



Kreisel mit 3 Achsen

02555.00

Betriebsanleitung



Abb. 1: Materialzusammenstellung für quantitative Messungen zur Physik des Kreisels gemäß Geräte-Liste (Abschnitt 5).

1 ZWECK UND BESCHREIBUNG

Der Kreisel mit 3 Achsen dient zur Demonstration von Kreiselphänomenen wie Richtungsstabilität, Präzession und Nutation. Mit Hilfe weniger Meßhilfsmittel (Handstoppuhr und Gabellichtschranke mit Zähler zur Drehzahlmessung, vgl. Abb. 1) lassen sich u.a. folgende quantitativen Praktikumsversuche durchführen:

- Untersuchung des linearen Zusammenhangs zwischen der Dauer eines Präzessionsumlaufs und der Rotationsfrequenz der Kreiselscheibe (Abb. 3).
- Untersuchung des linearen Zusammenhangs zwischen der Präzessionsfrequenz und dem auf die Kreiselachse ausgeübten Kippmoment bei jeweils gleichen Rotationsfrequenzen (ebenfalls ersichtlich aus Abb. 3).
- Untersuchung des linearen Zusammenhangs zwischen der Rotationsfrequenz der Kreiselscheibe und der Nutationsfrequenz (Abb. 4).
- Bestimmung des Trägheitsmoments aus der Präzessionsdauer, der Rotationsfrequenz und dem auf die Kreiselachse ausgeübten Kippmoment.
- Direkte Messung des Trägheitsmoments der Kreisel-scheibe z.B. aus der Winkelbeschleunigung bei bekanntem Drehmoment.

Als Zubehör ist eine zweite, identische Kreiselscheibe mit Kompensationsgewicht lieferbar (02556.00). Sie dient vor allem dazu, zu zeigen, daß bei zwei mit gleicher Drehzahl entgegengesetzt rotierenden Scheiben alle hier beschriebenen Kreiselphänomene verschwinden.

Der Kreisel 02555.00 steht auf einem stabilen Plattenfuß. Die Hauptachse, um die die kugelgelagerte Scheibe rotiert, ist um eine horizontale und um eine vertikale Achse drehbar. Das Gegengewicht ist auf der Kreiselachse normalerweise so positioniert, daß es das Drehmoment, das die

Kreiselscheibe auf die horizontale Achse ausübt, genau kompensiert (kräftefreier Kreisel). Zur Erzeugung definierter Kippmomente stehen ein im Lieferumfang enthaltener Gewichtsteller (10 g) und ein Schlitzgewicht (50 g) zur Verfügung. Mit Hilfe der ebenfalls zum Kreisel gehörigen Stativstange und der Doppelmuffe kann die Kreiselachse fixiert werden (gefesselter Kreisel). Die Stange wird dazu in der zweiten Spannstelle des Plattenfußes gehalten. An der Kreiselscheibe befindet sich eine Seiltrommel zum Aufziehen des Kreisels mit der im Lieferumfang enthaltenen Baumwollschnur.

2 ZUSAMMENBAU DES KREISELS

Aus Gründen der Transportsicherheit wird der Kreisel in zerlegtem Zustand angeliefert. Die korrekte Anordnung der Teile ist aus Abb. 2 ersichtlich. Die Kreiselscheibe wird bis zum Anschlag auf die Welle aufgeschoben. Anschließend sichert man die Kreiselscheibe mit einer Sicherungsscheibe in der entsprechenden Nut. Die Reservescheibe läßt man in die zweite Nut einrasten.

Abb. 5 zeigt den Aufbau, mit der Zusatzscheibe 02556.00. Hier werden beide Sicherungsscheiben benötigt, und die Zusatzscheibe wird mit einer zusätzlichen Sicherungsscheibe gesichert.

