

Technische Anwendungen
zur Umwandlung der Rotationsenergie der Erde in elektrische Energie
in Theorie und Praxis

17., aktualisierte Auflage

| | |
|---|----|
| 1. Bewegungsänderungen infolge der Kreiselträgheit | 2 |
| 1.1 Das Zustandekommen der Präzessionsbewegung | 2 |
| 1.2 Der resultierende Impuls eines Kreisels bei einer fortlaufend kippenden Achse | 3 |
| 1.3 Die Veränderung des resultierenden Impulses durch das Einwirken zusätzlicher Impulse | 5 |
| 2. Die Umwandlung der Rotationsenergie der Erde in andere Energieformen | 7 |
| 2.1 Voraussetzungen für eine Energieumwandlung | 7 |
| 2.2 Berechnungen zur Kippbewegung der Kreisel durch die Erdrotation | 7 |
| 3. Abschluss: | 11 |

1. Bewegungsänderungen infolge der Kreiselträgheit

1.1 Das Zustandekommen der Präzessionsbewegung

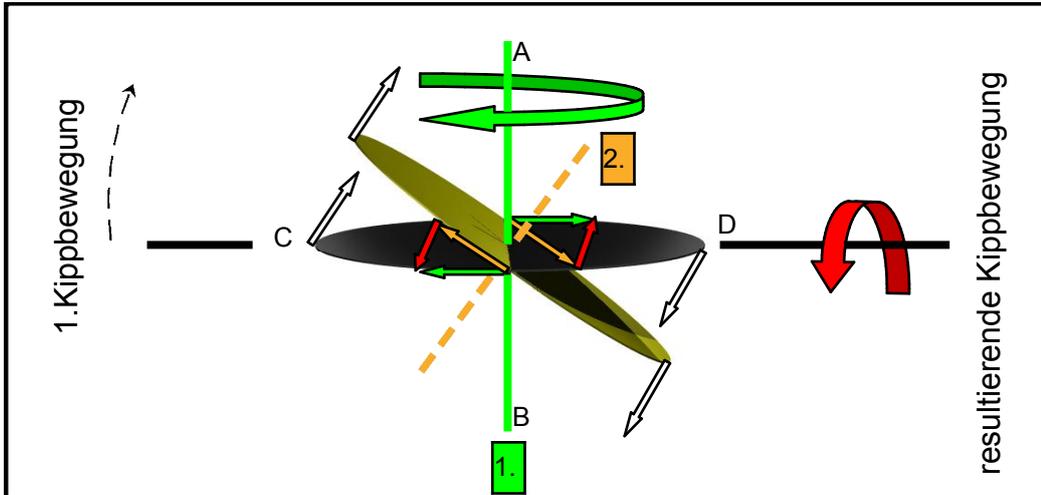


Abbildung 1: die Geschwindigkeitsvektoren bei der Präzessionsbewegung

„Auch für das senkrechte Ausweichen des Kreisels ist das Trägheitsprinzip verantwortlich. Um das einzusehen, müssen wir etwas mehr in Einzelheiten gehen: Das Verhalten dieses Kreisels untersuchen wir zunächst an vier markanten Punkten, A bis D, deren Geschwindigkeit durch Pfeile gekennzeichnet ist. Wird der rotierende Kreisel gestört, beispielsweise dadurch, dass man ihn um die Achse AB zu drehen trachtet, so hat diese Störung keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit in den Punkten C und D, da diese nur parallel verschoben werden. Hingegen erfährt die Geschwindigkeit in den Punkten A und B eine Richtungsänderung (Abb.1). Was passiert, kennt man von der Kurvenfahrt im Auto: Aufgrund der Trägheit, „möchte“ der Fahrer seine Bewegungsrichtung beibehalten. Da das Auto aber durch die Reibungskraft der eingeschlagenen Räder mit der Straße beispielsweise eine Rechtskurve ausführt, kommt es zu einer „Kollision“ des Fahrers mit der Fahrzeughür. Aus der Sicht des Fahrers wird er von einer Kraft (Zentrifugalkraft) gegen die Tür gedrückt. Ganz entsprechend sieht es beim „gestörten“ Kreisel aus. Die Punkte A und B „möchten“ ihren Bewegungszustand beibehalten und rufen dieser Tendenz entsprechend eine Auslenkung entgegengesetzt zur Geschwindigkeitsänderung Δv hervor, welche aufgrund der entgegengesetzten Geschwindigkeitsrichtung in A und B zu einem um die Achse CD wirkenden Kräftepaar bzw. Drehmoment führt...“¹

Die Kreiselträgheit wirkt dabei der Kippbewegung entgegen, dargestellt durch die roten Pfeile. Das resultierende Drehmoment (Achse CD) kann dabei nie eine translatorische, sondern immer nur eine rotatorische Ausweichbewegung einleiten. Diese kann zum Beispiel wie in den Abbildungen 2 bis 4 dargestellt durch ein Gestänge mit dem Auflagepunkt (P) erfolgen. Bei jeder Präzessionsbewegung resultiert somit auch immer eine Kippbewegung des Kreisels um den Unterstützungspunkt herum. Dabei muss fortlaufend die Kreiselträgheit überwunden werden.

