

# Zum Nachweis der Erdrotation

## Bernd Wolfram

Daß die Erde Kugelgestalt besitzt, war schon in der Antike bekannt; im Mittelalter gab es sogar schon Hinweise auf Abweichungen von der Kugelgestalt. Die tägliche Rotation der Erde um ihre Achse war dagegen über Jahrhunderte umstritten und wurde gar vehement bestritten.

Die erste Erwähnung der Erdrotation findet sich bei **Nicole d'Oresme** (1320–1382). Er hatte einige ziemlich undurchschaubare Argumente für die Rotation, aber er deutete den täglichen Auf- und Untergang von Sonne, Mond und Sternen als Folge der Erdrotation.

Noch zu Newton'schen Zeiten glaubte man, eine Erdrotation würde nicht nur zu starken Fliehkräften, sondern auch zu immer stark wehenden Ostwinden führen. Newton wies nach, daß die Fliehkraft wesentlich kleiner als die Schwerkraft ist.

- Die erste Angabe eines Experimentes zum Nachweis der Erddrehung stammt von **Galileo Galilei** (1564–1642). Während des freien Falles eines Körpers dreht sich die Erde nach Osten. Der Körper sollte also westlich von dem Ort auftreffen, welcher senkrecht unter dem Ausgangspunkt des Körpers liegt. Später korrigierte Galilei diese Aussage dahingehend, daß er zugab die Trägheit, welche dem fallenden Körper eine Anfangsgeschwindigkeit in Ost-Richtung gibt, vernachlässigt zu haben. Insgesamt sollte beim freien Fall eine Ostabweichung beim auftreten. Soweit mir bekannt ist, hat Galilei dieses Experiment niemals ausgeführt.
- Erstmals soll **Domenico Guglielmini** (1655–1710) ein solches Experiment im Jahre 1690 durchgeführt haben, über das Ergebnis ist nichts bekannt.
- Erst aus dem Jahre 1802 ist ein durchgeführtes Fallexperiment detailliert überliefert. **Friedrich Benzenberg** (1777–1846) hat Fallexperimente im Turm der Hamburger Michaeliskirche durchgeführt. Die Fallhöhe betrug 76,3 m und Benzenberg stellt eine Ostabweichung von 9 mm fest. Eine Nachrechnung von C.F. Gauss ergab 8,7 mm.

Mit  $\omega$  – Winkelgeschwindigkeit der Erde

$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  – Fallzeit

$\varphi$  – geographische Breite

ergibt sich die Ostabweichung  $x$  zu

$$x \approx \frac{1}{3}gt^3 \cos \varphi$$

- Im Jahr 1835 fand der französische Wissenschaftler **Gaspard G. de Coriolis** (1792–1893) einen weiteren Einfluß der Erddrehung auf Bewegungen

auf der Erde. Das Zusammenwirken von Geschwindigkeit der Bewegung und Erdrotation bewirkt auf der Nordhalbkugel eine Ablenkung der Bewegung nach rechts. Unter Anwendung dieser Entdeckung berechnete 1837 **S. D. Poisson** (1781–1840) eine Abweichung von fliegenden Projektilen.

- Dies brachte **J.B. Léon Foucault** (1819–1868) auf die Idee die Erdrotation mit Hilfe eines Pendel nachzuweisen. Infolge der Coriolis-Kraft sollte sich die Schwingungsebene des Pendels nach Osten drehen. Zunächst machte er einen Versuch mit einer 5 kg schweren Kugel an einem 2 m langen Faden. Danach mit einem 11 m langen Draht in der Pariser Sternwarte. Die Ebene des schwingenden Pendels drehte sich wie vom ihm erwartet langsam in Richtung auf Ost.

Nach diesen Erfolgen bat der Präsident der Republik Louis Napoleon den Pendelversuch im Pariser Panthéon zu wiederholen. Mit großem Erfolg wurde 1851 der Pendelversuch im Panthéon vorgeführt.

Die Pendellänge betrug 67 m und die 28 kg schwere Bleikugel mit Kupferhülle hing an einem 14/10 mm dicken Stahldraht. Bei einer Gesamtamplitude von etwa 6 m und einer Schwingungsdauer von 16.5 s dreht sich die Pendelebene in 6 Stunden um etwa  $70^\circ$ .

