

Das zweite newtonsche Gesetz (M3)

Ziel des Versuches

Das zweite newtonsche Gesetz ist eine der zentralen Aussagen der klassischen Mechanik. Es stellt den Zusammenhang her zwischen der Kraft F , die auf einen Körper wirkt, seiner Masse m und der daraus folgenden Beschleunigung a . In diesem Versuch soll das Gesetz für zwei Situationen bestätigt werden.

Versuchsteil 1: Wagen auf einer Luftkissenbahn

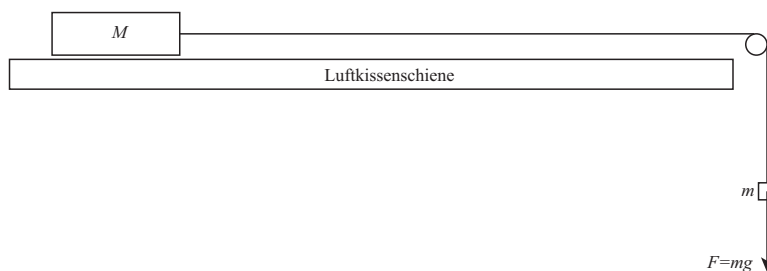


Abbildung 1: Prinzipieller Versuchsaufbau

Theoretische Grundlagen

Auf einer horizontalen Luftkissenbahn kann sich ein Wagen mit der Masse M nahezu reibungsfrei bewegen. Er ist über einen Faden, der über eine Rolle geführt ist, mit einem kleinen Massestück mit der Masse m verbunden. Am Massestück greift die Gewichtskraft $F_G = mg$ an. Das ganze System, Wagen, Massestück und Faden, erfährt eine Beschleunigung a . Zur Bestätigung des newtonschen Gesetzes muss man die Masse des gesamten Systems, also die Masse M des Wagens und die Masse m des Massestückes, berücksichtigen. Die Masse des Fadens wird vernachlässigt. Ist g die Erdbeschleunigung, dann gilt:

$$F_G = m \cdot g = (m + M) \cdot a$$

Man kann die Gleichung umformen zu

$$m \cdot g \cdot \left(1 - \frac{a}{g}\right) = M \cdot a$$

und folgendermaßen interpretieren: Ein Beobachter auf dem kleinen Massestück erfährt eine um den Faktor $1 - a/g$ reduzierte Gewichtskraft, da er

Das Gesamtsystem ($m + M$) erfährt die Beschleunigung $a = g \frac{m}{m+M}$ durch die antreibende Kraft $F_G = mg$.

nach unten beschleunigt wird. Eine um denselben Faktor reduzierte Kraft kann auch das Massestück auf den Wagen ausüben.

Für eine konstante Beschleunigung a gilt folgende Beziehung zwischen dem zurückgelegten Weg s und der verstrichenen Zeit t , wenn die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt $t = 0$ gleich null ist:

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad .$$

Mit Hilfe dieses Weg-Zeit-Gesetzes soll gezeigt werden, dass die Beschleunigung konstant ist und das newtonsche Gesetz gilt.

Versuchsaufbau und -durchführung

Durch Auflegen von Gewichtsstücken kann man die Masse des Wagens und des Massestückes verändern. Die Massen m und M können auf einer Waage im Praktikum bestimmt werden.

Mit Hilfe zweier Lichtschranken und einer elektronischer Stoppuhr wird die Zeit gemessen, die der Körper benötigt, um eine bestimmte Strecke s auf der Luftschiene zu durchfahren. Zur Zeitmessung mit den Lichtschranken ist auf dem Körper eine Markierung angebracht. Bewegt sich die Markierung durch die erste Lichtschranke, so erhält die mit der Schranke verbundene Uhr einen Startimpuls und beginnt mit der Zeitmessung. Beim Passieren der zweiten Lichtschranke erhält die Uhr einen Stoppimpuls. Die Wegstrecke s wird durch den Abstand der beiden Lichtschranken bestimmt und kann durch Verschieben der Lichtschranken verändert werden.

In der obigen Beschreibung wurde eine horizontale Luftschiene vorausgesetzt. Dies ist in der Praktikumsrealität nicht notwendig gegeben, insbesondere dann nicht, wenn vor Ihnen jemand den Versuch durchgeführt hat. Überprüfen Sie daher vor Beginn des Versuches, ob Ihre Schiene geneigt ist und gleichen Sie dies durch dafür vorgesehene Stellschrauben soweit wie möglich aus.¹

Will man aus dem Weg-Zeit-Gesetz die Beschleunigung a bestimmen, so darf der Körper beim Durchlaufen der ersten Lichtschranke zum Zeitpunkt $t = 0$ keine Eigengeschwindigkeit haben. Um dies zu erreichen, wird der Wagen mit der Hand festgehalten und an den Ort auf der Schiene geführt, an dem die Markierung bei der Lichtschranke gerade den Startimpuls für die Uhr auslöst.² Lässt man den Wagen kurz vor diesem Ort los, so ist die Anfangsgeschwindigkeit des Körpers in guter Näherung null.

¹ Dies geschieht am Besten dadurch, dass Sie den Wagen ohne angehängtes Gewicht an unterschiedlichen Stellen auf die Fahrbahn legen und diese dann soweit austarieren, dass sich der Wagen nicht mehr bewegt.

² Nutzen Sie dafür die auf der Fahrbahn aufgesteckten „Stopper“.

