

## low-tech high-physics



## high-tech low-physics

**Vorstellung**

Name: Christian Ucke

pensioniert seit März 2007;

davor Fakultät für Physik/Technische Universität München und tätig in der Lehre (Physikalische Praktika für Mediziner/Biologen/Physiker/Lehramtsstudenten)

Was verstehe ich unter physikalischem Spielzeug?. Zunächst ein Spielzeug, das erkennbar einen physikalischen Hintergrund hat, bei dem zur Erklärung der Wirkungsweise Physik beiträgt. Im weiteren erklärt sich das durch die Beispiele, die ich zeige bzw. erwähne.

Mit physikalischem Spielzeug beschäftige ich mich seit etwa dreißig Jahren mehr als Hobby. Mittlerweile findet dieses Hobby auch Eingang in Fortbildungsaktivitäten für Lehrer. Nicht nur in Deutschland besteht das Problem, dass Physik in der Schule ein ungeliebtes Fach ist. Spielzeuge stellen eine – von mehreren - Möglichkeit dar, Interesse für physikalische Fragen zu wecken. Es ist das aber eine kritische Geschichte: Spielzeuge sind zwar interessant für Kinder, Schüler und auch Erwachsene. Die Physik dazu kann jedoch sehr schwierig sein.

Kreisel ist alles, was sich dreht.

Hier zeige ich nur eine kleine Auswahl von Spielzeugkreiseln. Es gibt viele, weitere Beispiele: Dynabee (PowerBall), unendlich viele Jojos, Zylinderkreisel, Malkreisel, Magnetkreisel, Flugkreisel (Frisbee, Bumerang, usw.),

# Der Büroklammerkreisel (Sakai-Kreisel) The paper-clip top

low-tech high-physics

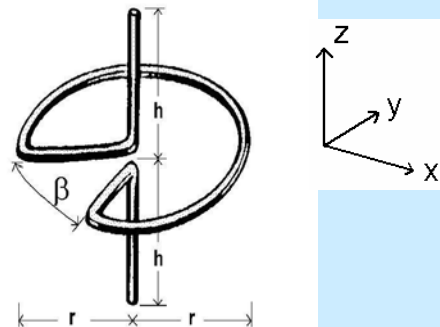
unsymmetrischer  
Kreisel, weil

$$I_x \neq I_y$$

$$\tan(\beta/2) = \frac{1}{2}$$

$$\beta = 53,1^\circ$$

1st solution  
1. Lösung



T. Sakai: Topics on tops which enable anyone to enjoy himself,  
Mathematical Sciences (Surikagaki = 数理科学 ) **271**, 18-26 (1986)

Wie lässt sich aus einer Büroklammer ein Kreisel machen. Die Büroklammer ist nur als Beispiel für einen leicht erhältlichen Draht definierter Länge gemeint. Prof. Sakai aus Japan hat dazu eine Idee entwickelt, die er als Übungsaufgabe für seine Studenten gedacht hat. Ob die Studenten sehr erfreut waren, ist zweifelhaft. Seine Lösung sieht sehr einfach aus. Man erkennt die Achse des Kreisels. Um ein möglichst großes Trägheitsmoment zu erhalten, sollte der Draht einen möglichst großen Abstand von der Drehachse haben. Die Speichen sind notwendig, um den Ring zu halten. Wie groß muss der Winkel  $\beta$  sein, damit der Schwerpunkt von Speichen und Ring in der Achse liegt?

Die genaue Herleitung dieses Winkels findet sich in: Ucke, Christian, **Kreisel aus Büroklammern**, Physikalische Blätter **54** (1998), 440-442 bzw. auf meiner homepage herunterladbar:  
<http://www.ucke.de/christian/physik/ftp/lectures/buerokreisel.PDF>