Die Probleme bei diesem Pendel waren viel größer als bei den Kleineren. Um eine sichere Aufhängung der Kugel zu gewährleisten, wurde diese genau zentrisch durchbohrt, um ein Holz einstecken zu können. Die andere Seite wird soweit ausgebohrt und mit Gewinde versehen, damit ein Stück Messing eingeschraubt werden kann. Nachdem das Messingstück vollständig durchbohrt ist, wird der Pendeldraht, an dem ein Stück Messingdraht gebunden ist, in die Kugel geführt. Das Stück Messingdraht wirkt wie ein Knopf und trägt die Kugel. Als Aufhängung für das Pendel genügt jeder Haken, wenn man ihn mit einem feinen Loch durchbohrt, den Draht durchzieht und um den Schaft des Hakens fest bindet.

Foucault wählte aber die sog. Cardani'sche Aufhängung. Bei dieser Methode wird der Draht in eine Hülse eingespannt und diese mit Blei ausgegossen. Diese Aufhängung garantiert ein freies und vor allem reibungsfreies Schwingen des Pendels.

Die Aufhängung ist vom Prinzip her aber völlig unkritisch. Dies sieht man besonders deutlich an dem sog. Bohnenberger'schen Maschinchen. Das ist ein in einem Bügel aufgehängtes Pendel. Der Bügel steht auf einem Drehtisch. Versetzt man den Tisch in Drehung, so dreht sich das Pendel wegen seiner Verbindung mit dem Bügel um seine Längsachse, d.h. um die Fadenachse. Diese Drehung ist völlig ohne Einfluß auf die Pendelebene.

Problematisch sind eventuelle Torsion des Fadens, Luftunruhe und Ungleichmäßigkeiten bei dem Anstoßen des Pendels. Deshalb wird das Pendel vorsichtig in seine Ausgangslage gebracht und mittels eines Fadens fixiert. Nun läßt man das Pendel vollständig zur Ruhe kommen, dann wird das Pendel durch Abbrennen des Fadens in Gang gesetzt.

