



# Bedienungsanleitung für den Kreisel DM354-1K



einfach, schnell, sicher

## Einleitung

Mit dem gelieferten Kreisel und dem dazugehörigen Zubehör lassen sich auf einfache, aber beeindruckende Weise alle Eigenschaften eines symmetrischen Kreisels zeigen.

Wenn man an Kreisel denkt, stellt man sich meistens sofort Kinderkreisel vor, die durch ihre oft sehr erstaunlichen Bewegungen faszinieren. Bei diesen Kinderkreiseln handelt es sich aber keinesfalls mehr um physikalisch einfach zu erklärende Vorgänge. Oft sind diese etwas unsymmetrisch hergestellt, mit einer speziell geformten Spitze versehen oder die Masse ist in ihnen nicht homogen verteilt.

Ein erster Schritt in die Richtung die Phänomene von Kreiseln zu verstehen, ist sicher die Beschäftigung mit einem symmetrischen Kreisel. Dieses Verständnis sollen die, in dieser Experimentieranleitung beschriebenen, Experimente bringen. Gemeint sind dabei das grundlegende Verhalten eines freien Kreisels und die Präzisionsbewegung eines „unfreien“ Kreisels.

Zusätzlich werden noch einige Anmerkungen gemacht, um aufzuzeigen, wo symmetrische Kreisel im Alltag eine wichtige Anwendung finden.

In diesem Begleitheft zu den NTL-Kreiselexperimenten sind nach einer gleich anschließenden Gerätebeschreibung folgende Experimente genau beschrieben:

1. Der freie Kreisel
  - 1.2 Allgemeine Eigenschaft eines freien Kreisels
  - 1.3 Anwendung: Der Kreiselkompass
  
2. Die Präzisionsbewegung eines Kreisels
  - 2.4 Ein aufgehängter Kreisel
  - 2.5 Ein auf der Spitze stehender Kreisel
  - 2.6 Ein auf der Hand stehender Kreisel

## Einleitung

### Der physikalische Hintergrund:

Dass es sich bei Kreiselphänomenen um keine einfachen physikalischen Vorgänge handelt, wurde bereits erwähnt. Es soll diese komplizierte Physik in diesem Begleitheft auf keinen Fall bis ins Detail besprochen werden. Trotzdem wird aber immer wieder auf die physikalischen Grundlagen verwiesen, die hinter dem betrachteten Experiment stehen.

Das Gesetz, das als physikalische Grundlage für alle Vorgänge gilt, die mit der Rotation von starren Körpern zu tun haben, ist die Erhaltung des Drehimpulses in einem abgeschlossenen System. Diese Erhaltung des Drehimpulses wird sich auch bei der Erklärung von Kreiselphänomenen als grundlegend herausstellen. Es gilt:

$$\vec{L}_{ges} = const.$$

Für die Bestimmung des Drehimpulses eines rotierenden Körpers muss man die Definition des Drehimpulses heranziehen. Es gilt:

$$\vec{L} = I \bullet \vec{\omega}$$

$I$  ... Trägheitsmoment des Körpers um die Rotationsachse

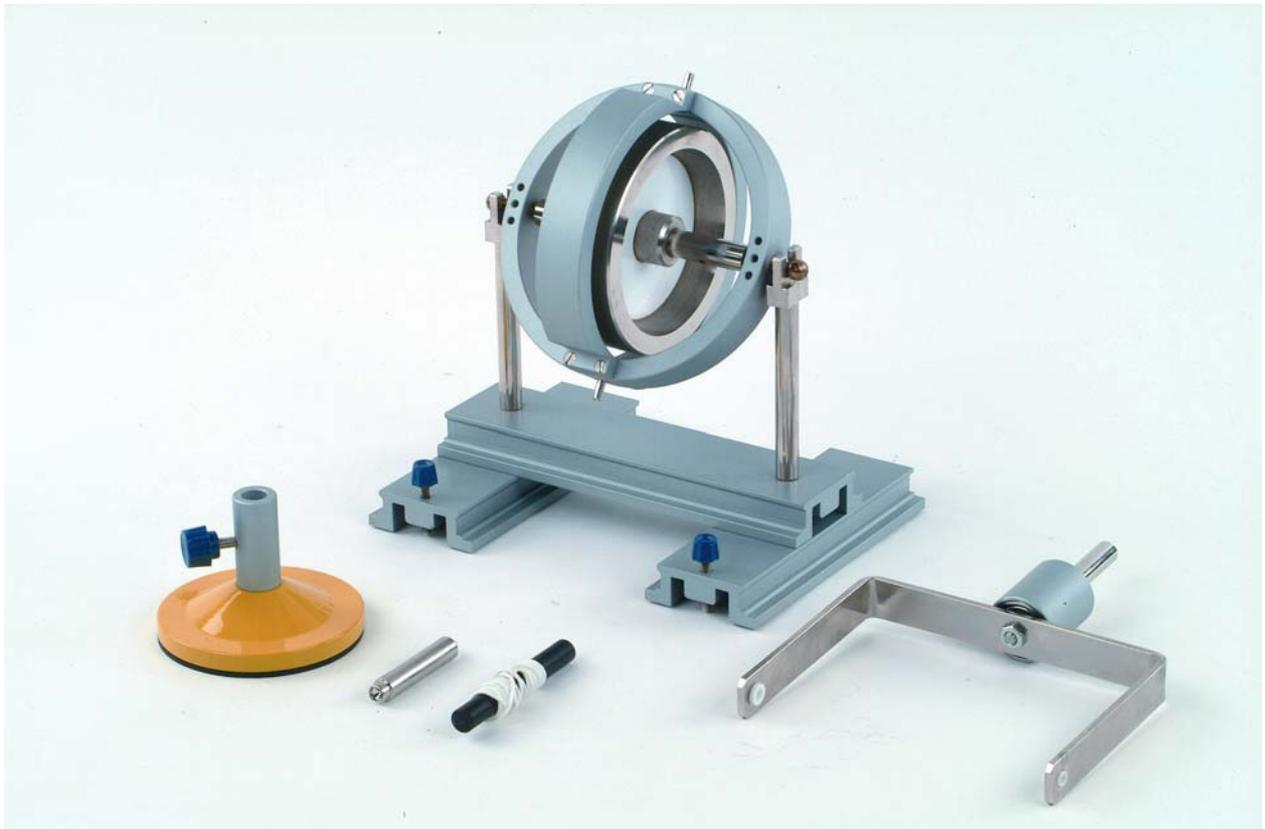
$\vec{\omega}$  ... Winkelgeschwindigkeit des Körpers

Diese nur kurz angeschnittenen Zusammenhänge werden im Rahmen der folgenden Experimente zur Erklärung dienen. Auf eine ausführliche und exakte physikalische Beschreibung des Themenbereiches *Drehimpulserhaltung* wurde hier verzichtet, da dieser in den meisten Lehrbüchern für Physik eingehend abgehandelt wird.

## Gerätebeschreibung

### Enthaltenes Experimentiermaterial:

- 1 Kreisel, 1 000 g, Gerätesatz DM354-1K, bestehend aus:
- 1 Y-Aufhängung
- 1 Stativfuß für Kreisel
- 1 Rundfuß für Kreisel
- 1 Lagerstab mit einer Spitze bzw. einer Mulde an den Enden
- 1 Stk. Schnur
- 1 Imbus-Schlüssel
- 1 Tube Fett



