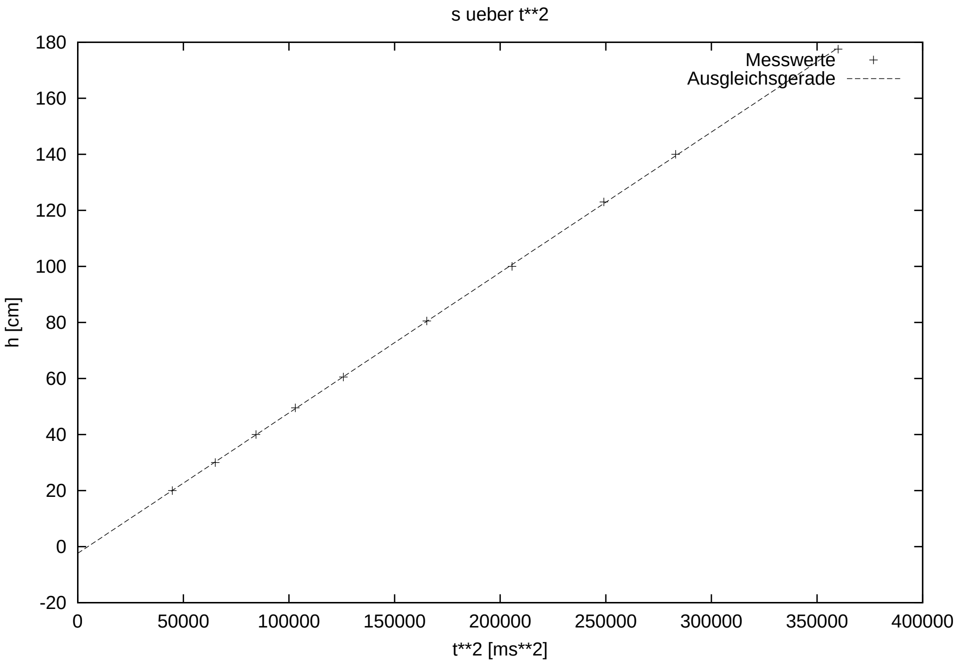
Im $h = h(t)$-Diagramm ermittelte das Programm *GnuPlot* für eine Ausgleichskurve der Form $h(t) = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t$ die Parameter als $g = 0.00103 \frac{cm}{ms^2}$ und $v_0 = -0.012 \frac{cm}{ms}$.



Zur Bestimmung von g verwenden wir das folgende Diagramm.

2.2 $h = h(t^2)$ Diagramm

Im $h = h(t^2)$-Diagramm ermittelte das Programm *GnuPlot* für eine Ausgleichsgerade der Form $h(x) = \frac{1}{2}gx + a; x = t^2$ die Parameter als $g = (0.00100 \pm 0.041) \frac{cm}{s^2}$ und $a = -2.397cm$.



2.3 Bestimmung von g

Die Steigung der Geraden im $h = h(t^2)$-Diagramm ergibt einen Wert von $g = (10.0 \pm 4.1)\frac{m}{s^2}$. Der Literaturwert (Tafelwerk) beträgt $g_0 = 9.81\frac{m}{s^2}$. Die Abweichung entspricht etwa 2% und der Literaturwert liegt im Toleranzbereich unseres experimentell ermittelten Wertes.

Anlagen:

- Messprotokoll
- Berechnungen mit StarCalc

Potsdam, 9. Dezember 2003

Alena Zwanzig Harald Haakh