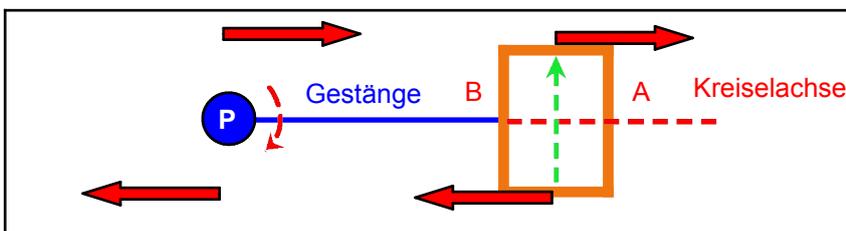
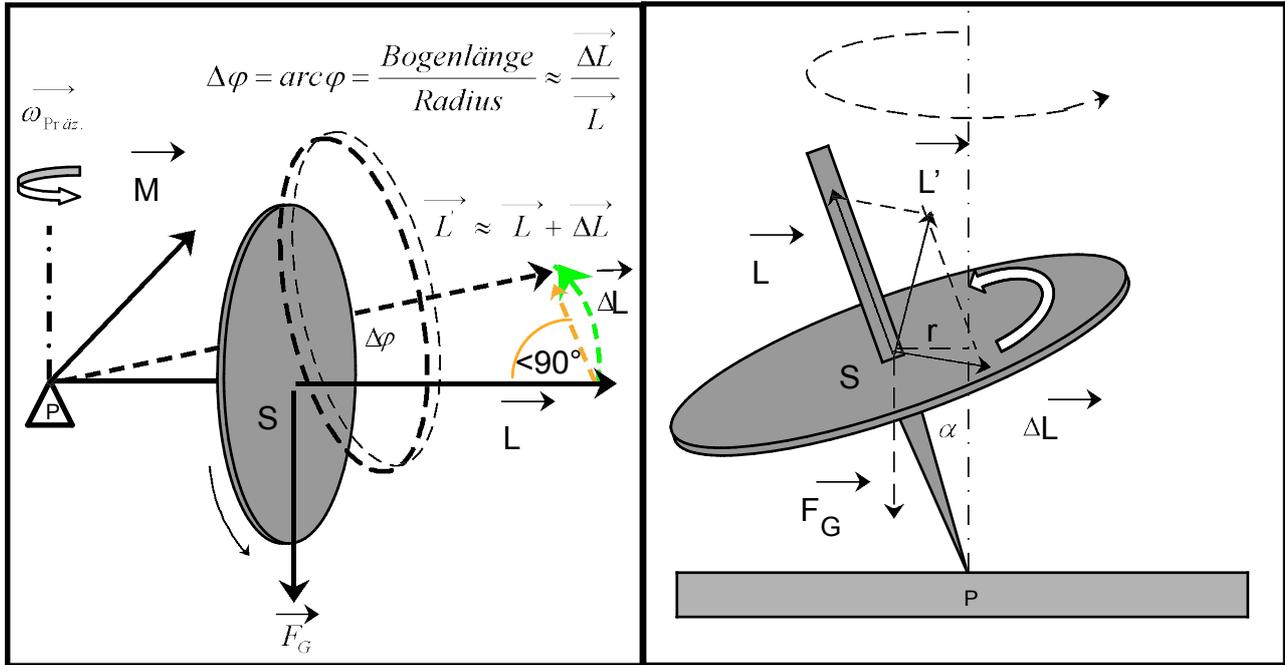


Abbildung 2: Draufsicht; das wirkende Drehmoment der Präzessionsbewegung

¹ Kreiselphänomene, H. Joachim Schlichting, Praxis der Naturwissenschaft- Physik 41/2, 11 (1992), S.4

1.2 Der resultierende Impuls eines Kreisels bei einer fortlaufend kippenden Achse



Abbildungen 3 und 4: Kreisel mit einer fortlaufend kippenden Achse

Die Präzessionsbewegung erfolgt in beiden Abbildungen durch ein Schwerkraft bedingtes Drehmoment.

Es gilt:

„Die Präzessionsbewegung kommt dadurch zustande, dass die im Schwerpunkt angreifende Schwerkraft in Bezug auf den Unterstützungspunkt ein Drehmoment erzeugt, das in einem Zeitintervall auch eine Änderung des Drehimpulses hervorruft.“²

Das durch die Schwerkraft oder die Erdrotation wirkende Drehmoment erzeugt den Impuls der ausweichenden Präzessionsbewegung. Die für die fortlaufende Kippbewegung notwendige Energie wird dabei immer wieder dem Impuls der Präzessionsbewegung entzogen. Dabei muss fortlaufend die Kreiselträgheit entsprechend dem Drehimpuls des Kreisels überwunden werden.