## Gerätebeschreibung

### 1. Verwenden einer Unterlage:

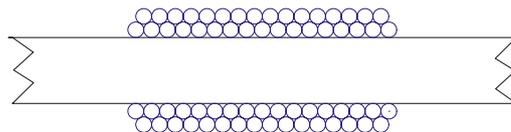
Wie bereits erwähnt verfügt der Kreisel über einen stabilen Rahmen. Dennoch sollte man beim Experimentieren mit dem Kreisel eine Unterlage verwenden. Als eine solche könnten zwei Lagen dicker Wellpappe oder eine mehrmals zusammengelegte Decke dienen. Sollte der Kreisel „abstürzen“ (das kann passieren!) und nicht mehr rechtzeitig aufgefangen werden, schlägt er einerseits unübersehbare Mulden in den Tisch und andererseits ist es möglich, dass der Kreisel mit einem Messinglager (die beiden Lager stehen aus dem Rahmen her) aufkommt, was dem Kreisel sicher nicht gut bekommt und mit großer Wahrscheinlichkeit seine guten Laufeigenschaften beeinträchtigt.

### 2. Anwerfen des Kreisels

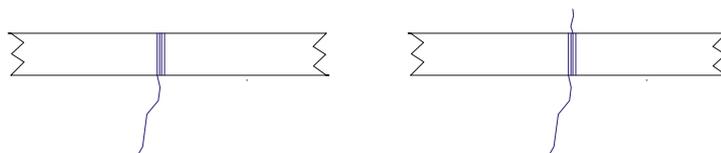
Das Anwerfen des Kreisels erfolgt in dem speziell zum Anwerfen konstruierten Stativfuß. In dieses wird der Kreisel mit den beiden Messingbolzen, die aus dem Rahmen herausstehen und gleichzeitig als Lager dienen, gelegt. Dort sollte der Kreisel auch aufbewahrt werden, speziell dann, wenn er sich noch dreht, im Moment aber nicht verwendet wird. Das Anwerfen des Kreisels erfolgt mit der gelieferten Schnur. Dazu wird ein Ende der Schnur in eines der beiden kleinen Löcher in der Kreiselachse gesteckt und anschließend die ganze Schnur auf die Kreiselachse aufgewickelt. Dann kann der Kreisel durch starkes, aber gleichmäßiges Ziehen in Rotation versetzt werden.

Drei wichtige Punkte sind beim Anwerfen des Kreisels zu beachten:

1. Die Schnur muss sehr gleichmäßig auf die Achse aufgewickelt werden. Ein Schnitt durch die Achse mit einer optimal aufgewickelten Schnur würde folgendermaßen aussehen:



2. Beim Durchstecken der Schnur durch das Loch in der Achse ist zu beachten, dass die Schnur am anderen Ende des Lochs nicht wieder heraussteht. Sonst kann es passieren, dass sich die Schnur nach dem vollständigen Abwickeln wieder aufrollt.



## Gerätebeschreibung

3. Während des Anziehens muss der Kreisel mit seinem Stativfuß sehr fest gehalten werden. Dazu wird der Kreisel wie folgt gehalten:



### 3. Warten des Kreisels

Im Prinzip hat der Kreisel durch seine Konstruktion sehr gute Laufeigenschaften. Trotzdem ist es nach längerem Gebrauch notwendig, die Lager zu schmieren. Auf jeden Fall sollten die Lager nachgestellt werden, sobald Lagergeräusche (der gesamte Kreisel „brummt“) zu hören sind.

Dazu werden einfach die Imbusschrauben, die die beiden Messinglager fixieren, mit dem mitgelieferten Schlüssel gelöst. Dann lässt sich durch Hinein- bzw. Herausdrehen der Messinglager der optimale Abstand einstellen. Die Achse soll „fest“ sitzen. Die Lager sollten aber nur so weit hineingedreht werden, dass der Kreisel nicht gebremst wird. Anschließend werden die beiden Imbusschrauben wieder angezogen, um die beiden Messinglager wieder zu fixieren.

## Exp. 1 Der „freie“ Kreisel

Unter einem *freien Kreisel* versteht man einen symmetrischen Kreisel, der so gelagert bzw. aufgehängt ist, dass auf ihn keine Kräfte wirken können. Um eine solche kräftefreie Lagerung bzw. Aufhängung zu realisieren, stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Einerseits die Lagerung eines speziell geformten Kreisels im Schwerpunkt und andererseits die kardanische Aufhängung eines Kreisels. Die zweite Möglichkeit der technischen Umsetzung eines freien Kreisels ist auf dem folgendem Bild ersichtlich und mit den im Set enthaltenen Teilen durchführbar.