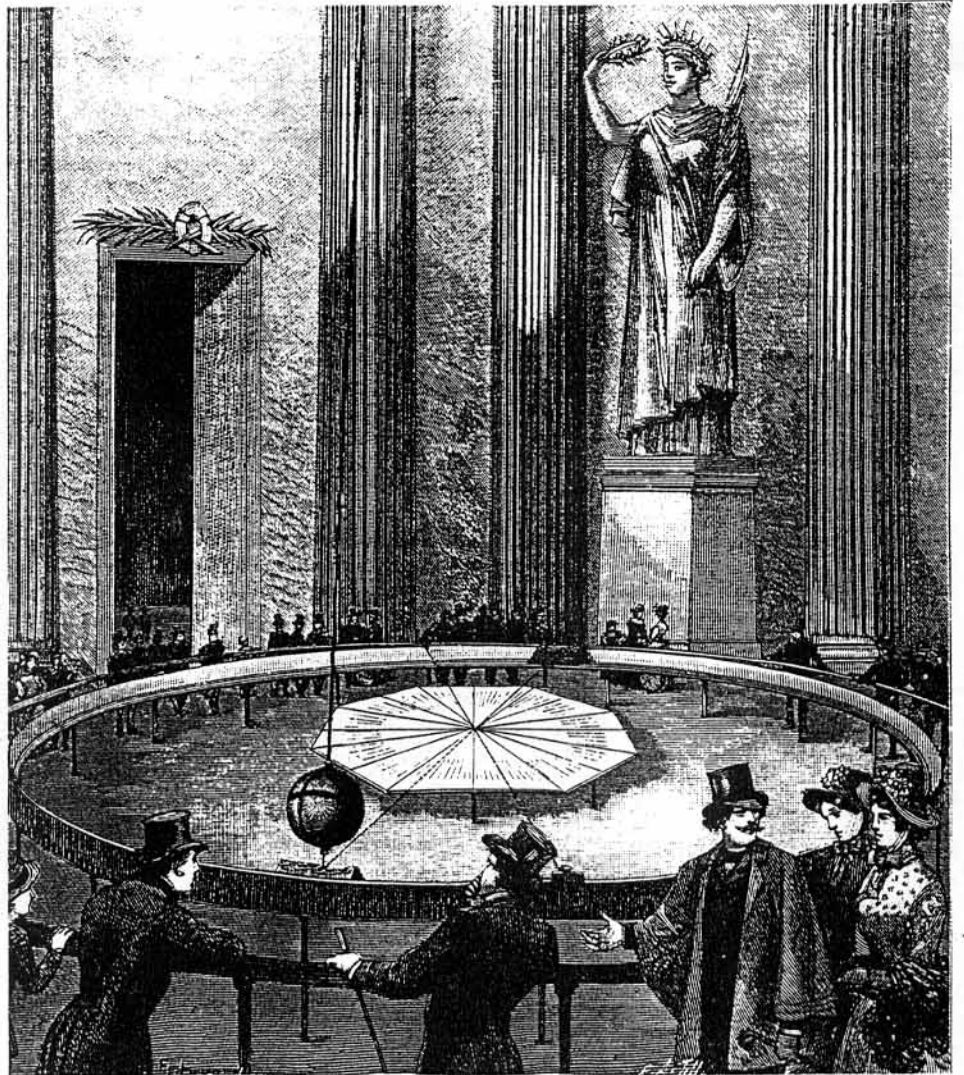
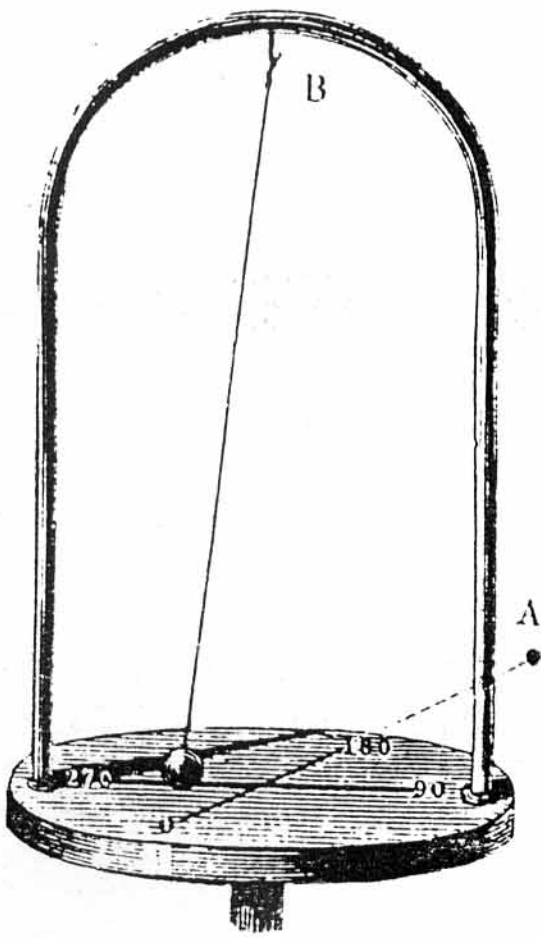
Die Winkelablenkung dieses Foucault-Pendels ist gegeben durch

$$\psi \approx 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \omega \sin \varphi$$

