

# Allerlei Reiberei - Freihandexperimente mit Magnetkreisel

H. Joachim Schlichting

*Was uns als Wunder erscheint, ist in Wirklichkeit keines*

Simon Stevin

## Kreiselnde Magneten

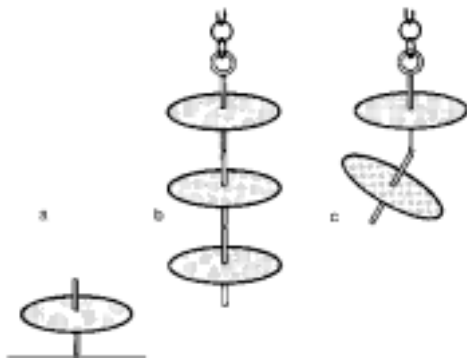
Magnetkreisel sind Kreisel, deren Achse magnetisch ist. Entweder ist die Kreiselachse selbst ein dünner Stabmagnet, oder die Kreiselscheibe besteht aus einem Ringmagneten, (seine Pole liegen auf der Symmetrieachse), durch dessen Loch ein Eisenstab als Achse gesteckt wird. Ein solcher Kreisel vermag überraschende Phänomene hervorzubringen, wenn man ihn mit Eisengegenständen wechselwirken läßt.

Einige Verbreitung haben Magnetkreisel in Form von Spielzeugen gefunden, die aus einem teilweise labyrinthartig verschlungenen Gestell aus Strahldraht bestehen, an dem der Kreisel mit den Achsenden haftet und wie auf einer Schiene entlangrollen kann. Dazu muß man das Gestell so drehen, daß der Kreisel der Schwerkraft ausge-

rotieren zu lassen. Der Phantasie sind hier keine Grenzen gesetzt.

Beispielsweise kann man nacheinander Kreisel auf dem Tisch in Rotation bringen und sie dann mit einer Kette aufheben (Abb. 1b). Dazu muß man den unteren Kettenring dem frei rotierenden Achsende nähern, bis der Magnet haften bleibt und hochgehoben werden kann. Dabei rotiert er mühelos weiter. Als besonders eindrucksvoll wird empfunden, daß die Anziehungskraft durch die Relativbewegung zwischen Kreisel und Eisenring offenbar so gut wie nicht eingeschränkt wird. Ja, man kann nacheinander mehrere Kreisel aufheben und auch gegensinnig rotieren lassen.

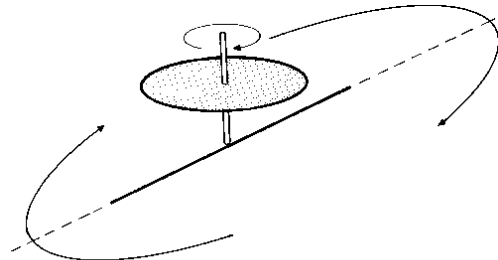
Läßt man die Kette mit dem daran hängenden



**Abb. 1:** Magnetkreisel. a: auf Unterlage rotierend. b: mehrere Kreisel hängend rotierend. c: an Kette hängend rotierend; unterer Kreisel präzedierend

setzt wird. Zur Zeit sind solche Spielzeuge unter den Bezeichnungen Spiraculum und Radiaculum auf dem Markt [1].

Kürzlich wurden im Spielzeughandel Magnetkreisel gleich zu mehreren abgepackt angeboten (Abb. 1a). Die Spielidee besteht darin, die Kreisel miteinander in Wechselwirkung zu bringen oder an einer beiliegenden Kette (mit Eisenring) hängend



**Abb. 2:** Draht, sich am Kreisel hin- und herbewegend und dabei gleichzeitig rotierend.

Kreisel langsam schwingen, so erlebt man die Präzessionsbewegung des Kreisels einmal ganz anders (Abb. 1c): In diesem Fall muß das obere Ende des Kreisels der Bewegung des Ringes folgen, während das untere Ende zunächst völlig willkürlich erscheinende Bewegungen ausführt. Man braucht einige Zeit, um zu erkennen, daß die Bewegungen eine unmittelbare Konsequenz des Ausweichens des Kreisels senkrecht zur Einwirkung darstellen.

Einmal hin, einmal her...