3 HANDHABUNG IM EXPERIMENT

Folgende Kreiselphänomene können mit dem in 02555.00 enthaltenen Material, ohne weiteres Zubehör, demonstriert werden

- Präzession (Einfluß von Drehmoment und Rotationsfrequenz)
- Nutation (Einfluß der Drehzahl der Scheibe auf die Nutationsfrequenz)

Will man diese Zusammenhänge quantitativ untersuchen, so werden nur die wenigen, in Abb. 1 bereits dargestellten

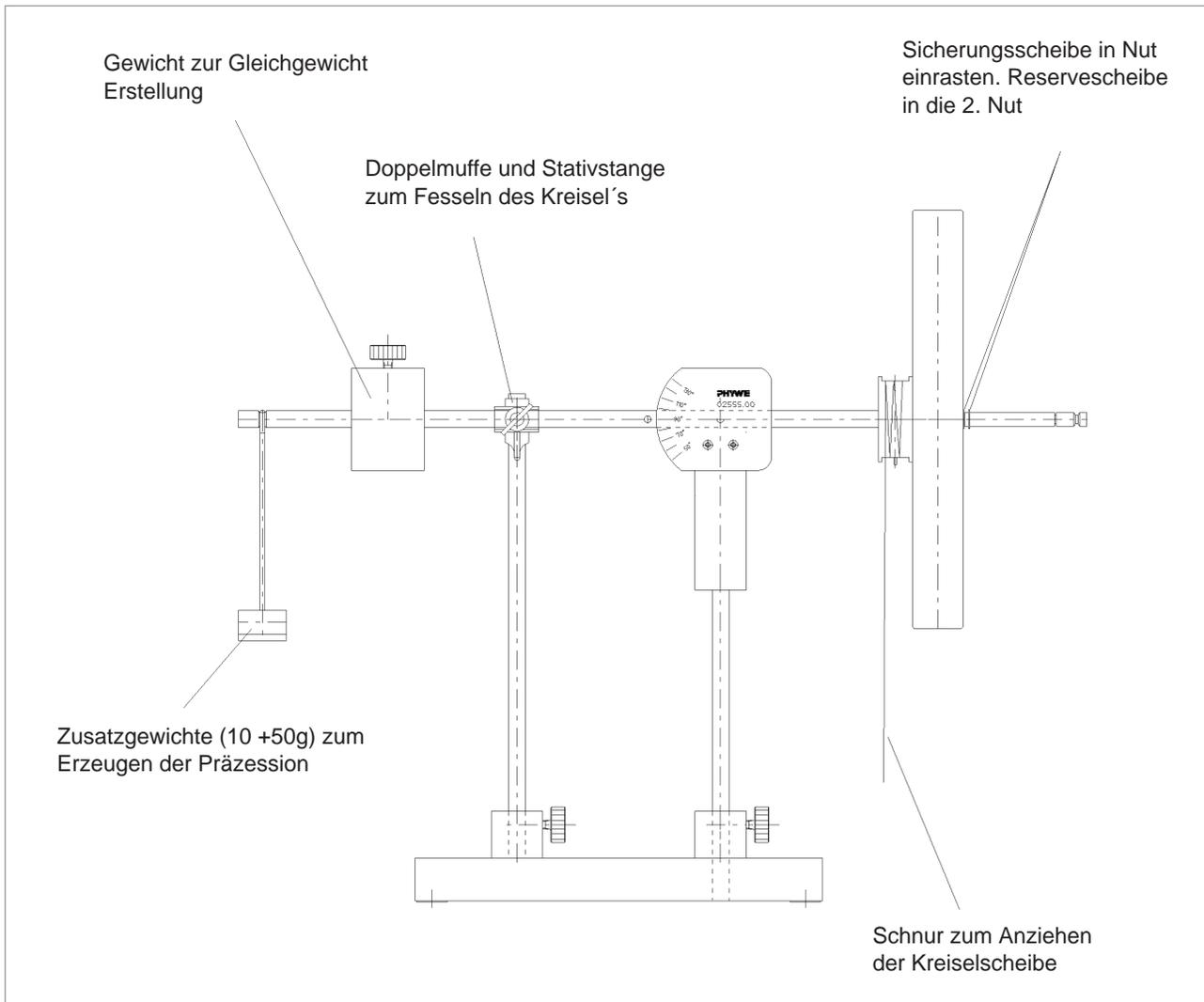
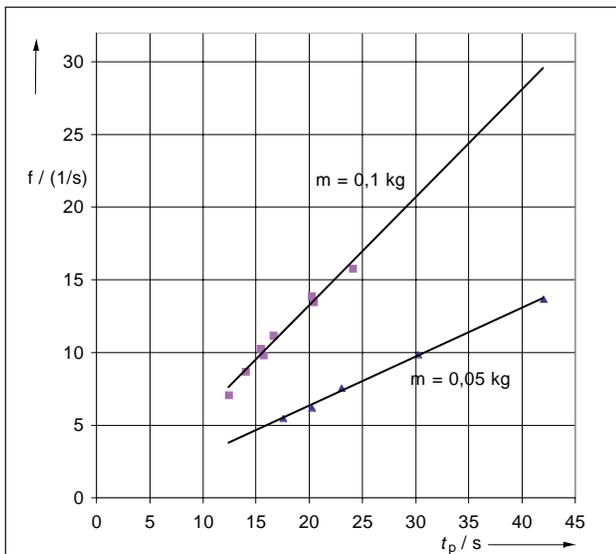