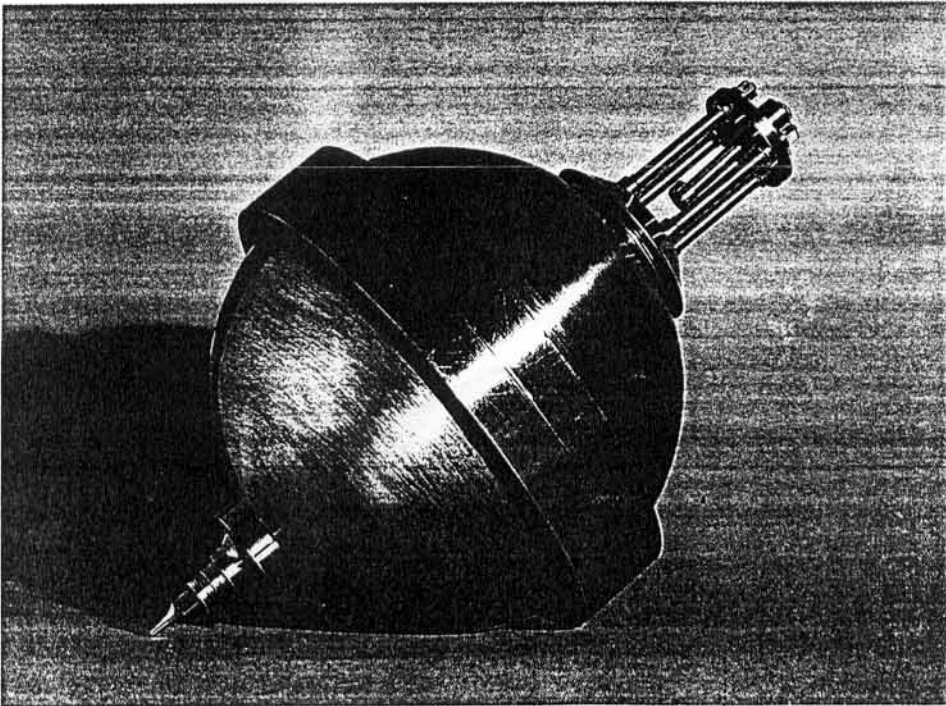
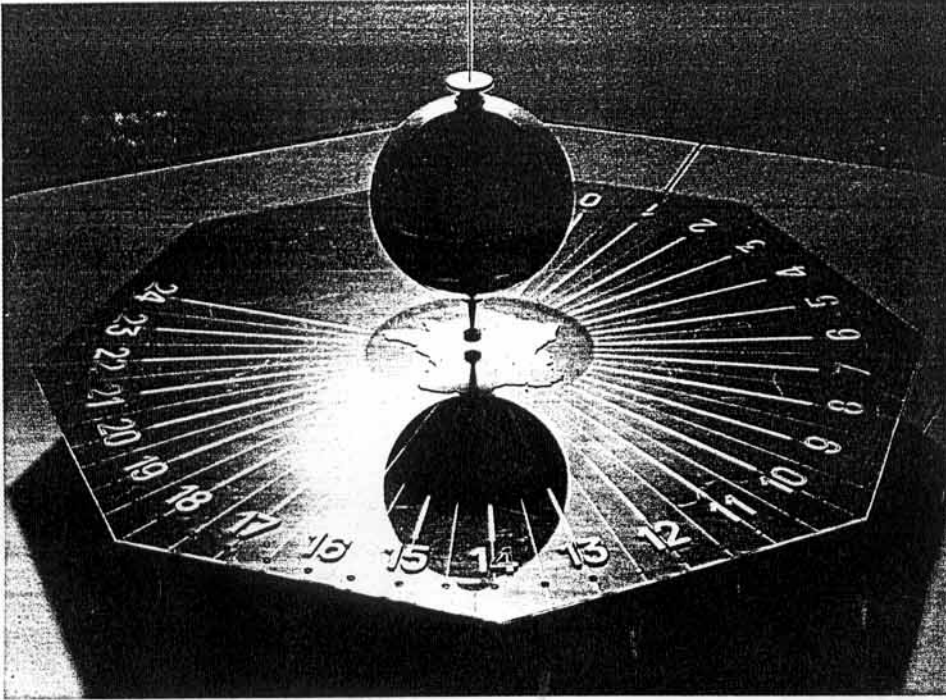
Die Bahn der unteren Holzspitze des Pendels ist einer Rosettenbahn ähnlich.

Eine zweite Möglichkeit des Nachweises der Erdrotation fand Foucault mit dem Kreisel. Ein horizontaler Kreisel wird durch die Schwerkraft an die Horizontale gefesselt, d.h. er ist gezwungen die Erddrehung mitzumachen. Dabei stellt sich die Drehachse in der Horizontalebene so ein, daß sie mit der Drehachse der Erde einen möglichst kleinen Winkel einschließt (Tendenz zum homologen oder gleichsinnigen Parallelismus der Drehachsen, Foucault). Die Drehachse zeigt also in Nord-Süd-Richtung. Die Möglichkeit eines Kreiselskompasses ist also ein Beweis für die Rotation der Erde.