Im folgenden wollen wir unsere Aufmerksamkeit auf einige Phänomene richten, die auftreten, wenn man einen Kreisel mit einem dünnen Eisendraht (z.B. gerade gebogene Büroklammer) wechselwirken läßt. Sobald der rotierenden Magnetkreisel mit dem auf dem Tisch liegenden Draht in Berührung kommt, setzt er sich in eine von der Drehgeschwindigkeit abhängige mehr oder weniger rasche Hin- und Herbewegung (Abb. 2). Das Auffinden einer Erklärung für diese unerwartete Bewegung kann dadurch erleichtert werden, daß man das Experiment ein wenig modifiziert: Der Draht wird auf der Unterlage fixiert (z.B. auf eine Holzplatte geklebt).

Nun führt dieser infolge der Berührung mit dem Kreisel die Hin- und Herbewegung selber durch. Genauer: Der Kreisel läuft um den Draht herum, an der einen Drahtseite hin- und an der anderen Drahtseite her. Dieser Effekt tritt dann besonders deutlich hervor, wenn man statt des Drahtes einen Blechstreifen oder gar ein rundes Stück Blech (z.B. 10 Pf- Stück) benutzt.

Im Falle des nichtfixierten Drahtes läuft nicht der Kreisel um den Draht, sondern der Draht "um" den Kreisel, was aber "relativistisch" gesehen äquivalente Erscheinungen sind. Der Unterschied kommt durch die unterschiedlichen Reibungskräfte a) zwischen Draht und Unterlage, sowie b) zwischen Kreisel und Unterlage zustande. Da die

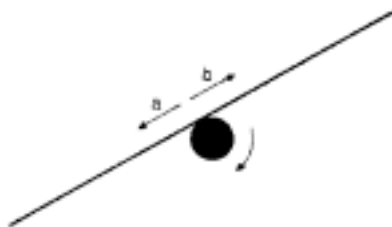


Abb. 3: Die Reibungskräfte a: zwischen Unterlage und Draht, b: zwischen Kreisel und Draht heben sich auf

Reibungskraft bei gegebenen Materialien vor allem durch die Auflagekraft (Gewichtskraft von Draht bzw. Kreisel) bestimmt wird, gleitet der relativ leichte Draht leichter über die Unterlage als der schwere Kreisel.

Noch eine weitere Reibungskraft ist im Spiel. Die Reibung zwischen Kreisel und Draht. Sie entsteht nicht durch die Schwerkraft, sondern durch die magnetische Anziehungskraft zwischen Kreisel und Eisendraht (Abb.3). Damit es zu einem Vortrieb des Drahtes kommt, muß sie die Reibungskraft zwischen Draht und Unterlage kompensieren.

... rundherum, das ist nicht schwer.

Der Hin- und Herbewegung des Drahtes ist eine weitere Bewegung überlagert: Der Draht rückt gleichzeitig wie ein Uhrzeiger (in Drehrichtung des Kreisels) vor, führt also eine Drehbewegung

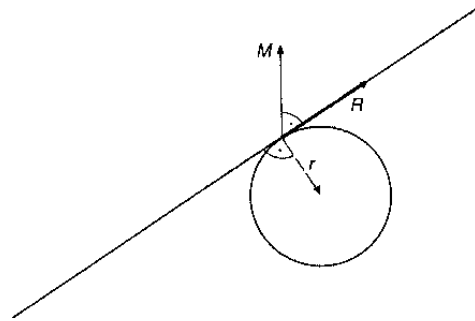
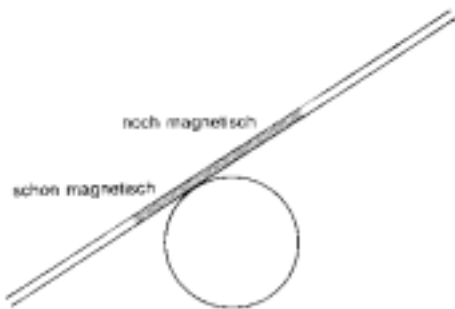


Abb. 4: Die Reibungskraft  $\vec{R}$  übt zwischen Kreisel und Draht ein Drehmoment  $\vec{M} = \vec{R} \times \vec{r}$  aus

um den Auflagepunkt des Kreisels als Drehachse aus. Wie kommt es zu dem auf den Draht ausgeübten Drehmoment? Ein Vorversuch mag dazu einen Hinweis geben.