Abb. 2

Meßhilfsmittel benötigt: Präzessions- und Nutationsfrequenz sind so niedrig, daß sie mit einer Handstoppuhr zu bestimmen sind. Die Umdrehungszeit der Kreiselscheibe wird mit der Gabellichtschranke mit Zähler gemessen; zum Unterbrechen des Lichtweges klebt man einen schmalen Papierstreifen (z.B. selbstklebendes Etikett) an den Rand der Scheibe. **Achtung: Es ist unbedingt weiches Material zu verwenden, damit ein Griff in den rotierenden Kreisel nicht zu Verletzungen führen kann.**

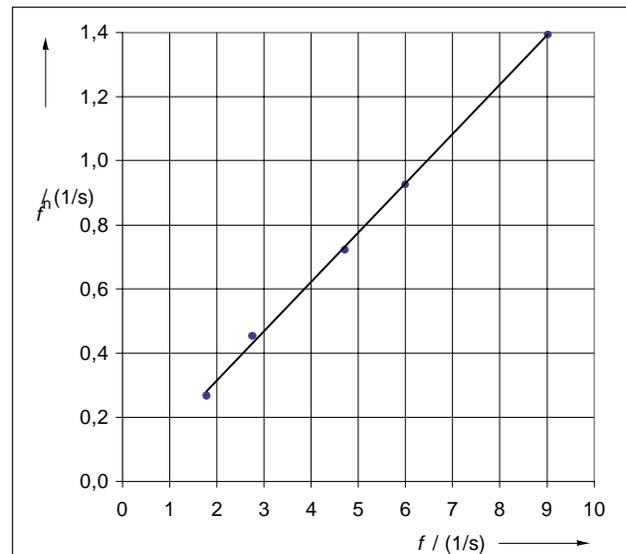
Abb. 3: Rotationsfrequenz f des Kreisels als Funktion der Dauer t_p eines Präzessionsumlaufs



Für alle quantitativen Auswertungen ist es wichtig, daß man das Trägheitsmoment I der Kreiselscheibe kennt. Zur Messung von I wird auf die Kreiselscheibe ein bekanntes Drehmoment D ausgeübt (Gewichtstück an aufgewickeltem Faden) und die damit bewirkte Winkelbeschleunigung

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{D}{I}$$

Abb. 4: Nutationsfrequenz f_n als Funktion der Rotationsfrequenz f der Kreiselscheibe