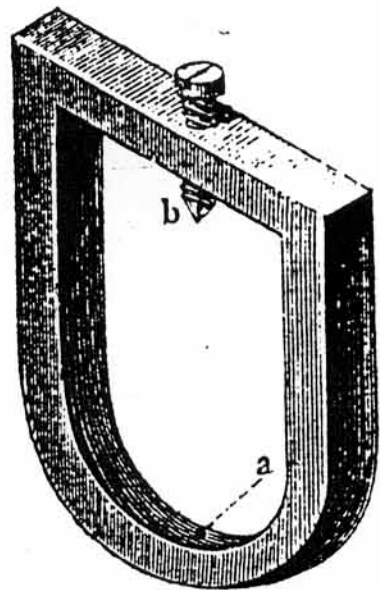
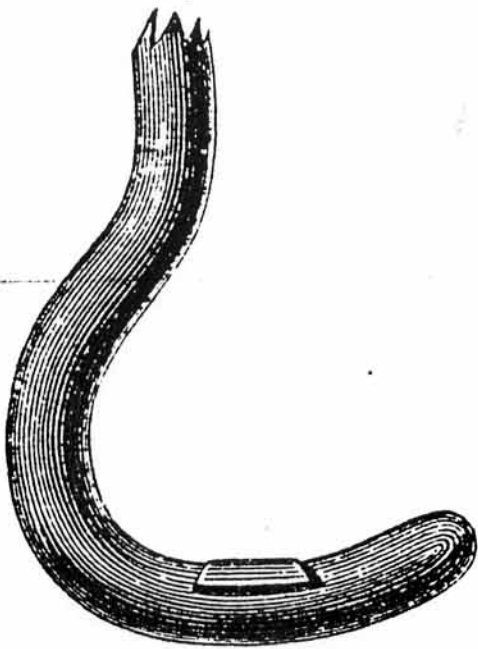
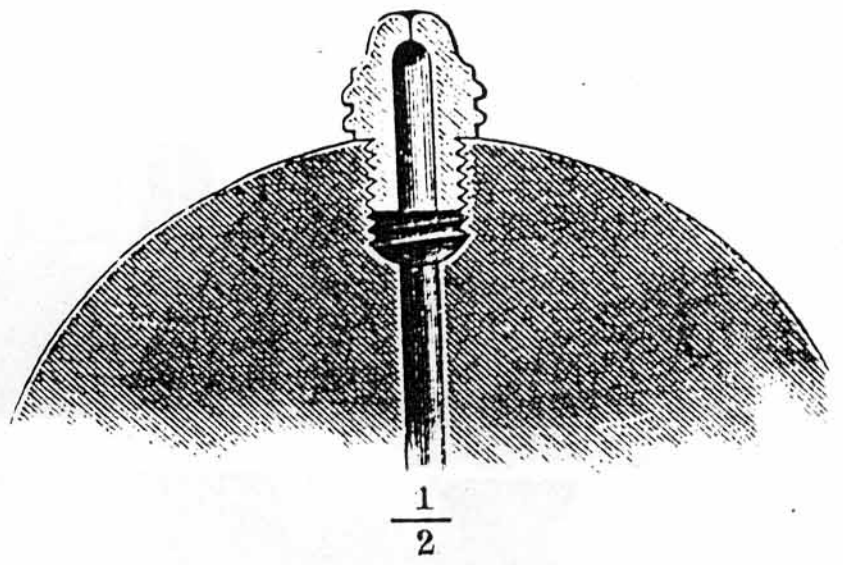
- **Loránd Eötvös** (1848–1919) fand, daß die Schwerebeschleunigung sich in gegen die Erdoberfläche sich bewegenden Systemen infolge der Corioliskraft ändert. Diese Änderung ist mit Hilfe empfindlicher Drehwaagen meßbar.
- Eine letzte Methode für den Nachweis der Erdrotation stammt von **Johann Georg Hagen** (1847–1930), der Direktor der Vatikanischen Sternwarte war. An einem symmetrischen, bifilar und horizontal aufgehängten Balken hängen symmetrisch zur Aufhängung zwei gleiche Ergänzungsmassen, welche längs des Balkens beweglich sind. Der Balken ruht gegen seine Umgebung, besitzt durch die Rotation der Erde aber eine bestimmte Winkelgeschwindigkeit. Werden die Zusatzmassen gleichzeitig in entgegengesetzte Richtungen um eine gleiche Wegstrecke verschoben, so ändert sich plötzlich das Trägheitsmoment der Anordnung. Es treten dann unmittelbar horizontale Schwingungen dieser Waage auf. Diese Anordnung nannte Hagen **Isotomeograph**. Die entsprechenden Experimente machte er 1910 und 1919.