### 1.1 Allgemeine Eigenschaft eines freien Kreisels

Im Zubehör befindet sich eine Y-Aufhängung, mit deren Hilfe man den Kreisel kardanisch, also kräftefrei, aufhängen kann, um somit die Eigenschaften eines freien Kreisels zu zeigen.

**Man benötigt:**

- den Kreisel
- den Stativfuß und die Schnur zum Anwerfen
- die Y-Aufhängung
- den Rundfuß

**Experiment:** Zuerst wird der rotierende Kreisel (siehe Gerätebeschreibung: Anwerfen des Kreisels) aus dem Stativfuß, der zum Anwerfen dient, genommen und in die Y-Aufhängung eingesetzt, die ihrerseits in dem Stativfuß befestigt ist. Nun wird der Fuß der Y-Aufhängung in die Hand genommen und beliebig durch den Raum bewegt. Dabei können mit der Aufhängung alle möglichen Translations- und Rotationsbewegungen gemacht werden.

**Ergebnis:** Die Kreiselachse wird bei allen räumlichen Veränderungen der Aufhängung seine Lage bzw. Richtung im Raum beibehalten.

## Exp. 1 Der „freie“ Kreisel

**Tips und Tricks:** Beim Durchführen dieses Versuches sollte man berücksichtigen, dass die Lager natürlich nicht reibungsfrei arbeiten. Vor allem das Lager, das sich in der Mitte der Y-Aufhängung befindet, weist bei manchen speziellen Lagen eine recht große Reibung auf. Dies ist besonders der Fall, wenn die Achse dieses Lagers extrem geneigt ist, und somit das ganze Gewicht des Kreisels „auf dem Lager hängt“. Damit diese Reibungseffekte die Demonstration des freien Kreisels nicht stören, kann man folgendes tun:

Beim Bewegen der Aufhängung nur sehr langsame und gleichmäßige Bewegung ausführen.

Solche Bewegungen, bei denen die Kreiselachse kurzfristig in dieselbe Richtung wie die Drehachse des Messinglagers weist, sind zu vermeiden.