$$(1) \quad \omega_{\text{Präz.}} = \frac{m \cdot g \cdot r}{L_{\text{Kreisel}}} = \frac{F_G \cdot r}{J_{\text{Kreisel}} \cdot \omega_{\text{Kreisel}}}$$

$$(2) \quad P_{\text{Präz.}} = M \cdot \omega_{\text{Präz.}}$$

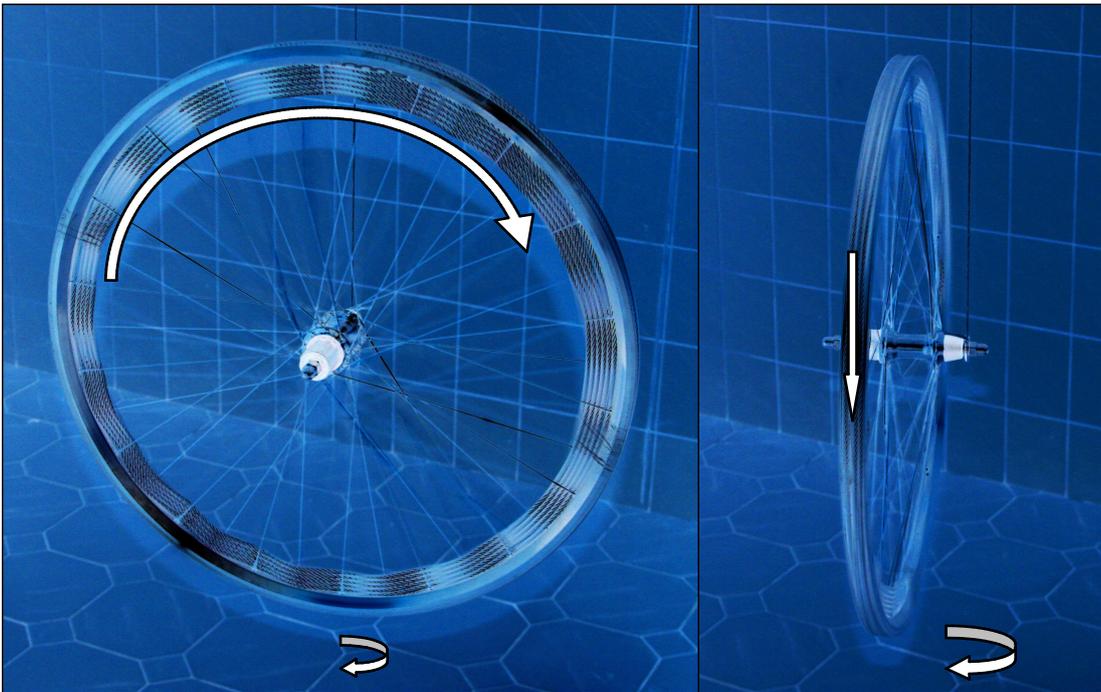
r = Abstand zwischen dem Kreiselschwerpunkt und dem Unterstützungspunkt

Die gleiche Leistung wie bei großer Winkelgeschwindigkeit und kleinem Drehmoment erhält man bei kleiner Winkelgeschwindigkeit und großem Drehmoment.

„Der Neigungswinkel α des Kreisels (Abb. 4) hat gegenüber der Vertikalen keinen Einfluss auf die Präzessionsfrequenz.“³ Nur ein wirkender Impuls erzeugt bei einer Punktmasse zur gleichen Zeit auch nur eine Verschiebung (nur eine Richtungsänderung) und bei einer Kreiselachse auch nur eine Drehbewegung, nur eine Verschiebung bzw. nur einer Kippbewegung innerhalb einer Ebene.

² Physik für Studierende der Natur- und Ingenieurwissenschaften, 15. Auflage
Prof. Dr. sc. nat Dr.- Ing. Heribert Strophe, Carl Hanser Verlag München, 2012, S. 102

³ Übungsbuch Physik, 11. Auflage, Dr. rer.nat. Peter Müller (Federführender); Fachbuchverlag Leipzig, S. 68



Abbildungen 5 und 6: die Präzessionsbewegung am rotierenden Kreisel im Experiment



Abbildungen 7 und 8: *University of Sydney*; (Fakultät: Maschinenbau); Präzession am Kreisel

Abschließend noch ein sehr schönes Beispiel für den Vorgang der Präzession. Im Experiment beträgt die Kreiselmasse 19 kg und der wirkende Hebelarm ca. 1 m, bei maximaler Drehzahl der Bohrmaschine.