# Der Büroklammerkreisel (Sakai-Kreisel)

symmetrischer Kreisel

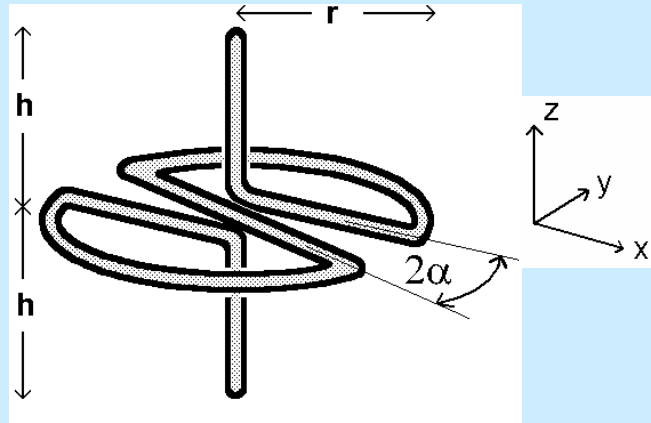
$$I_x = I_y$$

das ist der Fall bei

$$\tan \alpha = 2/3$$

$$\alpha = 33,7^\circ$$

$$\text{bzw. } 2\alpha = 67,4^\circ$$



Der ursprüngliche Sakai-Kreisel ist ein unsymmetrischer Kreisel, d.h. die Trägheitsmomente  $I_x$  und  $I_y$  sind nicht gleich groß.

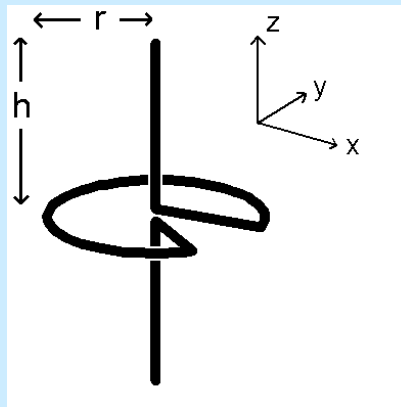
Bei diesem Kreisel sind die beiden in der  $x$ - $y$ -Ebene liegenden Trägheitsmomente gleich groß

## Der Büroklammerkreisel (Sakai-Kreisel)

instabiler Kreisel

für  $h = 1,65 \cdot r$  ist

$$I_x < I_z < I_y$$

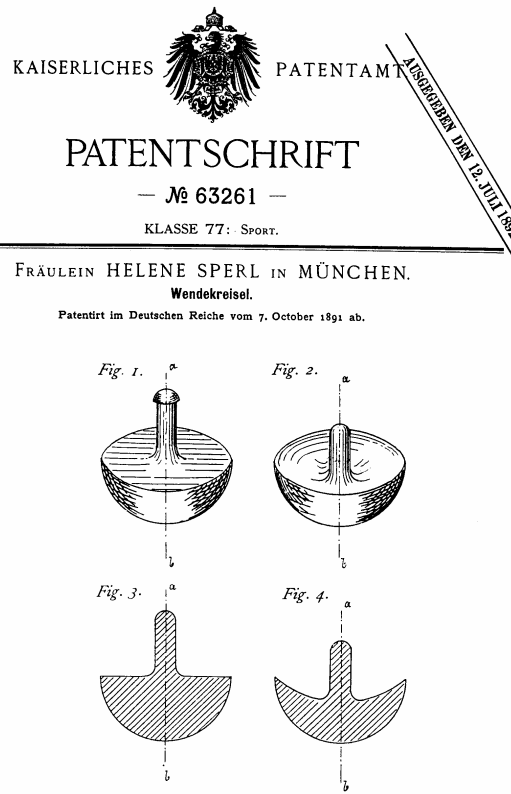


Haben die Achsen gerade eine Länge von  $1,62 < h/r < 1,68$  des Radius des Kreisels, ist das mittlere Trägheitsmoment in der Achse und der Kreisel instabil.

# Der Stehaufkreisel oder Wendekreisel

(Engl. tippe top  
oder Flipover)

low-tech high-physics



Der Stehaufkreisel wurde 1891 von Fräulein Helene Sperl aus München patentiert. Dahinter stand vermutlich jedoch ihr Vater Heinrich Sperl. Denn Helene Sperl war eine Krankenschwester, später Oberin. Auf den Namen des Vaters gibt es hingegen weitere Patente mit Spielzeughintergrund.

Das Patent lief 1892 wieder aus, da die Gebühren nicht bezahlt wurden.

Im Patent sind fünf Zeichnungen von Stehaufkreiseltypen vorhanden. Ich habe die in unserer Institutswerkstatt nachbauen lassen. Keiner von denen zeigt das Stehaufverhalten. Dies hat mich zur Nachfrage beim Deutschen Patentamt veranlasst, ob sein könne, was nicht sein dürfe. Ich bekam allerdings nur eine etwas vage Antwort, dass die Prüferkollegen damals vielleicht doch nicht so sorgfältig waren, wie sie es hätten sein sollen. Ich glaube eigentlich gerade das Gegenteil. Früher wurde sorgfältiger geprüft. Was aber der Grund für die Erteilung dieses Patents trotz Nichtfunktionierens war, bleibt unklar.

