

## Hinweise zur Durchführung der Versuche mit dem Kreisel

**Beachten Sie stets die Gefährlichkeit des rotierenden Kreisels! Langes Haar muss gesichert werden, z.B. durch ein Kopftuch, Stirnband o.ä.!**

**Beachten Sie außerdem:**

**Der Kreisel ist sehr teuer und empfindlich - behandeln Sie ihn mit Sorgfalt. Zum abbremsen des Kreisels niemals „grobe Hebel“ ansetzen, sondern nur mit den Lappen an der Welle zupacken.**

**Der Kreiselkörper ist tabu.**

Der Kreiserversuch besticht durch seinen einfachen Aufbau:

Außer dem kardanisch gelagerten Kreisel gibt es zwei auf Schwanenhälsen montierte Bewegungssensoren. Die periodischen Bewegungen Rotation und Nutation werden durch Fototransistoren in elektrische Pulse umgesetzt, die über Pulszähler (Hameg HM8021-4) direkt als Frequenz angezeigt werden. Die langsame Präzessionsbewegung wird mit einer schlichten Stoppuhr gemessen.

Der Kreisel wird mit einem regelbaren Antriebsmotor mit biegsamer Welle in Schwung gebracht. Vor jedem Kreiselanwurf muss die Drehzahlsteuerung auf Null zurückgestellt werden. Der Antriebsmotor soll immer im Rechtslauf und im Drehzahlbereich  $0\text{-}3500\text{ min}^{-1}$  betrieben werden. Vergewissern Sie sich vor jedem Kreiselanwurf, dass die biegsame Welle am Motorflansch fest aufsitzt und dass sie möglichst wenig gebogen ist. Sorgen Sie durch geeignetes Andrücken für einen guten mechanischen Kontakt der Sägezahnkupplung. Während ein Student die Welle hält, regelt sein Partner die Drehzahl langsam hoch. Wenn Sie die biegsame Welle nicht benötigen, lagern Sie diese bitte in gestreckter Haltung.

Zur Bestimmung der Rotationsfrequenz ist ein reflektierender Streifen auf den Kreiselkörper geklebt. Der Schwanenhals wird so gebogen, dass sich das Laser/Fototransistorelement fast senkrecht  $\sim 2\text{cm}$  über der Rotationsfläche befindet.

Zwei LEDs am Schwanenhals geben Aufschluss über eine gute Positionierung:

LED-1 sollte bei Betriebsbereitschaft immer an sein.

LED-2 sollte regelmäßig in der Rotationsfrequenz blinken. Wenn LED-2 dunkel bleibt, ist der Lichtreflex zu schwach; bei Dauerlicht ist er zu intensiv. Als Regelparamester verwenden Sie den Abstand und den Winkel zur Oberfläche.

Die periodische Bewegung des Kardanrahmens aufgrund der Nutation wird ebenso mit dem zweiten Schwanenhals erfasst.

Die Frequenzzähler werden über der A-Eingang gespeist. Die Funktion „FA“ (Frequenz an A) sollte beim Einschalten standardmäßig schon aktiviert sein. Mit „Auto“-Triggerung und Dämpfung „1-25“ wird ein sorgloser Messbetrieb gewährleistet.

Die Frequenzzählung geschieht kontinuierlich. Für die Ablesung können beide Frequenzzähler simultan mit dem Schalter am Kontrollkästchen angehalten werden.

### **Zu Aufgabe 3)**

Nachdem der Kreisel auf Touren gebracht wurde, kann man durch beherztes Anschlagen mit der Faust auf den inneren Kardanrahmen Nutationen anregen. Da diese sich recht schnell wegdämpfen, muss man den Vorgang häufig wiederholen. Das Positionieren des Schwanenhalses auf die Reflektor-beklebte Kante des Kardanrahmens ist nicht schwierig.

Für den Versuch wird der Kreisel mit Hilfe des Motors auf etwa  $1000\text{ min}^{-1} \approx 17\text{ s}^{-1}$  beschleunigt. Nehmen Sie nach oben beschriebene Anweisungen Nutationsmessungen auf; beginnen Sie mit der jeweils Nächsten, wenn die Kreiseldrehzahl um ca.  $0,5\text{ s}^{-1}$  gesunken ist. Auf diese Weise werden ca. 35 Messungen aufgenommen. Tragen Sie die Nutationsfrequenz über der Drehfrequenz in einem Diagramm auf.

Für den zweiten Versuchsteil werden die zylindrischen Zusatzgewichte benötigt. Diese werden zusammen mit zwei  $0,5\text{ mm}$  starken Unterlegscheiben aus Teflon auf die überstehenden Gewinde der inneren Kardan-

achse geschraubt. Positionieren Sie die Zylinder so, dass ihre Symmetrieachsen parallel zur Senkrechten stehen. Die Gewichte müssen gerade so fest angeschraubt werden, dass sie durch die Nutationsbewegung nicht aus ihrer variablen Lage gebracht werden; die Teflonscheiben sind flexibel und bieten den nötigen Spielraum.