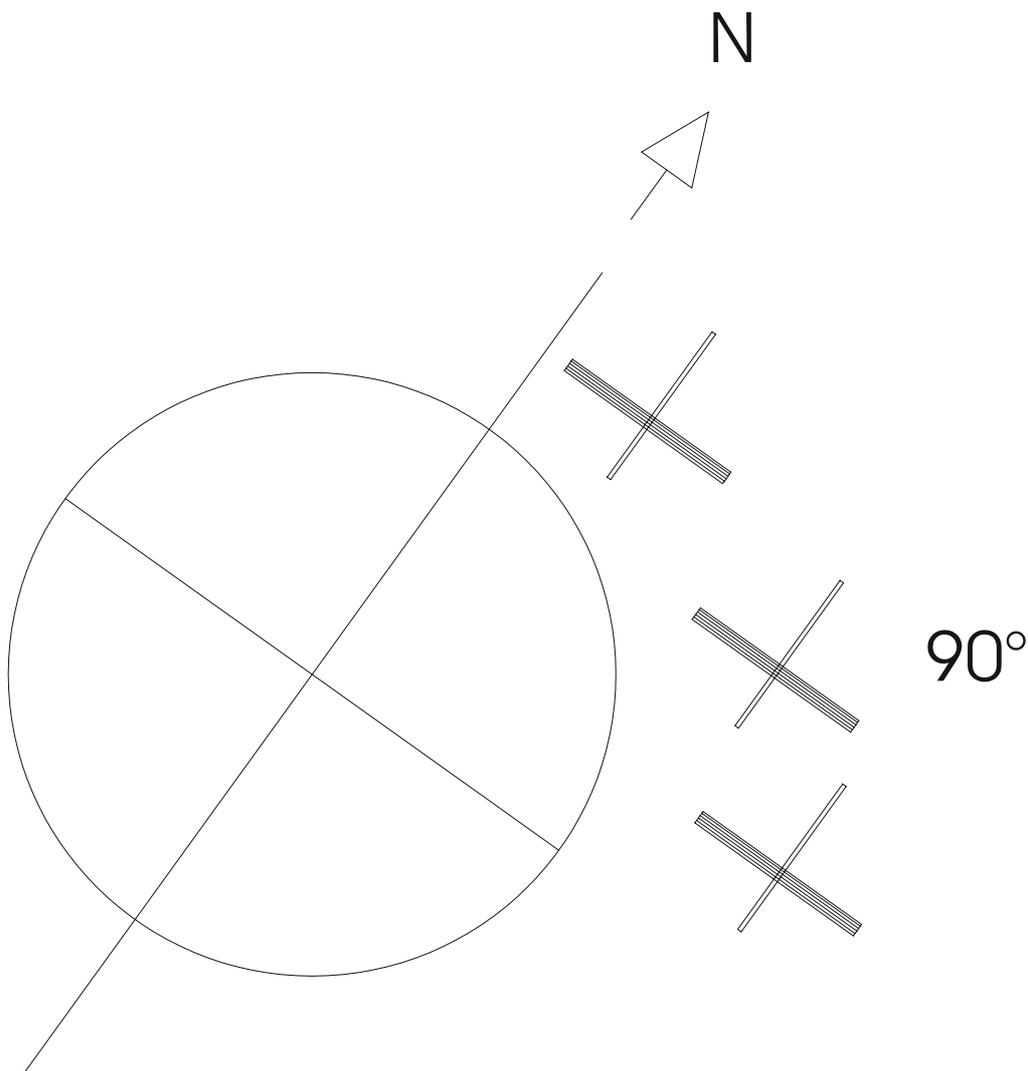
**Physikalisch gesehen:** Diese gezeigte Eigenschaft des freien Kreisels beruht wie die meisten Kreiselphänomene auf der Erhaltung des Drehimpulses in einem abgeschlossenen System. Aufgrund der speziellen kräftefreien Aufhängung kann man den Kreisel in diesem Fall als ein abgeschlossenes System betrachten. Beim Drehimpuls handelt es sich um eine vektorielle Größe – er hat also Betrag und Richtung. Bleibt nun der Drehimpuls erhalten, so natürlich auch sein Betrag und seine Richtung. Daraus ergibt sich direkt das Beibehalten der Achsenrichtung des Kreisels bei der räumlichen Veränderung der Aufhängung.

## Exp. 1 Der „freie“ Kreisel

### 1.2 Bestimmung der geographischen Breite

- man benötigt:**
- den Kreisel
  - das Stativ und die Schnur zum Anwerfen
  - die Y-Aufhängung
  - den Stativfuß
  - einen Globus
  - ein Lot

**Versuch:** Nachdem der Kreisel in Rotation versetzt worden ist, wird die Kreiselachse so eingestellt, dass sie parallel zur Erd- bzw. Globusachse gerichtet ist. Mit einem Lot und dem freien Kreisel lässt sich nun die jeweilige geographische Breite bestimmen. Das Lot schließt mit der Kreiselachse einem Winkel ( $90^\circ - \varphi$ ) ein, wenn sich der Kreisel (der Schwerpunkt des Kreisels) in der geographischen Breite  $\varphi$  befindet. Dieser Zusammenhang ist in der folgenden Zeichnung graphisch dargestellt.