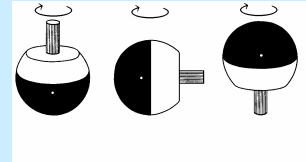
Grundsätzlich muss ein Patent nicht funktionieren!!

**Literatur: Kuypers, Friedhelm:** *Klassische Mechanik*, Verlag Wiley-VCH. *Der Stehaufkreisel ist da als Übungsaufgabe (!) auf etwa 10 Seiten abgehandelt*



**W. Pauli und N. Bohr**  
betrachten einen  
Stehaufkreisel

Universität Lund  
31.05.1951



Es ist immer gut, zur einführenden Unterstützung berühmte Physiker zur Hand zu haben. Hier schauen Bohr und Pauli anlässlich der Eröffnung des Instituts für theoretische Physik an der Universität Lund auf einen Stehaufkreisel (Englisch tippe-top). Den Kreisel als Stehaufkreisel zu identifizieren, ist aus diesem Bild heraus kaum möglich.

Tatsächlich sind aber Bohr und Pauli in diesem Fall höchstens eine visuelle Unterstützung. Es ist nicht überliefert, ob sie zu diesem Spielzeug in diesem Moment etwas bemerkt haben. Noch haben sie dazu etwas veröffentlicht.

Die Konstruktion eines Stehaufkreisels ist von bestechender Einfachheit. Die Physik dazu ist sehr kompliziert. Es gibt viele Publikationen über diesen Kreisel. Und noch immer werden neue Überlegungen veröffentlicht.

Es gibt meines Wissens aber keine einfache, plausible Erklärung für das Stehaufverhalten dieses Kreisels. Und das ist natürlich nicht befriedigend, insbesondere für Lehrer.

Für Physik-Studenten ist der Stehaufkreisel als Übungsaufgabe in dem Lehrbuch von F. Kuypers: Mechanik enthalten.

Eine verblüffende und nicht immer bekannte Beobachtung ist, dass sich die Drehrichtung des Kreisels in Bezug auf den Kreisel selbst ändert. Anders formuliert bleibt die Drehrichtung bezüglich eines raumfesten Koordinatensystems erhalten. Gleiches gilt für den Drehimpuls.

Bei der Aufrichtung muss die kinetische Energie abnehmen, da die potentielle Energie zunimmt. Folglich muss die Drehzahl (Winkelgeschwindigkeit) abnehmen, also auch der Drehimpuls ( $L = I \cdot \omega$ ). Daher ist ein vertikales Drehmoment erforderlich, welches nur durch eine horizontale Kraft aufgebracht werden kann. Und das kann nur durch eine Reibungskraft passieren.

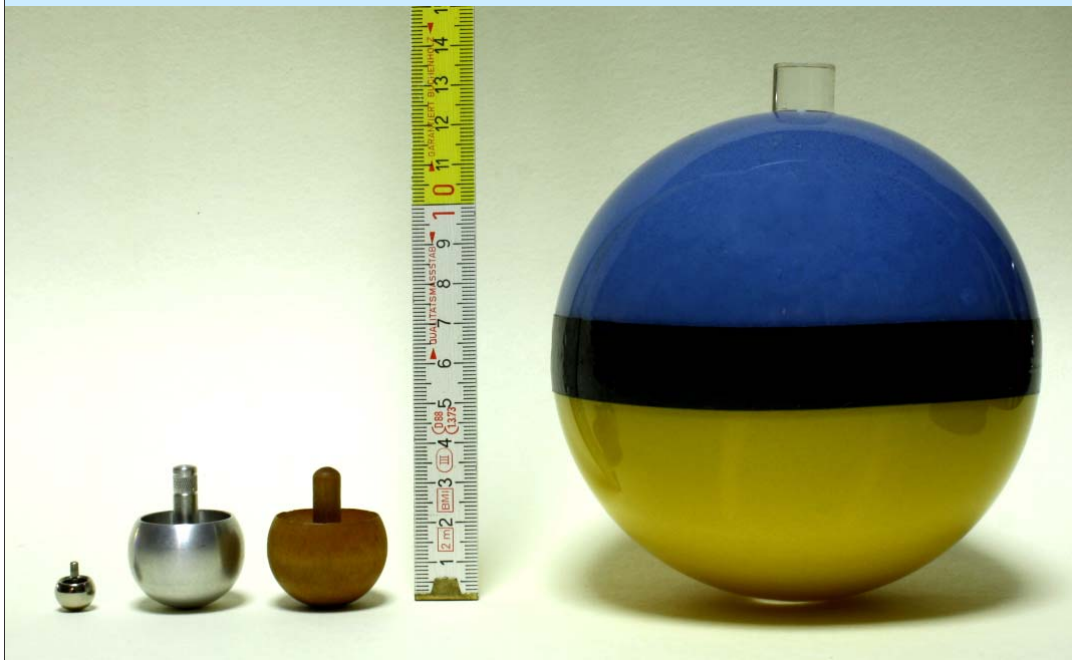
Der Drehimpulssatz ( $dL/dt = M$ ) wird zwar für die Aufstellung der Bewegungsgleichung benötigt, ist aber für eine anschauliche Erklärung unbrauchbar, da die Richtung des Drehimpulses sich nicht ändert!