1.3 Die Veränderung des resultierenden Impulses durch das Einwirken zusätzlicher Impulse

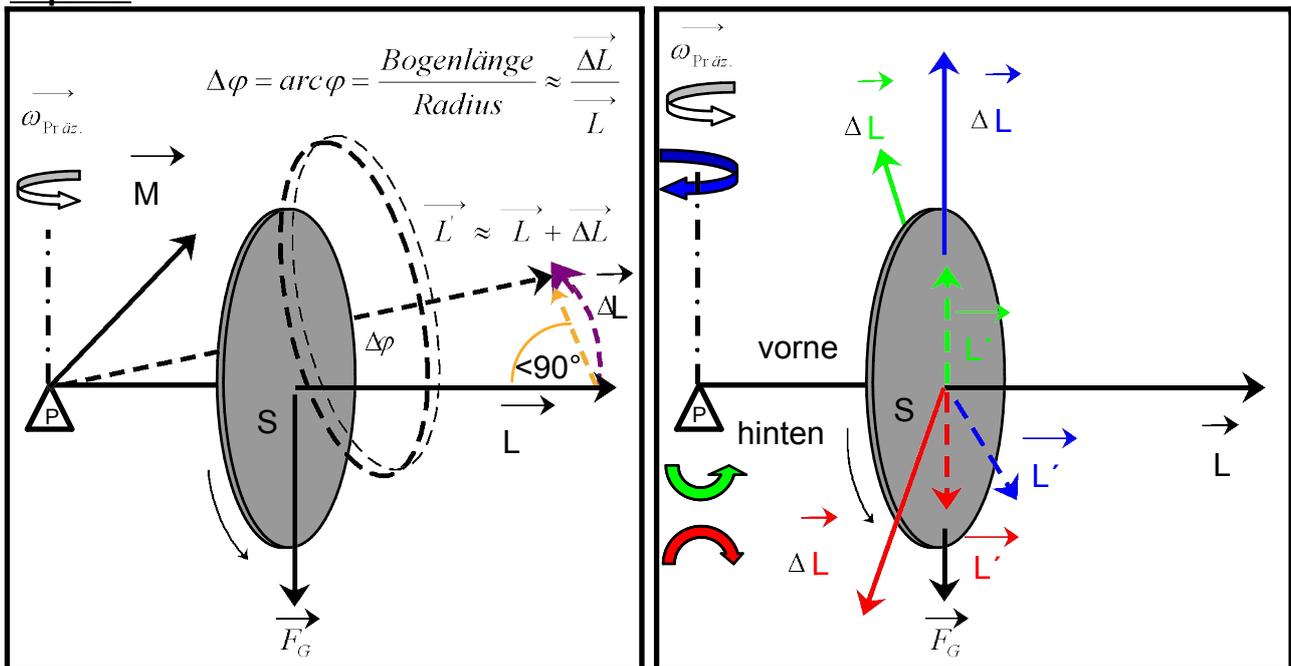


Abbildung 9 (links): Kreisel unter dem Einfluss der Schwerkraft

Abbildung 10 (rechts): Kreisel unter der Einwirkung zusätzlicher Impulse

1. Vorgang (Abbildung 9):

Ein zusätzlicher Impuls (nach unten), gleichgerichtet zum bereits vorhandenen, durch die Schwerkraft bedingten Impulses, erhöht nach Gleichung 1 (vorherige Seite) die Winkelgeschwindigkeit der Präzessionsbewegung.

2. Vorgang (Abbildung 10; blaue Farbe):

Ein zusätzlicher und stärkerer Impuls (nach oben), in Gegenrichtung zum bereits vorhandenen schwerkraftbedingten Impuls, erzeugt einen nach hinten ausweichenden resultierenden Impuls.

3. Vorgang (Abbildung 10; grüne Farbe):

Ein zusätzlicher **sehr kleiner** Impuls (nach vorne), in Richtung des bereits ausweichenden Impulses (Abbildung 5), lässt den Kreisel vertikal mit gleichen Impuls in die Höhe kippen.

4. Vorgang (Abbildung 10; rote Farbe):

Ein zusätzlicher Impuls (nach hinten), in Gegenrichtung zum bereits vorhandenen ausweichenden Impuls (Abbildung 9), lässt den Kreisel nach unten kippen.

Die an der Kreiselmasse angreifende Gravitationskraft wirkt bei jedem Vorgang mit einem entsprechenden Drehmoment **fortlaufend** auf den Unterstützungspunkt weiter.

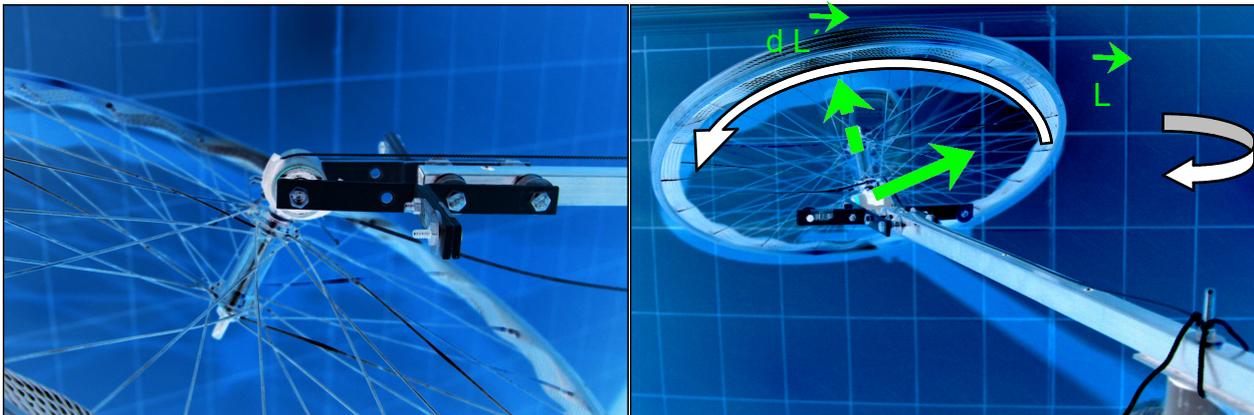
Es gilt zudem die Gesetzmäßigkeit der **Goldenen Regel der Mechanik**:

Gegenüber einem nicht rotierenden Kreisel, lässt sich der rotierende im 3. Vorgang deutlich leichter in die Höhe kippen. Was dabei an Kraft eingespart wird, muß jedoch durch die kleinere Kraft zusätzlich an Weg aufgebracht werden. Während der Kreisel den Unterstützungspunkt umkreist, bewegt er sich entlang einer geneigten Ebene in die Höhe. Somit handelt es sich im 3. Vorgang um eine **kraftumformende Einrichtung**. Die für die Kippbewegung verrichtete mechanische Arbeit je Zeitintervall (Energie) bleibt gegenüber einem nicht rotierenden Kreisel **unverändert**.

