

# IM6

Modul Mechanik

## Zentrifugalkraft

Damit ein Körper eine gleichförmige Kreisbewegung ausführt, muss auf ihn eine Radialkraft, die Zentripetalkraft, wirken, die immer zu einem festen Punkt, dem Zentrum, hinzeigt. In diesem Versuch soll die Zentripetalkraft in Abhängigkeit von der Winkelgeschwindigkeit, des Radius und der Masse untersucht werden.



## Versuch IM6 - Zentrifugalkraft

Damit ein Körper eine gleichförmige Kreisbewegung ausführt, muss auf ihn eine Radialkraft, die Zentripetalkraft, wirken, die immer zu einem festen Punkt, dem Zentrum, hinzeigt. In diesem Versuch soll die Zentripetalkraft in Abhängigkeit von der Winkelgeschwindigkeit, des Radius und der Masse untersucht werden.

## 1.1 Fragen zur Vorbereitung

- Was ist eine Zentralkraft?
- Was ist der Unterschied zwischen der Zentripetalkraft und der Zentralkraft?
- Was ist die Zentrifugalkraft?
- Was ist der Unterschied zwischen der Zentrifugal- und der Zentripetalkraft?

## 1.2 Theorie

### 1.2.1 Die gleichförmige Kreisbewegung

Bewegt sich ein Massenpunkt auf einer kreisförmigen Bahn mit Radius  $r$  um das Zentrum  $Z$  mit einer konstanten Geschwindigkeit  $v$ , bezeichnet die *Bahngeschwindigkeit*  $v$  die Bogenlänge des Kreises, die in einer Sekunde durchlaufen wird. Des Weiteren ist der Winkel, den ein Strahl vom Zentrum  $Z$  zum Massenpunkt in einer bestimmten Zeit überschritten wird, dividiert durch diese Zeit gegeben durch die *Winkelgeschwindigkeit*  $\omega$ . Der Winkel ist hierbei im Bogenmass anzugeben. Der Zusammenhang zwischen Bahn- und Winkelgeschwindigkeit ist somit gegeben durch

$$v = \omega r \quad (1.1)$$

Die Zeit, die der Massenpunkt für einen Umlauf benötigt, berechnet sich dann gemäss

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1.2)$$

Ein rotierender starrer Körper, z.B. ein Rad, hat demnach an allen Punkten dieselbe Winkelgeschwindigkeit, wegen (1.1) nimmt jedoch die Bahngeschwindigkeit nach aussen hin zu.

Da sich die Richtung der Geschwindigkeit ändert, muss eine Beschleunigung vorliegen. Wir wollen nun diese Beschleunigung der gleichförmigen Kreisbewegung ermitteln. Nach dem allgemeinen Verfahren der Kinematik ist diese durch Bildung der Geschwindigkeitsdifferenz für zwei genügend eng benachbarte Positionen  $A$  und  $B$  des Massenpunktes oder die entsprechenden Zeitpunkte  $t_1$  und  $t_2$  zu finden (siehe Abb. 1.1). Der Kreissektor  $ZAB$  lässt sich nun mit beliebiger Genauigkeit durch ein Dreieck annähern. Dieses Dreieck ist dem Dreieck  $BCD$  (aus den beiden Geschwindigkeitsvektoren  $v_1(t)$  und  $v_2(t)$ ) und der Geschwindigkeitsdifferenz  $\Delta v$  *ähnlich*. Beide Dreiecke sind gleichschenkelig und beide haben den gleichen Winkel an der Spitze. Wenn nun  $\Delta r$  die Länge des Kreisbogens ist, die im Grenzfall in die Dreiecksseite übergeht, haben somit entsprechende Seiten beider Dreiecke das gleiche Verhältnis:

$$\frac{AB}{r} = \frac{\Delta r}{r} = \frac{|\Delta v|}{|v|} = \frac{|\Delta v|}{v}$$

Teilen wir diese Gleichung durch die Zeitdifferenz  $\Delta t = t_2 - t_1$ , die benötigt wird, um den Weg  $AB$  zurückzulegen, bzw. die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  herbeizuführen, erhalten wir:

$$\frac{\Delta r / \Delta t}{r} = \frac{v}{r} = \frac{|\Delta v| / \Delta t}{v} = \frac{a}{v}$$

Setzt man nun für  $\Delta r / \Delta t$  im Grenzfall  $v$  und für  $|\Delta v| / \Delta t$  die Beschleunigung  $a$  ein, erhalten wir den Ausdruck für die Beschleunigung der gleichförmigen Kreisbewegung, die *Zentripetalbeschleunigung*:

$$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (1.3)$$

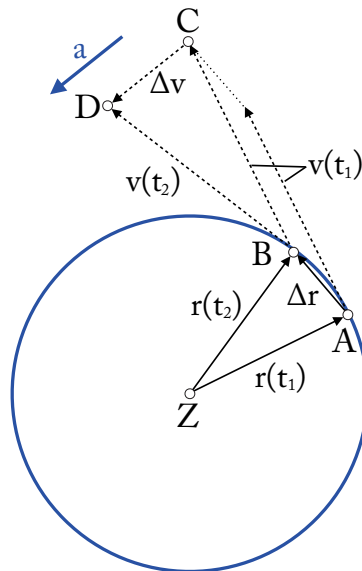


Abbildung 1.1: Kinematik der gleichförmigen Kreisbewegung.