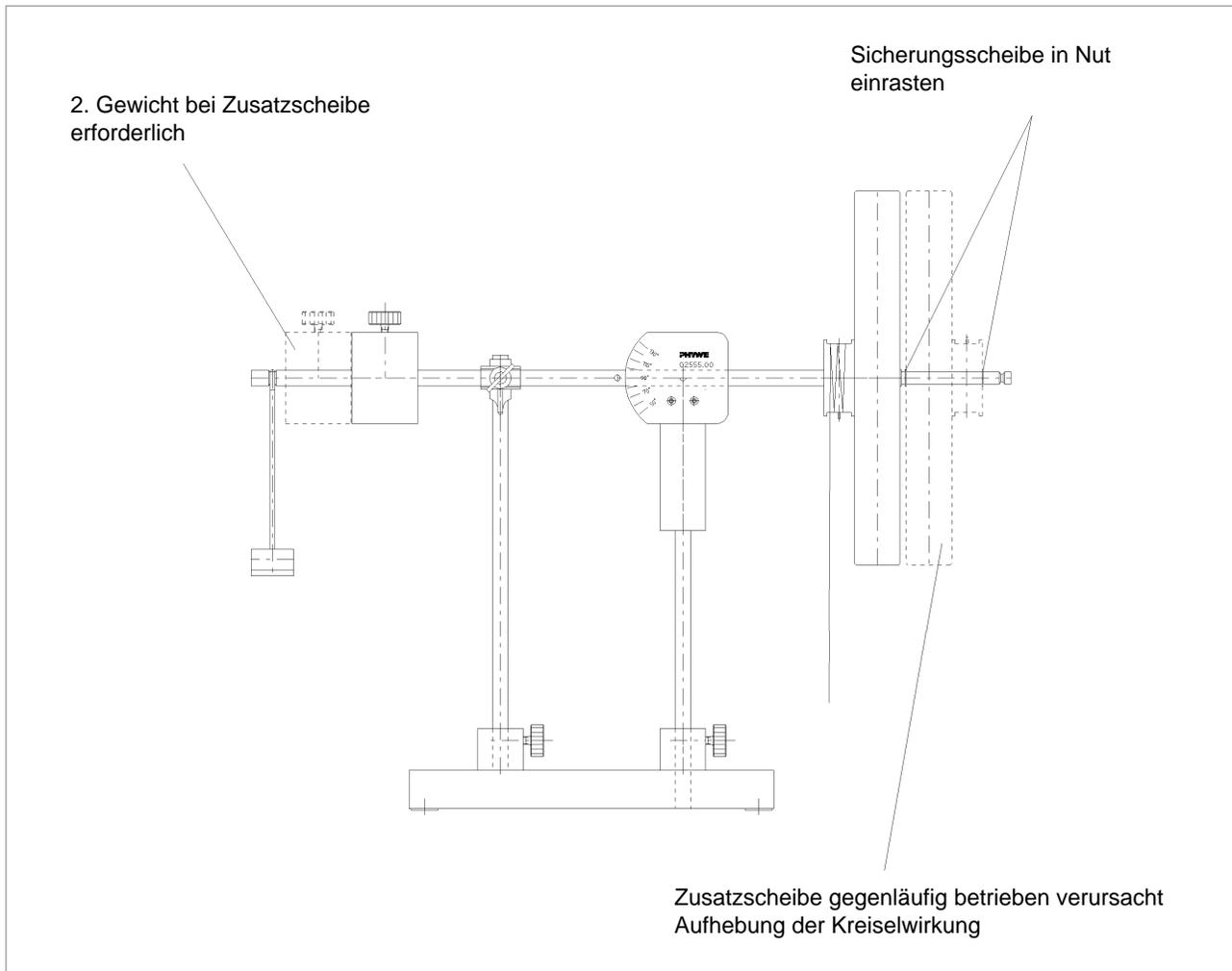


Abb. 5

gemessen. Das Drehmoment $D = m \cdot g \cdot r$ ist bekannt ($m =$ Masse des beschleunigenden Gewichtsstückes, $r =$ Radius der Seiltrommel = 22,5 mm). Die Winkelbeschleunigung wird bestimmt, indem man die Dauer der Beschleunigung Δt von der Freigabe der Scheibe bis zum Aufsetzen des Gewichtsstücks auf den Fußboden stoppt und dann sofort die Winkelgeschwindigkeit ω_E mißt. Praktischerweise mißt man stattdessen die Dauer für einen Scheibenumlauf. Diese Messung gelingt sekundschnell, indem man die Reset-Taste an der Gabellichtschranke drückt und diese dann soweit an die Kreiselachse heran führt, bis die aufgeklebte Blende den Lichtweg unterbricht. Die Betriebsart der Lichtschranke ist so eingestellt, daß die erste Abdunkelung den Zähler startet und die zweite Abdunkelung den Zähler stoppt. Die Winkelbeschleunigung ergibt sich dann gemäß

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_E}{\Delta t} \quad \text{d.h.} \quad I = \frac{D \cdot \Delta t}{\omega_E}$$

Als Meßergebnis erhält man für das Gerät $I = 9,3 \text{ g} \cdot \text{m}^2$. Die Meßpunkte der beiden Kurven in Abb. 3 nimmt man wie folgt auf:

- Kräftefrei austarierten Kreisel aufziehen ($f > 10/\text{s}$).
- Rotationsfrequenz f (Dauer für eine Umdrehung) messen, wie oben beschrieben.
- Masse von 50 g in die Nut an dem der Scheibe gegenüberliegenden Ende der Kreiselachse einhängen. (Der Abstand zum Lagerpunkt der Kreiselachse beträgt 270 mm.)
- Dauer für einen halben Präzessionsumlauf messen (Wert muß mit 2 multipliziert werden!).
- Masse abnehmen, damit die Kreiselachse zum Still-

stand kommt und sofort nochmals die Rotationsfrequenz messen. Der Mittelwert aus beiden Messungen wird über der gemessenen Präzessionsdauer in das Diagramm (vgl. Abb. 3) eingetragen.

- In gleicher Weise die übrigen Meßpunkte bei abnehmender Kreiseldrehzahl aufnehmen.
- Kreisel nach Fertigstellung der Meßreihe erneut aufziehen und Meßreihe mit Masse 100 g in gleicher Weise aufnehmen.

Durch Vergleich der beiden Geraden in Abb. 3 läßt sich direkt ablesen, daß die Verdoppelung des Kippmoments in guter Näherung zu einer Verdoppelung der Präzessionsfrequenz führt.

Aus der Steigung a der Geraden kann man z.B. unabhängig von der oben beschriebenen Methode das Trägheitsmoment I bestimmen. Es ist

$$I = \frac{mgR}{4\pi^2 \cdot a}$$

Dabei ist R der Abstand des Angriffspunktes der Masse m vom Lagerpunkt der Kreiselachse ($R = 27 \text{ cm}$). So erhält man z.B. für die Steigung der mit $m = 0,05 \text{ kg}$ gemessenen Geraden (Auswertung mit Tabellenkalkulation MICROSOFT EXCEL®) $a = 0,3631$; damit ergibt sich $I = 9,24 \text{ g} \cdot \text{m}^2$ in guter Übereinstimmung mit dem oben ermittelten Wert. Die in Abb. 4 dargestellte Meßreihe wird am kräftefreien Kreisel aufgenommen. Die Nutation erzeugt man durch einen leichten seitlichen Schlag auf die Kreiselachse. Es wird jeweils die Dauer einer geeigneten Anzahl von Nutationsumläufen gestoppt und wie üblich zuvor und danach die Umdrehungszeit der Kreiselscheibe bestimmt (Mittelwertbildung).

Montiert man zusätzlich die Zusatzscheibe mit Gegengewicht gemäß Abb. 5, so kann man zeigen, daß die charakteristischen Kreiselphänomene nicht auftreten, wenn beide Scheiben mit annähernd gleicher Drehzahl entgegengesetzt rotieren. Diesen Zustand erreicht man, indem man die beiden Enden der Baumwollschnur in entgegengesetztem Wicklungssinn auf die beiden Seiltrommeln aufwickelt. Auf beiden Trommeln soll die gleiche Seillänge aufgewickelt sein. Die beiden Scheiben werden durch kräftiges Ziehen in der Mitte des Seils in Drehung versetzt.

4 LITERATURHINWEIS

University Laboratory Experiments, Physics:
1.2.08.2 „Laws of gyroscopes / 3 axis gyroscope“

5 GERÄTELISTE

Im Lieferumfang von 02555.00 enthaltene Teile:

Stativstange, l = 250 mm	02021.00
Gewichtsteller für Schlitzgewichte	02204.00
Schlitzgewicht 50 g, schwarz	02206.01
Doppelmuffe -Kreuzklemme-	37697.00

Zusätzlich in Abb. 1 dargestelltes Material, das zur Durchführung der beschriebenen quantitativen Experimente benötigt wird:

Gabellichtschranke mit Zähler	11207.08
Tonnenfuß	02006.55
Steckernetzteil 5 V – / 0,3 A	11076.93
Stoppuhr, digital, 1/100 s	03071.01
Schlitzgewicht, 10 g, schwarz	(4 Stück) 02205.01

Zusätzlich lieferbares Zubehör:

Zusatzscheibe mit Gegengewicht	02556.00
--------------------------------	----------