Die zuvor beschriebenen Vorgänge (1 bis 4) sind in Übereinstimmung zum Experiment.



Abbildung 11: 3. Vorgang- experimenteller Aufbau



Abbildungen 12 und 13: 3. Vorgang mit einem nach oben kippenden Kreisel

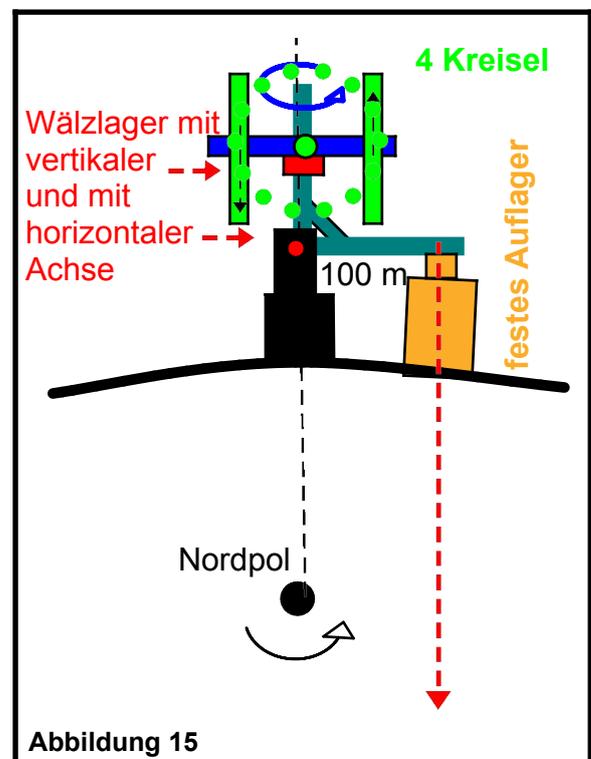
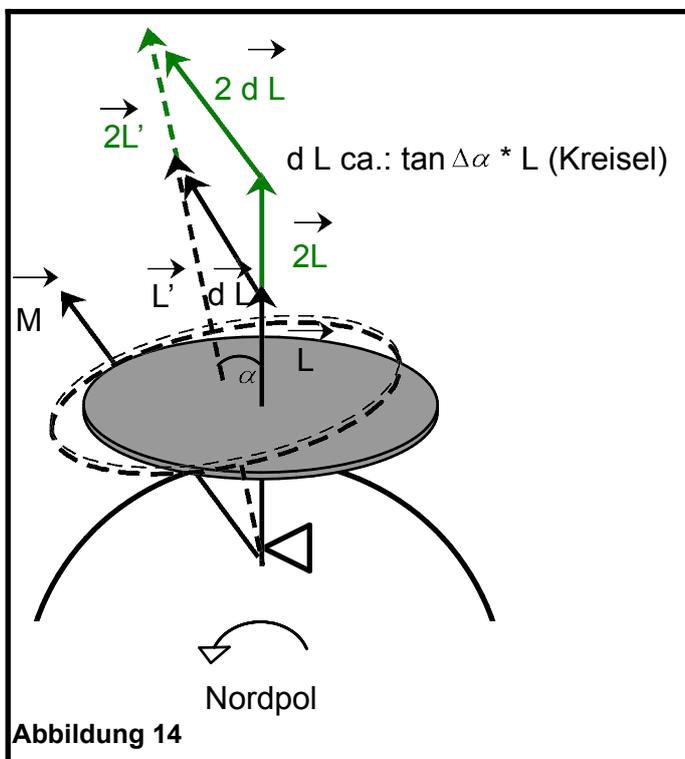
Weiterhin möchte ich anmerken: Lässt man den Kreisel beim 3. Vorgang nicht rotieren, so kippt dieser bei einer unverändert einwirkenden äußeren Kraft und gleichem Drehmoment alleine durch die Radialkraft nicht in die Höhe.

2. Die Umwandlung der Rotationsenergie der Erde in andere Energieformen

2.1 Voraussetzungen für eine Energieumwandlung

Ohne das zusätzliche Einwirken äußerer Kräfte, würde sich ein Massstück aufgrund der Massenträgheit mit seiner ursprünglichen Geschwindigkeit geradlinig weiterbewegen (Galilei'sches Trägheitsprinzip). Theoretisch würde sich dabei das Massstück auch gleichzeitig tangential von der Erde entfernen und somit einen Anstieg an potenzieller Energie erfahren. Während der Präzessionsbewegung weicht ein Kreisel der angreifenden Schwerkraft seitlich aus. Dafür bedarf es jedoch eines festen Unterstützungspunktes, was wiederum eine freie Bewegung des Kreisels verhindert. Wollte man die Kreisel direkt durch die sehr langsame Erdrotation kippen lassen, so bräuchte man Kreisel mit einem gewaltigen Drehimpuls (siehe Abb.: 14 und 15).