Aufgabenstellung

1. Stellen Sie verschiedene Wagenmassen M und Zugmassen m ein.
2. Messen Sie für jede Massenkombination für verschiedene Abstände s die Zeit t , die der Wagen für das Durchfahren benötigt, mehrmals. Ermitteln Sie die relevanten Fehler.
3. Tragen Sie s gegen t^2 auf und zeigen Sie, dass die Beschleunigung konstant ist. Bestimmen Sie so die Beschleunigung für jede Massenkombination. Tragen Sie Fehlerkreuze ein und geben Sie die Fehler für die Beschleunigungen an.³

³ Es bietet sich an, die Ergebnisse für gleiche Zugmassen in einem Diagramm darzustellen.

4. Tragen Sie in einem weiteren Diagramm die Gewichtskraft $F_G = mg$ gegen $(m + M) \cdot a$ auf und zeigen Sie, dass die Steigung der Ausgleichsgerade gleich eins ist.

Versuchsteil 2: Die atwoodsche Fallmaschine

Theoretische Grundlagen

Nach dem gleichen Prinzip des ersten Versuchsteils funktioniert auch die atwoodsche Fallmaschine:

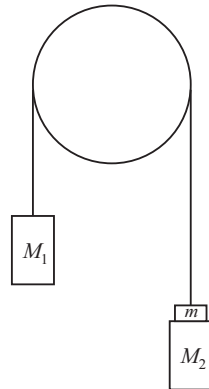


Abbildung 2: Fallmaschine mit Zusatzmasse

Zwei Zylinder mit identischen Massen $M_1 = M_2 = M$ sind über ein Seil, das über einer Rolle geführt ist, miteinander verbunden. An beide Zylinder greift die gleiche Gewichtskraft an. Das System wird nicht beschleunigt, d. h., es bleibt in Ruhe oder bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit. Legt man zusätzlich ein kleines Massestück m auf, so wird nach dem zweiten newtonschen Gesetz das ganze System gleichmäßig mit a beschleunigt. Es gilt:

$$m \cdot g = (2M + m) \cdot a \quad . \quad (1)$$

Das Weg-Zeit-Gesetz gilt für diesen Fall auch.

Die atwoodsche Fallmaschine soll hier aber genauer untersucht werden, da in der Praxis folgende weitere Effekte auftreten:

1. Ein Drehmoment (Vektorprodukt aus Radius und Kraft) ist notwendig, um die Rolle mit ihrem Trägheitsmoment (das die Masse der Rolle und ihre räumliche Verteilung berücksichtigt) überhaupt in Bewegung zu setzen. Dieses Drehmoment muss als wirkende träge Masse der Rolle M_{Ro} und damit bei der Gesamtmasse des zu bewegenden Systems berücksichtigt werden.
2. Darüber hinaus muss stets die Reibung des Lagers der Rolle überwunden werden. Die Reibungskraft F_{Rei} reduziert die beschleunigende Wirkung der antreibenden Kraft $F_G = mg$. Für die antreibende Kraft gilt dann $F = F_G - F_{Rei}$.
3. Die großen Massen M_1 und M_2 sind aufgrund der Ungenauigkeiten der Wägestücke oft nicht identisch. Dann ist das System nicht mehr im Gleichgewicht und wird bereits durch den Massenunterschied beschleunigt. Da-

her müssen die Massen M_1 und M_2 bei jeder Veränderung der Kombination neu gewogen werden. Der Massenunterschied muss bei der beschleunigenden Masse m berücksichtigt werden.

Aufgabenstellung

1. Messen Sie Kraft F_{Rei} mit einem Federkraftmesser. Dies ist die Kraft, die mindestens nötig ist, um die Reibung des Rollenlagers zu überwinden. Verringern Sie die Federkraft so weit, bis das System nicht mehr beschleunigt. Da die Rolle aufgrund von Fertigungstoleranzen nicht ideal rotationssymmetrisch ist, sollte diese Messung bei etwa vier verschiedenen Stellungen der Rolle durchgeführt werden. Vertauschen Sie hierbei auch die Massen M_1 und M_2 . Ermitteln Sie aus allen Messwerten den Mittelwert. Nutzen Sie hierfür die speziell angefertigten Massestücke mit Haken.
2. Messen Sie bei jeweils gleichen Strecken für die Massen $M_1 \approx M_2 \approx 50, 100, 150$ und 200 g die Fallzeiten t (Einzelmessungen mit Kontrollmessungen) und bestimmen Sie daraus die Beschleunigungen a des Systems. Als Zusatzmasse m nutzen Sie das geschlitzte Aluminiumplättchen, das sich am Versuchsplatz befindet. Gleiche Strecken erhält man, wenn man z. B. M_1 bzw. M_2 von der Tischoberfläche starten lässt und die Zeit stoppt, bis die andere Masse die Tischoberfläche berührt.
3. Tragen Sie den Quotienten F/a mit $F = mg - F_{\text{Rei}}$ gegen $(M_1 + M_2 + m)$ auf und bestimmen Sie aus dem Achsenschnittpunkt die wirkende träge Masse der Rolle M_{Ro} .
4. Messen Sie bei jeweils gleichen Strecken für die Zusatzmassen $m = 1,5, 2, 3, 5$ und 10 g die entsprechenden Zeiten t und bestimmen Sie die Beschleunigungen a . Nutzen Sie für die Massen M_1 und M_2 die speziell angefertigten Massestücke mit Haken.
5. Zeigen Sie die Gültigkeit der Formel (1), indem Sie $F = (mg - F_{\text{Rei}})$ gegen $(M_1 + M_2 + M_{\text{Ro}} + m) \cdot a$ auftragen.