Wir heben den Kreisel samt den an ihm haftenden Draht hoch und drehen ihn: Der Draht dreht sich mit. Offenbar ist erneut eine Reibungskraft im Spiel, die tangential zur Kreiselachse wirkende Haftreibung zwischen Kreisel und Draht bezüglich der Drehung. Bezogen auf den in der Drehachse des Kreisels liegenden Drehpunkt übt die im Berührungspunkt zwischen Achse und Draht angreifende Reibungskraft  $\vec{R}$  ein Drehmoment  $\vec{M} = \vec{R} \times \vec{r}$  in Drehrichtung des Kreisels aus. Im Falle der Drehung des Drahtes auf der Unterlage muß das Drehmoment so groß sein, daß das entgegengerichtete Drehmoment aufgrund der Reibung zwischen Draht und Unterlage kompensiert wird. Die Reibungswirkung macht sich darin bemerkbar, daß die Drehung des Drahtes jetzt viel langsamer ist als die des Kreisels.

Vielleicht- das läßt sich freihandmäßig wohl nicht entscheiden- wird die Drehung des Drahtes im Falle der reibungsbedingten Hin- und Herbewegung durch einen weiteren Effekt unterstützt, der magnetischen Remanenz: Durch die Relativbewegung zwischen Kreisel und Draht findet eine ständige Magnetisierung des in den Einflußbereich des Kreiselmagneten hineinbewegten Drahtstücks und eine Entmagnetisierung des aus dem Magnetfeld herauslaufenden Drahtstücks statt. Da die Entmagnetisierung jedoch bei vielen Materialien mit zeitlicher Verzögerung (Hysteresisverhalten) stattfindet, ist im Mittel ein längeres Stück Stange "oberhalb" des Drahtes, also in Bewegungsrichtung des Drahtes (siehe Abb. 5) magnetisch als "unterhalb", also entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung. Dadurch ist die resultierende Anzie-

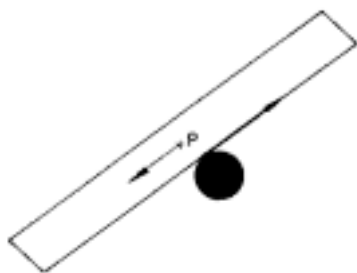


**Abb. 5:** Das noch magnetisierte Drahtstück wird stärker angezogen als das schon magnetisierte kürzere Drahtstück. Dadurch wird ein Drehmoment hervorgerufen

hingskraft "oberhalb" stets größer als "unterhalb", und es kommt dementsprechend zu einem Drehmoment in der "richtigen" Richtung.

### Das "falsifizierende" Blech

Bei der Verifikation dieser Deutung mit anders geformten Drähten und Blechen kann man eine zunächst "vernichtend" erscheinende Entdeckung. Benutzt man einen Blechstreifen (z.B. von einem Schnellhefter), dann dreht sich dieser zwar auch, aber leider entgegengesetzt zur Drehrichtung, also falsch herum. Da dieser Effekt nur bei Blechen und zwar umso stärker in Erscheinung tritt, je breiter die Bleche sind, muß die Ursache für die vermeintlich falsche Drehrichtung in der flächenhaften Form des Bleches gesucht werden (Abb. 6). In diesem Fall greift die resultierende Reibungskraft zwischen Blech und Unterlage nämlich in einem anderen Punkt an, im sog. "Reibungsschwerpunkt" P. Dieser fällt mit dem geometrischen des Blechs zusammen, wirkt daher mit der Reibung zwischen Kreisel gegen die Richtung der Reibung zwischen Achse und Blechkante und übt auf diese Weise ein Drehmoment in entgegengesetzter Richtung aus. Das Drehmoment muß das



**Abb. 6:** Da die Reibungskraft mit der Unterlage am Reibungsschwerpunkt P angreift, übt sie zusammen mit der Reibung zwischen Kreisel und Blechkante ein Drehmoment entgegen der Kreiselrichtung aus.

setzter Richtung aus. Das Drehmoment muß das

nach wie vor in Drehrichtung wirkende Drehmoment kompensieren.

### Zusammenfassung

Die skizzierten Versuche sind nur eine kleine Auswahl der Möglichkeiten, die der Magnetkreisel in Wechselwirkung mit Eisengegenständen und der Unterlage bietet. Da die Kreisel notfalls (wie eingangs angedeutet) leicht selbst hergestellt werden können, lassen sie sich in Schülerversuchen verwenden. Dabei bieten sie einerseits die Möglichkeit des kreativen Spiels, in dem die magnetische und Reibungswechselwirkung zur Hervorbringung immer neuer Bewegungsfiguren ausgenutzt werden kann. Andererseits lassen sich beispielsweise mit den oben beschriebenen Versuchen die mechanischen Konzepte der Kraft und des Drehmoments vertiefen.

### Hinweis

[1] Beide Magnetkreiselspielzeuge werden beispielsweise von der Physik-Boutique (Stark Verlag Freising) angeboten.