2.2 Berechnungen zur Kippbewegung der Kreisel durch die Erdrotation



Berechnungsbeispiel zu den Abb.: 14 und 15 (ohne Reibungsverluste):

$$\Delta L \approx \tan_{\Delta\alpha} * L_{\text{Kreisel}}$$

$$L_{\text{Erdrotation}} \approx \tan_{\Delta\alpha} * L_{\text{(Kreisel)}}$$

$$m_{\text{1Kreisel}} = 5t; r_{\text{1Kreisel}} = 10m; \omega_{\text{1Kreisel}} = 5s^{-1}$$

$$L_{\text{Erdrotation}} \approx \tan_{0,0042^\circ} * [4 * (2,5 * 10^6 \text{ kg} * m^2 * s^{-1})]$$

$$L_{\text{Erdrotation}} \approx 730 \text{ kg} * m^2 * s^{-1}$$

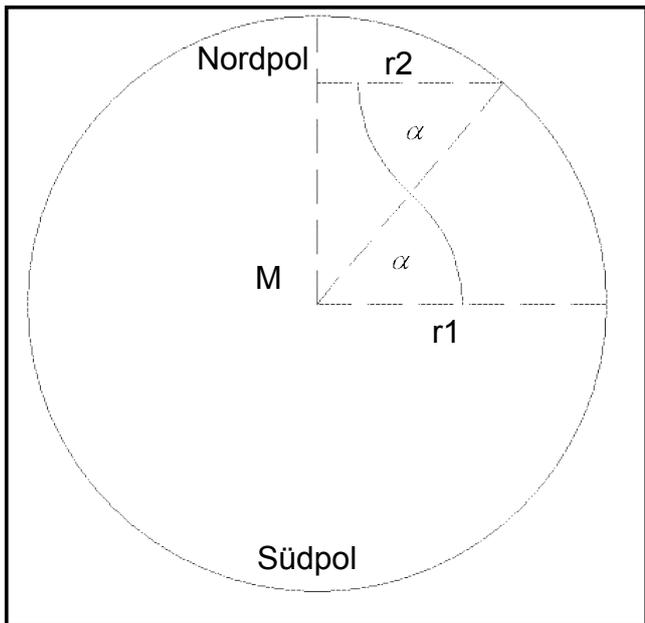
$$L_{\text{Erdrotation}} = \Delta M_{\text{Präzession_Kreisel}} \quad (\text{je Zeitintervall})$$

$$E_{\text{durch Erdrotation}} = \Delta M_{\text{Präzession_Kreisel}} * 100m_{\text{wirk_Hebelarm}} * \omega_{\text{Erdrotation}}$$

$$E_{\text{durch Erdrotation}} \approx 5W / 2 \approx 2,5W \quad (\text{siehe auch S. 10})$$

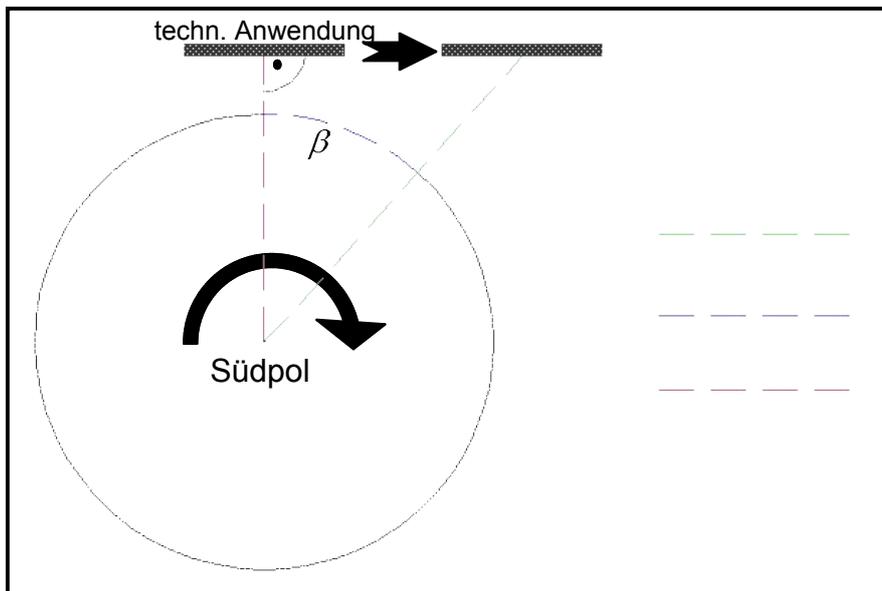
Anmerkung:

Bei den Berechnungen wird die Form der Erde vereinfacht als eine Kugelgestalt angenommen. Gerechnet wird ohne Berücksichtigung der Abplattung an den Polen und ohne den Erhebungen und Senkungen, wie sie bei der tatsächlichen Form des Geoids vorhanden sind. Die Höhe der Aufhängung der technischen Anwendung über dem Erdboden wird bei den Berechnungen ebenfalls vernachlässigt.