Mit den zylindrischen Zusatzgewichten ergibt sich ein wesentlich erhöhtes Trägheitsmoment des äußeren Kardanrahmens um die Senkrechte, woraus eine entsprechend veränderte Abhängigkeit der Nutationsfrequenz von der Kreiseldrehzahl resultiert. Nehmen Sie nach den Muster der ersten Messung auch für diesen Fall Messungen vor und tragen Sie die gemessenen Werte ebenfalls in einem Diagramm auf, praktischerweise werden beide Messungen ein in ein gemeinsames Diagramm eingezeichnet.

#### Zu Aufgabe 4)

Beschleunigen Sie den Kreisel mit Hilfe des Motors auf etwa  $2000 \text{ min}^{-1} \approx 33 \text{ s}^{-1}$ . Bis der Kreisel zum Stillstand kommt, vergehen etwa 35 Minuten. Für die Dämpfungskurve protokollieren Sie alle 30 Sekunden den aktuellen Messwert für die Drehfrequenz. Die Zeitmessung erfolgt mit der Stoppuhr. Auf diese Weise erhalten Sie ca. 60 Messwerte, die Sie über die Zeit auftragen.

#### Zu Aufgabe 5)

Die Messung der Präzessionsfrequenz gleicht im Prinzip der Nutationsmessung. Das für die Präzession nötige Drehmoment wird durch ein Gewicht am inneren Kardanrahmen verursacht. Das Gewicht ist ein Stahlstange, die auf der dem Antriebsflansch gegenüberliegenden Seite am Kugellagergehäuse anzubringen ist. Nach Anbringen dieses Gewichts am rotierenden Kreisel wird, wie in Abschnitt 1.7.2. beschrieben, der innere Kardanrahmen dem Gewicht nachgebend sich zunächst absenken, um dann *nutierend* langsam in eine Präzessionsbewegung um die Senkrechte überzugehen. Vor jedem Messstart muss die Nutation mit der Hand am inneren Kardanrahmen sacht weggedämpft werden.

Achtung: wegen der Länge der Stange müssen die Schwanenhäule aus dem Weg geräumt werden. Kontrollieren Sie auch, dass Sie der Nachbargruppe nicht ins Gehege kommen. Die Präzessionsbewegung ist so langsam, dass Sie den Schwanenhals für die Rotationsmessung erst nach dem Start der Präzessionsmessung wegräumen müssen. Die Präzessionsfrequenz wird mit einer Stoppuhr erfasst. Kontrollieren Sie auch unmittelbar nach der Präzessionsmessung wieder die Rotationsfrequenz.

Wiederholen Sie die Messreihe mit verschiedenen Gewichten an der Metallstange. Tragen Sie jeweils die beiden Frequenzen gegeneinander in einem Diagramm auf.

#### Zu Aufgabe 6)

Berechnen Sie für die in den Aufgaben 4 und 5 erstellten Diagramme jeweils Ausgleichsgeraden. Sie sind dann in der Lage, aus deren Parametern die Hauptträgheitsmomente zu bestimmen.

Für eine eventuelle Fehlerrechnung benötigen Sie neben den Unsicherheiten bezüglich der Massen und Längen in dem Versuch auch den Fehler der obigen Parameter.

#### Zu Aufgabe 7)

Die Erde rotiert mit einer Winkelgeschwindigkeit von Betrag  $|\vec{\omega}_E| = 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Dies ist ein kleiner Wert. Damit die Kreiselmomente, die zur Ausrichtung des Kreiselkompasses nach Norden verantwortlich sind, groß genug werden, muss der Kreisel nach Gleichung (21) eine sehr großen Drehimpuls besitzen und dann sehr schnell rotieren.

Obwohl beim verwendeten Kreiselmodell sowohl die Winkelgeschwindigkeit als auch das Trägheitsmoment um die Figurenachse vergleichsweise groß sind, reicht das resultierende Drehmoment  $\vec{M} = C \cdot \vec{\omega} \times \vec{\omega}_p$  noch nicht aus, um die Lagerreibung zu überwinden und die Figurenachse in Nordrichtung zu drehen. Deshalb wird im Versuch eine größere Winkelgeschwindigkeit  $\vec{\omega}_E$  simuliert, indem der Kreisel auf einen Drehtisch gestellt wird. Der Kreisel wird von Hand in Rotation versetzt.

Durch die Kippung zwischen Drehtisch und Kreisel wird eine geographische Breite von  $\alpha \sim 30^\circ$  simuliert.

Bitte beachten Sie: (1) Justieren Sie den Kreisel auf dem Drehtisch derart, dass der Schwerpunkt sich etwa über der Mitte des Drehtisches befindet. (2) Sie werden feststellen, dass die Richtungsweisung des Kreiselkompasses deutlich von „Norden“ abweicht. Finden Sie eine Erklärung, indem Sie das Verhalten des Kreisels bei abgestellter Rotor- und Tischrotation studieren.