

Modell 19

Schiefe Ebene mit Kleinkraftmesser



Datum

Name

Klasse

KONSTRUKTIONSAUFGABE

Konstruiere das Modell nach Bauanleitung zunächst ohne Kraftmesser und die beiden Aufstellhilfen.

- Stelle sicher, dass der Wagen leichtgängig rollen kann. Seine vier Räder müssen leicht laufen. Die beiden waagerechten Räder sollen ihn gerade in der Spur halten.
- Du kannst die schiefe Ebene leicht anheben und sehen, wie stark ein am Ende aufgesetzter Wagen beschleunigt. Der Wagen wird von der etwas federnden Strebe abgefangen.

THEMATISCHE AUFGABE

1. Lass die Bahn unten auf dem Tisch liegen. Sofern der Tisch gerade steht, liegt sie jetzt genau waagrecht. Für die folgenden Überlegungen nennen wir diesen Zustand den Aufstellwinkel von 0° gegenüber der Waagerechten.

a) Schiebe den Wagen ans Ende der Bahn (weg von der gelenkigen Aufhängung an der Grundplatte). Hebe die Bahn langsam mit der Hand an. Warum fängt der Wagen nicht schon bei der kleinsten Auslenkung an, loszufahren?



- b. Beobachte, wie der Wagen stärker beschleunigt, wenn Du ihn bei stärker angehobener Bahn loslässt. (Die Statikstrebe unten fängt ihn weich ab, aber übertreibe es nicht – das Modell oder Bauteile können sonst beschädigt werden.)

- 2. Ergänze nun das Modell um den Kraftmesser und den beiden Aufstellhilfen. Damit können wir die auftretenden Kräfte auch zahlenmäßig erfassen und auswerten. Stell sicher, dass der Kraftmesser auf seiner Skala „0“ anzeigt, wenn die Feder darin gerade ganz entspannt ist.

Datum

Name

Klasse

Bei fischertechnik werden I-Streben längs an Bauteilen wie Statikträgern angebracht. Ihr Maß richtet sich nach dem Raster von 15 mm – das ist der Abstand zwischen zwei Löchern der Träger. I-Streben sind stets ein ganzzahliges Vielfaches dieses Maßes.

X-Streben hingegen sind für die Montage im 45°-Winkel gedacht. Ihre Länge folgt den Regeln des Satzes des Pythagoras: Sie entsprechen ganzzahligen Vielfachen von 15 mm multipliziert mit $\sqrt{2}$.

- a. Versuche herzuleiten, warum die „Aufstellhilfe 45°“ mit den X-Strebenlängen 84,8 mm und Statiklaschen 21,2 bei senkrechter Ausrichtung einen Aufstellwinkel von genau 45° ergibt.





- b. Warum ergibt die „Aufstellhilfe 30°“ mit den I-Streben 60 und Statiklaschen 15 in senkrechter Ausrichtung einen 30° Aufstellwinkel?

Datum

Name

Klasse

3. Messen wir die Kraft in Newton (N), die der Wagen bei verschiedenen Aufstellwinkeln auf den Kraftmesser ausübt:

- Bei waagrecht liegender Bahn wird die Kraft 0 N betragen.
- Bei senkrecht aufgestellter Bahn ist es die gesamte Gewichtskraft des Wagens (damit er dabei nicht aus der Bahn fällt, musst Du ihn leicht festhalten – möglichst ohne Kraft nach oben oder unten auszuüben).
- Uns interessieren aber auch Winkel zwischen 0° und 90°.





Wir haben verschiedene Möglichkeiten, den Aufstellwinkel festzustellen:

- Die beiden Bausteine 7,5 auf dem Boden der Bauplatte sind dafür gedacht, ein Geodreieck darauf zu stellen und an die Bahn zu halten. Der Nullpunkt des Geodreiecks soll genau in der Mitte des Lochs der Gelenksteine liegen. Dann kannst Du am dünnen Schlitz im Verbindungsstück 45, der unten in der Bahn steckt, den gerade aktuellen Aufstellwinkel gut ablesen. Vielleicht macht ihr das in Zweier-Teams – jemand hält die Bahn, jemand anderes liest den Winkel ab.
- Die beiden Aufstellhilfen 30° (die kürzere) und 45° (die längere) werden in die Strebenadapter (die wie Federnocken aussehen, aber einen runden Zapfen tragen) aufgeklipst, die sich bei etwa $\frac{2}{3}$ der Bahnlänge befinden. Der angegebene Aufstellwinkel wird dann erreicht, wenn die Streben genau senkrecht nach unten zeigen und die Bausteine 15 am unteren Ende satt und gerade auf der Grundplatte stehen.

Wichtig: Die Bausteine stehen dann *nicht* so, dass sie in die Nuten der Bauplatte eingeschoben werden sollten – dann stünden die Streben *nicht* genau senkrecht. Die Bausteine liegen einfach nur flach auf der Grundplatte auf. Die Streben verlaufen von ihrer Aufhängung an der Bahn genau senkrecht herunter.

- a. Trage die gemessene Kraft in eine Tabelle wie die folgende ein:

Aufstellwinkel	Gemessene Kraft (in N)	Anteil der gemessenen Kraft an der Gewichtskraft (bei 90° Aufstellwinkel), in Prozent
0°	0,0 N	0 %
15°		
30°		
45°		
60°		
75°		
90°		100 %

Datum

Name

Klasse





b) Bei welchem Winkel ist die ausgeübte Kraft gerade halb so groß (50 %) wie die Gewichtskraft?