- r1 = Radius der Erde ca. 6.378.000 m
- r2 = Radius rechtwinklig zur Nord-Süd-Achse
- α = Winkel der nördlichen Breite (Wechselwinkel)

Abbildung 16:



- r3 = r2 + delta h
- Bogenlänge
- r2

Abbildung 17:

$$r_2 \approx \cos(50^\circ) * 6.378.000m$$

$$r_2 \approx \underline{4.099.699m}$$

siehe Abbildung 16, vorherige Seite

$$T = 8,6164 * 10^4 s$$

Die Rotationsdauer der Erde beträgt für eine Erdumdrehung (Mittlerer Sterntag) ⁴

$$\omega = 2 * \pi * n \text{ ---}; n = \frac{1}{T}$$

Winkelgeschwindigkeit

$$\omega \approx 7,2921 * 10^{-5} s^{-1} \approx 0,0042^\circ/s$$

$$v = \omega * r_2$$

Umfangsgeschwindigkeit (Bahngeschwindigkeit) für r2

$$v \approx \underline{299 \frac{m}{s}}$$

Entsprechend der Umfangsgeschwindigkeit entspricht jede Sekunde einer Bogenlänge (b) von ca. 300 m.

$$\alpha_{Kippbewegung_{50^\circ n. Br.}} = \frac{v^2}{r_2} = \frac{(300m)^2}{4.099.700ms} \approx \underline{\underline{0,021 \frac{m}{s^2}}}$$

$$\alpha_{Kippbewegung_{\text{Äquator}}} = \frac{v^2}{r_2} = \frac{(464m)^2}{6.378.000ms} \approx \underline{\underline{0,034 \frac{m}{s^2}}}$$

Bei 50° nördlicher Breite wird die Kreiselachse während einer Sekunde um ca. 2 cm gekippt. In Äquaturnähe kann somit theoretisch mehr Energie umgewandelt werden.

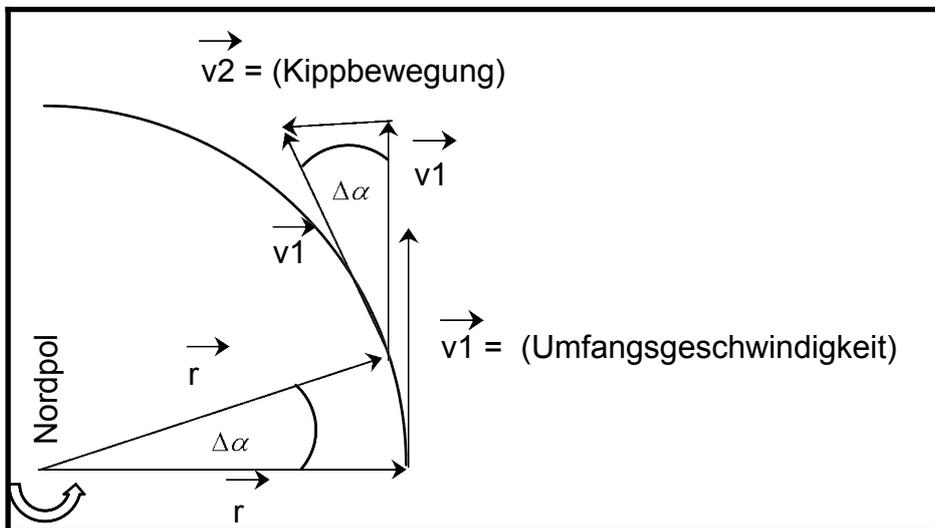


Abbildung 18: gleichförmige Kreisbewegung (Bahnbeschleunigung)⁵

Es tritt eine zum Erdmittelpunkt gerichtete Radialbeschleunigung (Bahnbeschleunigung) auf. Mit dem nahezu konstanten Betrag der Radialbeschleunigung und der Geschwindigkeit v2 (siehe Abbildung 18) wird auch die jeweilige Kreiselachse gekippt. Je größer der Drehimpuls des Kreisels, je größer ist auch seine Achsstabilität und je mehr Kraft wird durch die Erdrotation aufgebracht, um dessen Achse zu kippen.

⁴ Physik Formelsammlung, 2. Auflage, Vieweg + Teubner, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009

⁵ Kinematik und Dynamik, Martin Burow (Studiendirektor), Dr. Herbert Bieber (Oberstudienrat a. D.), S. 6

In der Abbildung 15 auf Seite 7 gibt es ein Kreuz mit insgesamt vier Kreiseln. Die Kreiselachsen besitzen je **zwei** Freiheitsgrade der Translation (x- und y- Achse) und einen Freiheitsgrad der Rotation. Die rotierende Kreiselachse wird dabei gedanklich entlang einer nach oben geöffneten kugelförmigen Halbschale gekippt (R = Länge der kippenden Kreiselachse). Die Kreiselachsen verringern ihre Rotationsgeschwindigkeit nur aufgrund der wirkenden Rollreibungskräfte in den Wälzlagern. Je größer der Drehimpuls der Kreisel ist, umso größer ist deren Kreiselträgheit und umso stärker wirken diese mit ihrem Drehmoment der Erdrotation entgegen (roter Pfeil und gelbes Auflager A).

Die Eigengeschwindigkeit der Erde auf ihrem Weg um die Sonne hat dabei keinen Einfluss auf die Geschwindigkeiten der technischen Anwendung.

Es gilt zu beachten:

Sind die Kreiselachsen senkrecht zur Schwerkraftrichtung (parallel zur Erdoberfläche) angeordnet, finden bei erreichter Nord-Süd - Ausrichtung nur noch parallele Verschiebungen und keine Kippbewegungen, keine Drehmomente und somit auch keine Drehimpulse mehr statt.⁶

Die Präzessionskraft wirkt nur bei einer Ausrichtung der Kreiselachse in Ost- West mit vollem Betrage und reduziert sich auf null bei erreichter Nord-Süd- Ausrichtung.