Die Grösse dieser Beschleunigung ist folglich konstant und ihre Richtung ergibt sich gemäss der Konstruktion in Abb. 1.1 als stets zum Zentrum gerichtet. Man beachte, dass  $\Delta v$  und  $a$  eigentlich am Ort  $A$  und  $B$  anzutragen sind. Damit oder wenn ein Körper mit der Masse  $m$  eine gleichförmige Kreisbewegung ausführt, muss eine Kraft, die *Zentripetalkraft*, vom Betrag

$$F = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r \quad (1.4)$$

wirken, die immer zu einem festen Punkt, dem Zentrum hinzeigt. In unserem Fall wird der Metallkörper durch die Umdrehung auf Grund seiner Trägheit nach aussen bewegt und durch den am Torsionsdraht befestigten Draht auf seiner Kreisbahn gehalten.

### 1.3 Experiment

In dem vorliegenden Versuch dient das Radialkraftgerät nach Schürholz zur Bestimmung der Radialkraft, der *Zentripetalkraft*, in Abhängigkeit von Masse, Winkelgeschwindigkeit und Abstand der umlaufenden Körper von der Achse. Bei der Drehung des Gerätes ist die Verdrillung des Torsionsfadens proportional zur Radialkraft und wird durch einen Lichtzeiger sichtbar gemacht. Zur Ableitung des Radialkraftgesetzes verändert man die Masse, den Abstand und die Winkelgeschwindigkeit des umlaufenden Metallkörpers.

### 1.3.1 Versuchszubehör

Komponente	Anzahl
Radialkraftgerät	1
Experimentiermotor	1
Steuer- und Regelgerät zum Experimentiermotor	1
Lampe	1
Lichtzeiger-Dia	1
Stativstange 25cm	1
Muffe	1
Stativfuss	1
Transformator	1
Höhenmassstab	1
Sockel	1
Präzisionskraftmesser 1.0N	1
Handstoppuhr	1

### 1.3.2 Versuchsaufbau und Justage

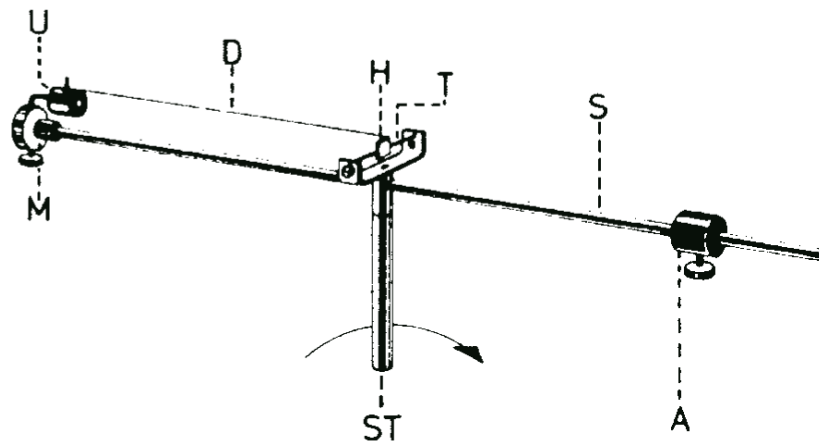


Abbildung 1.2: Radialkraftgerät nach Schürholz.

- Das Radialkraftgerät wird in der Klemmzange des Experimentiermotors befestigt.
- Der zu verwendende Metallkörper ( $U$ ) (Abb. 1.2) wird auf den Stift der Muffe ( $M$ ) gesteckt und mit einem der beiden Drähte ( $D$ ) an den Haken des Spiegels ( $H$ ) gehängt. Die Muffe wird entweder bis zum inneren oder bis zum äusseren Anschlag geschoben, so dass entweder der kurze oder der lange Draht genau passt.
- Der Auswuchtkörper ( $A$ ) wird etwa in derselben Entfernung von der Achse festgeklemmt.
- Zum Aufbau der Lichtzeiger-Ablesung setzt man die Lampe mit Lichtzeiger-Dia in dem Kondensator mit einer Muffe und einer Stativstange auf den Stativfuss. Der Stativfuss wird etwa 30cm von dem Hohlspiegel ( $H$ ) entfernt aufgestellt und die Lampe so eingestellt, dass der Kondensator ein vergrössertes Bild der Lampenwendel auf dem Hohlspiegel entwirft.

- Das Lichtzeiger-Dia im Kondensor wird durch den Hohlspiegel auf den Höhenmassstab in Entfernung von mindestens 2m abgebildet. Zur Scharfstellung dieses Bildes wird die Lampe verschoben.
- Bei Rotation der Achse (ca. 0,5 bis 1 Umdrehung/Sekunde) ist das Bild periodisch kurzzeitig auf dem Schirm sichtbar, genügt aber zum Ablesen des Ausschlags mit Hilfe des Masstabes
- Zur Kalibrierung des Lichtzeigerausschlags in Newton hängt man den Kraftmesser an Stelle des Metallkörpers ( $U$ ) in den Torsionsdraht ein und liest zusammengehörige Werte von Kraft und Lichtzeigerausschlag ab.

### 1.3.3 Messungen

- Miss für die Kalibrierung in Schritten von 0.1N den Lichtzeigerausschlag auf dem Massstab ab.
- Miss für beide Massen und Drähte 8 Lichtzeigerausschläge auf dem Masstab ab und bestimme für jeden Datenpunkt die Umlaufzeit mit der Handstoppuhr.

### 1.3.4 Aufgaben zur Auswertung

- Bestimme den Zusammenhang zwischen Lichtzeigerausschlag und Kraft.
- Bestimme die Abhängigkeit der Kraft von der Winkelgeschwindigkeit, der Masse und des Abstandes Drehzentrum-Massenschwerpunkt.
- Vergleiche Deine Beobachtungen mit den theoretischen Erwartungen.

## 1.4 Literatur

- D. Meschede, *"Gerthsen Physik"*, Springer Verlag