## Exp. 1 Der „freie“ Kreisel

**Anwendung:** Diese Eigenschaft des freien Kreisels ist unentbehrlich in der Schifffahrt und im Flugverkehr. In einem so genannten Kreiselkompass befindet sich ein freier Kreisel, ähnlich dem, in dem beschriebenen Versuch verwendeten Kreisel. Zusätzlich befindet sich in einem solchen Kreiselkompass noch eine Menge von anderen mechanischen Teilen, die aber nur der besseren und vor allem präziseren technischen Umsetzung des freien Kreisels dienen. Im Prinzip funktioniert ein Kreiselkompass genau auf die in dem Experiment gezeigte Weise. Oft ist auch noch eine Vorrichtung integriert, die das direkte Ablesen der geographischen Breite ermöglicht.

Bleibt nur noch eine Frage: Wie kann man die Kreiselachse (speziell bei einem geschlossenen Kompassgehäuse) genau parallel zur Erdachse einstellen?

Diese Frage lässt sich leicht beantworten, wenn man sich einige Gedanken über die Erhaltung des Drehimpulses macht. Wie bereits am Anfang erwähnt, bleibt der Drehimpuls in einem abgeschlossenen System erhalten. Der Kreisel bzw. der Kreiselkompass kann hier aber nicht als abgeschlossenes System betrachtet werden, da er durch seine Aufhängung mit der Erde, die ein rotierendes Bezugssystem darstellt, verbunden ist. Die Rotation der Erde muss also Auswirkungen auf das Verhalten des Kreisels haben. Auf diesen Auswirkungen beruht eine recht verblüffende Eigenschaft eines entsprechend gelagerten freien Kreisels im Bezugssystem Erde: ***Der Kreisel stellt sich von selbst so ein, dass seine Achse parallel zur Erdachse steht. Hat sich der Kreisel einmal so eingerichtet, bleibt er unverändert in dieser Lage.*** Das bedeutet also, dass sich der Kreiselkompass von selbst kalibriert bzw. richtig einstellt.

## Exp. 2 Die Präzisionsbewegung eines Kreisels

Im Gegensatz zu Exp. 1 sollen hier das grundlegende Verhalten eines nicht kräftefreien Kreisels gezeigt werden. Darunter versteht man einen Kreisel, der aufgrund seiner Lagerung nicht als abgeschlossenes System betrachtet werden kann, daher können auch Kräfte von Außen auf ihn wirken. Ein nicht freier Kreisel ist also nicht im Schwerpunkt gelagert oder kardanisich aufgehängt. Diese beiden möglichen Lagerungsarten eines freien Kreisels sind in Exp. 1 beschrieben.

### 2.1 Ein aufgehängter Kreisel

**man benötigt:** - den Kreisel  
- den Stativfuß und die Schnur zum Anwerfen

**Experiment:** Nachdem der Kreisel in Rotation versetzt worden ist, hängt man ihn, wie auf dem folgendem Bild veranschaulicht, mit Hilfe der im Set enthaltenen Schnur auf. Anfangs stabilisiert man den Kreisel zusätzlich mit der freien Hand. Nun lässt man die stabilisierende Hand los und beobachtet.



**Ergebnis:** Der Kreisel fällt nicht, wie vielleicht zu erwarten wäre, in Richtung Boden. Die Achse bewegt sich anfangs annähernd in einer Ebene auf einer Kreisbahn. Die Schnur und die Achse behalten bei dieser Bewegung den Winkel bei, den sie vor dem Loslassen eingeschlossen haben.

## Exp. 1 Der „freie“ Kreisel

**Physikalisch gesehen:** Wieso der Kreisel in einem Kreiselkompass im Bezugssystem Erde von selbst so ausrichtet, dass seine Achse parallel zur Erdachse steht, wird anhand der folgenden Zeichnung erklärt.

Der Kreisel ist mit seiner Achse in einem Schwimmer montiert, sodass die Achse immer horizontal ausgerichtet ist.