Die mechanische Leistung entspricht der verrichteten mechanischen Arbeit je Zeitintervall. Bei einer Drehung der Kreiselachse aus der Nord-Süd-Richtung in die Ost-West-Richtung nimmt die Kraft der Präzessionsbewegung kontinuierlich zu, in der nachfolgenden Berechnung repräsentiert durch den Faktor (Pr). Die verrichtete mechanische Arbeit durch die Erdrotation lässt sich durch das Wegintegral der resultierenden Präzessionskraft berechnen:

$$W = \int_{s_1}^{s_2} F * ds$$

$$W_{\text{PräzessionsbewegungViertelkreis}} = \int_0^{\Delta l} Pr * \frac{1}{4} \Delta l * dl$$

$$W_{\text{PräzessionsbewegungViertelkreis}} = \frac{1}{4} * Pr * \int_0^{\Delta l} \Delta l * dl$$

$$W_{\text{PräzessionsbewegungViertelkreis}} = \frac{1}{4} Pr * \left[\frac{(\Delta l)^2}{2} \right]_0^{\Delta l}$$

$$W_{\text{PräzessionsbewegungViertelkreis}} = \frac{1}{8} * Pr * (\Delta l)^2$$

$Pr * \Delta l$ = Betrag für die mech. Arbeit der Präzessionsbewegung, wenn eine Kreiselachse von der Nord-Süd- bis zur Ost-West-Ausrichtung gekippt wurde

$$W_{\text{PräzessionsbewegungViertelkreis}} = \frac{1}{8} * F_{\text{Präzession}} * \Delta l$$

$$W_{\text{Präzessionsbewegungvöllige_Umärehung}} = 4 * \frac{1}{8} * F_{\text{Präzession}} * \Delta l = \frac{1}{2} F_{\text{Präzession}} * \Delta l$$

Für das vorherige Beispiel Abb.15 gilt: Während einer vollständigen Kippbewegung der Kreisel kann somit nur der halbe Energiebetrag umgewandelt werden.

⁶ Metzler Physik, 3. Auflage, Schroedel Verlag GmbH, Hannover, 1998, S. 76

3. Abschluss:

Die Gravitationskräfte zwischen Erde, Mond und Sonne lassen in gegenseitiger Wechselwirkung die Gezeitenkräfte entstehen. Gewaltige Wassermassen entfernen sich dabei vertikal von der Erdoberfläche und werden anschließend wieder vom Erdschwerefeld herangezogen. „Die Gezeitenwelle hat auf offener See einen Höhenunterschied von etwas mehr als 1 Meter.“⁷ Auf Grundlage des Drehimpulserhaltungssatzes verkleinert sich die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation, wenn sich das Trägheitsmoment der Erde vergrößert (z.B. durch die Vergrößerung des Abstandes der Wassermassen von ihrer Rotationsachse). Die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation erhöht und verlangsamt sich fortlaufend durch das Entstehen und Verschwinden der Wasserberge. Nach dem Drehimpulserhaltungssatz würde dabei die Energie der Erdrotation fortlaufend erhalten bleiben. Lediglich die dabei auftretenden Reibungskräfte entziehen somit der Erdrotation Energie und sorgen für eine fortlaufend kleiner werdende Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation. „Die **Ozeanoberflächen** und der **feste Erdboden** heben und senken sich täglich im Mittel um ca. 30 Zentimeter.“⁸ „Die Tageslänge nimmt aufgrund der „Gezeitenreibung“ jährlich allerdings um **nur** rund 18 μ s pro Jahr zu.“⁹ Die Dauer einer Erdrotation erhöht sich somit in 100.000 Jahren um **nur** ungefähr 1,8 Sekunden.

Die Rotationsenergie der Erde beträgt ca.:¹⁰ $E_{Rotation} \approx 2,14 * 10^{29} J$

„Der weltweit jährliche Energieverbrauch betrug Ende 2015 ca. **550 EJ**“¹¹ und Ende 2016 „ca. **600 EJ**“¹². Die Rotationsenergie der Erde entspricht somit noch dem circa **350**-millionenfachen des weltweit jährlichen Energiebedarfs.

Es wäre eine konstante Energieumwandlung das ganze Jahr lang möglich, dies entspricht ca. **8.760 Volllaststunden**. Selbst innerhalb von Gebäuden und tief unter der Erdoberfläche, z.B. in alten Bergwerksstollen wäre ein ungestörter Betrieb sehr gut möglich. Der Betrag an umgewandelter Energie wächst sogar mit dem **Volumen**. Entsprechend den örtlichen Gegebenheiten könnten somit mehrere Anlagen übereinander gebaut werden, welche immer **klimaneutral** arbeiten würden.

⁷ Erneuerbare Energien und Klimaschutz, Volker Quaschnig, Carl Hanser Verlag München, 2008, S. 224

⁸ Kosmos Himmelsjahr 2014, Glossar, Gezeiten

⁹ Wikipedia, Erdrotation, Aufruf am 20.11.2016

¹⁰ ESRI Portal, 2016

¹¹ Energiestudie 2016, Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen, BGR, S. 37

¹² Energiestudie 2017, Daten und Entwicklungen der deutschen und globalen Energieversorgung, BGR, S. 42

Hiermit erkläre ich, Robert Stach, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Technische Anwendungen zur Umwandlung der Rotationsenergie der Erde in elektrische Energie in Theorie und Praxis“, 17., Auflage, selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel und Quellen angefertigt habe.

Magdeburg, 02.11.2019
Deutschland