## Stehaufkreisel - berechnete Simulation



Diese Animation stammt aus einer Zulassungsarbeit 1997:  
<http://www.physik.uni-augsburg.de/~wobsta/tippetop/index.shtml.de>

## Der Stehaufkreisel oder Wendekreisel



Verschiedene Variationen vom Stehaufkreisel – von ganz klein bis groß.

Der ganz kleine Stehaufkreisel ist mit Erwachsenenfingern kaum anzudrehen.

Der große Stehaufkreisel ist mit der bloßen Hand nicht zum Umdrehen zu bringen.

In England wurde vor Kurzem ein Stehaufkreisel gezeigt, der sich nur umdreht, wenn man ihn rechts herum dreht. Ich habe das bisher (Okt. 2009) auch nur in einem Video mit Dr. Tadashi Tokieda aus Cambridge gesehen. Eine Erklärung dafür gibt es wohl noch nicht.





**Bayern · Kreisel**

low-tech very high-physics



Dieser Kreisel ist schwarz und kommt aus Bayern – also dreht sich nur rechts herum. Es gibt ihn auch in rot – dann dreht er sich natürlich links herum

Das Objekt sieht nicht aus wie ein üblicher Kreisel – physikalisch gesehen ist es jedoch einer. Alles, was sich dreht, ist irgendwie ein Kreisel.

Versetzt man ein keltisches Wackelholz (kurz Kelt genannt) durch Antippen an einem Längsende in leichte Schaukel- bzw. Wackelbewegung, fängt es nach kurzer Zeit an, in seine Vorzugsdrehrichtung zu rotieren. Tippt man an einer Querseite an, dreht das Wackelholz - weniger deutlich - entgegen seiner Vorzugsrichtung. Dreht man es in der Vorzugsrichtung, rotiert es ohne Auffälligkeiten. Dreht man es entgegen seiner Vorzugsdrehrichtung, fängt es sehr bald an zu wackeln und rotiert schließlich wieder in seiner Vorzugsdrehrichtung.

Diese Experimente gelingen um so besser, je glatter der Untergrund ist, je weniger Reibung vorhanden ist. Bei sehr geringer Reibung geht es allerdings nicht.

**Literatur: Kuypers, Friedhelm:** *Klassische Mechanik*, Verlag Wiley-VCH. *Der keltische Wackelstein ist da als Übungsaufgabe (!) auf etwa 9 Seiten abgehandelt*

**Garcia, A.; Hubbard, M.:** *Spin reversal of the rattleback: theory and experiment*, Proc. R. Soc. Lond. A 418 (1988), 165–197. *Für absolute Enthusiasten ausführliche Beschreibung von Theorie und Experiment.*

**Moffatt, H. K. :** *Celt reversals: a prototype of chiral dynamics*, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, **138A**, 361–368, 2008. *Neueste Arbeit, die besonders die Mehrfachdrehungen behandelt.*

**WEB-links:** <http://www-hotz.cs.uni-sb.de/silvia/kreisel.html>

[http://de.youtube.com/watch?v=0\\_145zVizxM](http://de.youtube.com/watch?v=0_145zVizxM)



## Bayern · Kreisel

**Klausurfrage (leicht):**

Welche Vorzugsdrehrichtung hat dieser Kreisel?

- a) rechts herum
- b) links herum

Ohne dass die Zuschauer überhaupt wissen, was eigentlich beim Drehen des Kreisels passiert, lässt sich die Frage beantworten.