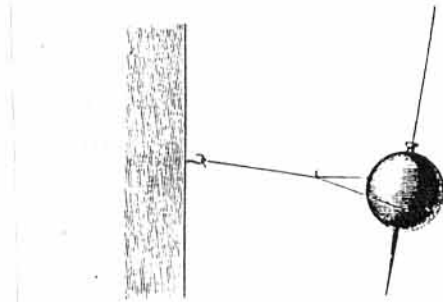
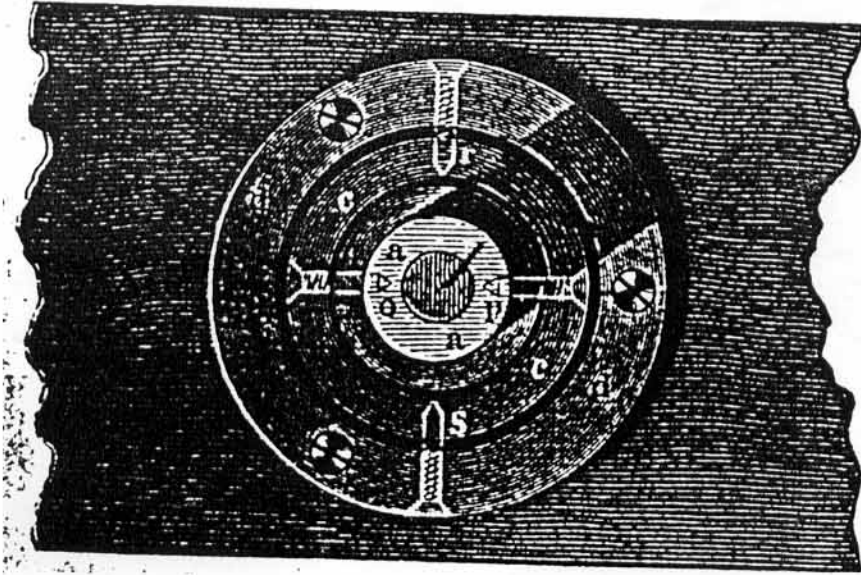
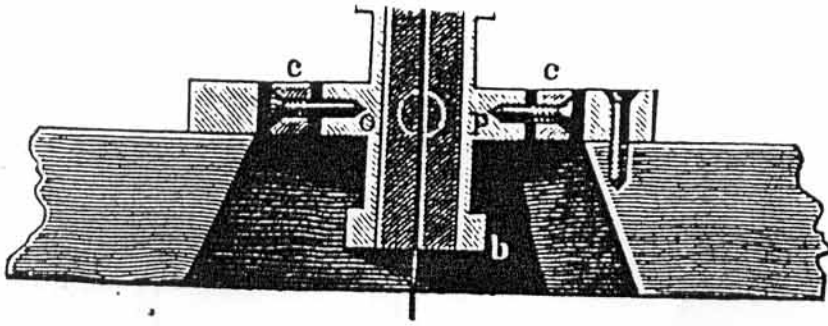


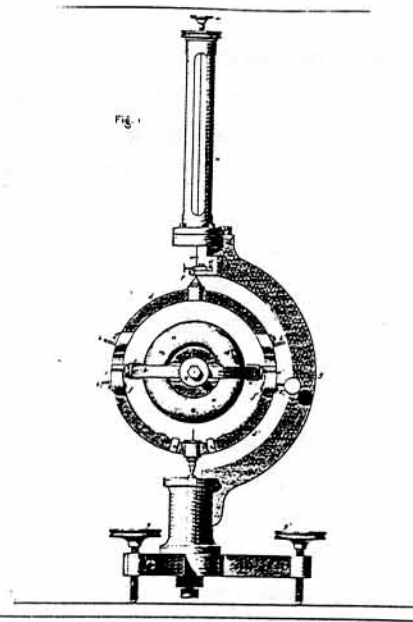
*L'expérience du Panthéon en 1851*



*(En haut) Le pendule de l'exposition de 1855 exposé au Musée des Arts et Métiers.  
(En bas) La boule de l'expérience de 1851 au Panthéon, Musée des Arts et Métiers.*







*Le gyroscope et son lanceur mécanique*

Der Kreisel im CARDANISCHEN  
 Gehänge. Drehachse des äußeren Ringes  
 = Vertikale, Drehachse des inneren  
 Ringes = Horizontale von vorn nach  
 hinten, Drehachse des Schwungringes  
 = Horizontale von links nach rechts