 Datum

 Name

 Klasse

EXPERIMENTIERAUFGABE

Wir können unsere schiefe Ebene auch als Waage für den Wagen betrachten, die wir in verschiedenen Aufstellwinkeln betreiben. Wenn wir bei 90° Aufstellwinkel die komplette Gewichtskraft (in N) messen, können wir über die Erdbeschleunigung g (die Beschleunigung, die ein frei fallender Körper auf der Erdoberfläche durch die Gravitation erfährt) die Masse (in kg) des Wagens berechnen. Es gilt:

$$F = m \cdot a$$

Die Kraft F ist gleich der Masse m des Körpers multipliziert mit der Beschleunigung a . Daraus folgt:

$$m = \frac{F}{a}$$

Die Beschleunigung a ist in unserem Fall die Erdbeschleunigung. Die mittlere Erdbeschleunigung (sie ist wegen nicht ganz gleichmäßiger Masseverteilung nicht überall auf der Erde exakt gleich) beträgt $g_N = 9,80665 \text{ m/s}^2$. Wenn wir die Kraft F in N (Newton) am Kraftmesser ablesen, können wir also seine Masse zu

$$m = \frac{F}{g_N}$$

bestimmen. Wir haben g_N auf fünf Nachkommastellen genau vorliegen – super! Können wir dann also die Masse m unseres Wagens in kg auch auf fünf Nachkommastellen genau ausrechnen? Auf zehntel oder sogar hundertstel Gramm?





Das hängt davon ab, wie genau wir die Kraft überhaupt messen können!

Die Messung bei senkrecht gestellter Bahn (90° Aufstellwinkel) zeigt z.B. eine Gewichtskraft von $0,8\text{ N}$ an. Grundsätzliche verschiedenartige Fehlermöglichkeiten kommen hier zum Tragen:

- **Systematische Fehler** entstehen dadurch, dass wir irgendetwas schon grundsätzlich falsch machen. Das klingt schlimmer, als es ist: Viele systematische Fehler können wir gar nicht vermeiden.
 - So haben wir beispielsweise eine uns quantitativ nicht bekannte Reibung in den Rollen des Wagens und in der Lagerung der Achse mit der Feder.
 - Wir könnten die Skala nicht genau richtig angebracht haben – z.B. etwas versetzt zur richtigen Position – und so alle Kraftmessungen um einen bestimmten Betrag falsch ablesen.
 - Die Skala könnte nicht korrekt bedruckt worden sein.
 - Wir wissen nicht, welche Erdbeschleunigung genau an dem Ort herrscht, an dem wir die Messungen vornehmen (wobei sie überall bei ca. $9,81\text{ m/s}^2$ liegen wird).
 - Wir könnten schräg auf die Skala schauen und somit eine verfälschte Ablesung bewirken.
 - Und, und, und... Es ist gut, systematische Fehler zu kennen, aber sie in Zahlen zu fassen, ist meistens schwierig.

- **Ablesefehler und statistische Fehler:**

Die können wir „quantifizieren“, also in Zahlen angeben, mit denen wir rechnen können. Wir müssen abschätzen, wie genau wir die Skala ablesen können. Ein Teilstrich der Skala entspricht $0,1\text{ N}$. Wir können sorgfältig gerade drauf schauen, alles gut justieren, und dennoch selbst mit geübtem Auge bestenfalls $1/10$ Skalenteilung zuverlässig und reproduzierbar ablesen. Das wären also $1/10$ von $0,2\text{ N} = 0,02\text{ N}$. Wir können die Kraft also gar nicht genauer als auf $0,02\text{ N}$ ablesen!

Datum

Name

Klasse





Nun können wir aber berechnen, wie genau unsere Messung der Kraft prozentual ist: 0,02 N Ablesefehler bei einem Gewicht von 0,8 N sind also

$$\frac{0,02N}{0,8N} = 0,025 = 2,5\%$$

Unser Messfehler beträgt also 2,5% (systematische Fehler nicht einkalkuliert!).

Mit einem Wert dieser Genauigkeit gehen wir also in unsere Formel :

$$m = \frac{F}{g_N}$$

Da m proportional zu F ist (g_N ist eine Konstante), wird auch die berechnete Masse m mit einer Ungenauigkeit von 2,5% zu versehen sein.

1. Berechne mit $F=0,8N$, Ablesefehler von $0,02N$ und g_N die Masse des Wagens in kg bzw. g und gib den zu erwartenden Fehler ebenfalls in kg an.

 Datum

 Name

 Klasse




Wiederhole die Messung in dem Aufstellwinkel, bei dem die Kraft am Kraftmesser nur halb so groß wie die Gewichtskraft ist. Berechne, wiederum mit Ablesefehler $0,02\text{ N}$ und unter Verwendung von g_N , die Masse und die Genauigkeit der Berechnung (wiederum beides in kg bzw. g).

 Datum

 Name

 Klasse

ANLAGEN

Weiterführende Informationen

- [1] Wikipedia: [Schiefe Ebene](#).
- [2] Dennis Rudolph: Messfehler und Fehlerbetrachtung. Auf [gut-erklärt.de](#).
- [3] Ulf Konrad: Fehlerrechnung. Auf [ulfkonrad.de](#).
- [4] Ulf Konrad: Fehlerfortpflanzung. Auf [ulfkonrad.de](#).
- [5] Wikipedia: [Fehlerfortpflanzung](#). Hinweis: Die verwendete Mathematik führt bis über die Sekundarstufe hinaus.
- [6] Dr. Alexey Chizhik: [Messfehler](#). Georg-Augustin-Universität Göttingen. Hinweis: Dieser Link ist für Interessierte, die einmal schauen möchten, wie weit man mit Fehlerrechnung gehen kann. Das Niveau ist das eines Physikstudiums. Durch Vorwärtsblättern mit dem Link