## Keltischer Wackelkreisel

celt, rattleback

low-tech very high-physics



~5° bis 10°

Einfach einen Löffel aus der Mensa nehmen und den Stiel wie abgebildet über den hohlen Teil des Löffels zurück biegen, so dass der Stiel einen Winkel von etwa 5 bis 10 Grad mit der Längsachse des Ellipsoids des Löffels bildet.

Auf einer Unterlage mit sehr wenig Reibung (z.B. Glas, glatte Keramik) angedreht, wechselt dieser keltische Wackelkreisel sogar mehrfach seine Drehrichtung.

[http://de.youtube.com/watch?v=0\\_145zVizxM](http://de.youtube.com/watch?v=0_145zVizxM) oder bei [www.youtube.com](http://www.youtube.com) suchen mit den Stichwörtern celt, rattleback, wobblestone

## Keltischer Wackelstein

low-tech very high-physics

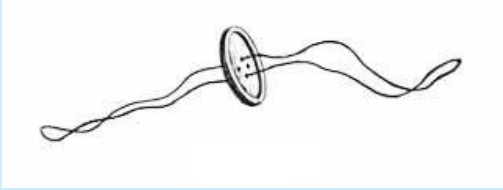


Gefunden am  
Kieselstrand von  
Líónas auf der  
griechischen Insel  
Naxos.

So einen keltischen Wackelstein zu finden, ist nicht einfach. Ich habe Glück gehabt und nach etwa anderthalb Stunden diesen Stein gefunden. Bei einem zweiten Anlauf war ich nicht erfolgreich.

Da man solchen keltischen Wackelsteinen nur auf Grund ihres Aussehens kaum ansieht, wie die Vorzugsdrehrichtung orientiert ist, lassen sie sich für Zauberkunststückchen hernehmen. Statt Münzen werfen kann man einen keltischen Wackelstein entscheiden lassen. Angeblich ist dies sogar ein ursprünglicher Verwendungszweck gewesen: Keltische Priester hatten ähnlich geformte Körper aus Stein zur Entscheidungsfindung. Vielleicht haben auch keltische Kinder damit gespielt, nachdem sie solche Steine am Strand gefunden hatten.

## Knopfkreisel, Scheibenkreisel



low-tech high-physics



bei 10000 U/min  
etwa 4000Hz

In vielen Ländern der Welt ist dieses Spielzeug bekannt. Durch eine mit zwei Löchern durchbohrte Scheibe (im einfachsten Fall ein Knopf) werden Fäden gesteckt und dann aufgedrillt. Zieht und entspannt man rhythmisch an den Fäden, rotiert die Scheibe hin und her.

Mit einem Hohlkörper, der als Resonanzkörper dient, lassen sich auch Töne damit erzeugen.



## Zauberrad, Magisches Rad

## Rhymbion, Rhombus

Wie da wirbelt mit Kypris' Hilfe die eherne Spule,  
Werde auch jener daher nach unserer Pforte gewirbelt.  
Kreisel, ziehe du mir zu meinem Hause den Jüngling.  
(Theokrit, Die Zauberinnen)

*Darstellung aus dem  
antiken Griechenland*


Das so genannte Zauberrad wurde im antiken Griechenland von Frauen benutzt, um ihren treulosen Geliebten zurückzuerlangen.

Wegen der political correctness muss man sagen, dass auch verliebte Jünglinge es benutzt haben und nutzen können.

Dieses Spielzeug ist weltweit bekannt, wenn auch nicht mit dem in Griechenland unterlegten Sinn.

**Kypris** was a Greek Goddess and an epithet (Beiname) of **Aphrodite**, who was said to have risen from the sea from the island of **Cyprus**. Aphrodite's cult came to Greece from Cyprus, where she was known as Kypris (Lady of Cyprus.)

**Theokritos** (um 270 v. Chr.) war ein griechischer Dichter. Er wurde in Syrakus oder Kos geboren und lebte in Alexandria, Kos und Syrakus.



*Modernes  
Fitnessgerät*

BrandNew  
Fitness Award  
ISPO 2005

Der Erfinder des handytrim, Herr Wagner, ist durch einen Freund (tschechischer Tennislehrer) darauf gekommen. Der saß zu Weihnachten 2003 auf 5000 Stück eines Plastikschnurrers und wollte wissen, wie er die wohl losschlagen könne.

Beim weiteren Herumfragen und -zeigen unter Bekannten entwickelte sich langsam die Idee, es als Trainingsgerät zu entwickeln. Das passierte im Verlauf des Jahres 2004. Es wurde dann als Gebrauchsmuster angemeldet, da ein Patent nicht möglich war, da die Idee ja schon bekannt war.