1. Die Kreiselachse ist am Äquator in West-Ost-Lage ausgerichtet.
2. Nach einer gewissen Zeit wird die Kreiselachse durch die Erdrotation gekippt. Aufgrund der Präzision des Kreisels (vgl. Exp. 2) ändert sich die Achsenrichtung aber normal zu der Richtung, in die sich die Achse drehen sollte.
3. Aufgrund des anhaltenden Vorgangs, der in 2. beschrieben ist, kommt der Kreisel einmal in die Stellung, in der die Kreiselachse parallel zur Erdachse steht. Einmal in dieser Stellung angekommen, ändert sich die Richtung der Kreiselachse nicht mehr, da kein, die Drehachse kippendes, Drehmoment mehr auftritt.

## Exp. 2 Die Präzisionsbewegung eines Kreisel

### 2.2 Ein auf der Spitze stehender Kreisel

**man benötigt:**

- den Kreisel
- den Stativfuß und die Schnur zum Anwerfen
- den Rundfuß und den Lagerstab mit Spitze und Mulde

**Experiment:** Der Lagerstab wird in den Rundfuß gesteckt und fixiert. Nach dem Anwerfen des Kreisels wird dieser einfach mit der entsprechenden Seite auf den Lagerstab gestellt („Mulde auf Spitze“ oder „Kugel in Mulde“).



**Ergebnis:** Der Kreisel fällt nicht zu Boden. Die Kreiselachse bewegt sich auf einem so genannten Präzisionskegel.

## **Exp. 2 Die Präzisionsbewegung eines Kreisels**

### 2.3 Ein auf der Hand stehender Kreisel

**man benötigt:** - den Kreisel  
- den Stativfuß und die Schnur zum Anwerfen

**Experiment:** Der in Rotation versetzte Kreisel wird auf die flache Handfläche gesetzt.

**Ergebnis:** Die Kreiselachse senkt sich nicht plötzlich. Der Kreisel „tanzt“ auf der Handfläche, bis ihn die „Kraft“ verlässt und der Radius der Umlaufbahn der oberen Kreiselspitze immer größer wird.

## Exp. 2 Die Präzisionsbewegung eines Kreisels

**Tipps und Tricks:** Aufgrund der nicht zu vermeidenden Reibung nimmt der Drehimpuls des Kreisels im Laufe der Zeit ab und die Schwerkraft „gewinnt“ doch – die Achse senkt sich ab. Dieser Effekt sollte auf jeden Fall erklärt werden! Die Präzision eines Kreisels kann aber doch recht gut gezeigt werden, wenn man Experiment 2.1 bis 2.3 mehrere Male hintereinander ausführt.

**Physikalisch gesehen:** Das in Experiment 2.1 bis 2.3 beobachtbare Phänomen ist die Grundlage für die gezeigte Bewegung, die als *Präzisionsbewegung* bezeichnet wird.

Bei dem betrachteten Kreisel handelt es sich um einen symmetrischen Kreisel. Eine Eigenschaft eines solchen Kreisels ist es, dass seine Achse immer die gleiche Raumrichtung beibehält, egal, wie sich seine Umwelt weiterbewegt. Dies gilt natürlich nur, wenn keine äußeren Kräfte auf den Kreisel, bzw. die Kreiselachse wirken, wie es zum Beispiel bei einer kardanischen Aufhängung (diese macht einen Kreisel zu einem freien Kreisel) eines Kreisels der Fall ist.

Wirkt nun eine Kraft auf die Kreiselachse, so weicht diese, wie bereits festgestellt, im rechten Winkel zu der Richtung der angreifenden Kraft aus.

Kurz erklärt, könnte man das auftretende Phänomen wie folgt beschreiben:

Ein symmetrischer Kreisel rotiert und besitzt somit den Drehimpuls  $\vec{L}$ . Wirkt auf die Kreiselachse eine Kraft  $\vec{F}$ , so wirkt auf den Kreisel auch ein Drehmoment  $\vec{M}$ . Aus dem Zusammenspiel des Drehmoments  $\vec{M}$  mit dem Drehimpuls  $\vec{L}$  ergibt sich ein weiterer Drehimpuls  $\Delta\vec{L}$  der zu einem Ausweichen des Kreisels in der oben dargestellten Richtung führt.