Auf der ISPO 2005 (**Internationale Fachmesse für Sportartikel und Sportmode**) bekam das Gerät den BrandNew Fitness Award.

Auf der Physikertagung im Februar 2008 in Berlin gab es einen Vortrag zur Physik dieses Spielzeuges:

**Wilfried Suhr, H. Joachim Schlichting:** *Flink gebaut - kaum durchschaut: Zur Physik des Schnurrers*, Universität Münster - Institut für Didaktik der Physik

## i-top - elektronischer Kreisel

high-tech low-physics



Der i-top enthält eine kleine Spule, in der beim Durchgang durch das Erdmagnetfeld ein kleiner Spannungsimpuls erzeugt wird. Dieser Spannungspuls wird gezählt.

Mit google suchen unter 'i-top kreisel'

Der Weltrekord liegt angeblich bei etwa 1500 Umdrehungen. Über 1000 Umdrehungen kann man mit etwas Übung als Amateur erreichen.

Meines Wissens gibt es keine Publikation zu diesem Kreisel.  
Vermutlich gibt es ein Patent, das ich jedoch nicht kenne.

**WEB-link:** <http://de.youtube.com/watch?v=7A7s3ztZDII>



規格サイズ: H180×W80×D35mm  
 本体サイズ: H37×W40mm  
 材質: ポリカーボネイト  
 ボタン電池V: CR-2032×2個使用

**OH-290**  
光: ブルー

ハイテクゴマ BL

特長  
 ※ 連続して約4時間回り続けます。  
 ※ LEDが綺麗に光ります。  
 ※ コマ2個以上でけんかゴマとして遊べます。

使用方法  
 ※ 右(時計回り)に回転するだけで回ります。  
 ※ 新品の電池使用で連続約4時間回り続けます。  
 ※ お皿等かたい台で回した場合連続約4時間回ります。  
 ※ 板の上等柔らかい台で回した場合連続約1時間回ります。  
 ※ 回すと同時にLEDが光り、約1時間後位で消灯しますがコマはその後も回り続けます。  
 ※ 回らなくなったらボタン電池を交換してください。

電池交換  
 ※ 下記図のように軸のキャップを上引きぬき、付属のボタン電池CR-2032の⊕が上、⊖が下になるように2個入れます。(残りの付属ボタン電池2個は予備です)

コマの軸を上引き上げボタン電池を2個入れる(+上に・-下にセット)

右に回す(時計回り)

注意  
 ※ 左回転(時計回りと反対)だとコマはすぐに止まります。  
 ※ 電池交換後コマの軸をしっかりと入れないとバランスが悪い場合がありますのでしっかりとセットしてください。  
 ※ この製品は防水ではありませんので水滴がかかる場所では遊ばないでください。  
 ※ コマを回す台やボタン電池のメーカーにより回転時間が異なります。  
 ※ 予備のボタン電池はショートしないようにセロハンテープなどで絶縁して保存してください。  
 ※ 幼児が飲み込まないように注意してください。

製造・発売元 株式会社 大日向  
 〒015-0211 秋田県由利本荘市東由利老方3番地  
 Tel.0184-69-2344 Fax.0184-68-2516  
 http://www.ohinata.co.jp

## Japanischer Dauerkreisel

high-tech low-physics

Dieser Kreisel läuft vier Stunden mit Batterien innen. Na ja, vielleicht auch nur 2 Stunden.

Anleitung nur in japanisch!!

Meines Wissens gibt es keine Publikation zu diesem Kreisel.

Innen drin ist ein Motor, wie er bei Handys als Vibrator benutzt wird.

Erhältlich bei (Stand Dez. 2009)

[www.grand-illusions.com](http://www.grand-illusions.com) (perpetual top 2)

[www.find-me-a-gift.co.uk](http://www.find-me-a-gift.co.uk) (non stop spinning top with light show; die Ausführung unterscheidet sich von der japan. Version)

**WEB-link:** <http://de.youtube.com/watch?v=AC5HuGGIX7k>

Es gibt ein amerikanisches Patent für einen non stop top schon von 1996. Vermutlich ist die Idee aber schon älter.

mail: [ucke@tum.de](mailto:ucke@tum.de)

web: [www.ucke.de/kreisel2009.pdf](http://www.ucke.de/kreisel2009.pdf)

