

## Pustekreisel

C. Ucke

### 1 Einfacher Kreisel zum Selbstbau

Kreisel gehören zu den am frühesten erfundenen und am weitesten verbreiteten Spielzeugen. Pustekreisel sind eine weniger bekannte Unterart. Idee dieses Artikels ist es, mit einfachen Überlegungen die mit solchen Kreiseln erreichbaren Drehzahlen abzuschätzen und mit Messungen zu vergleichen. Hinweis: Bei Asthmatikern ist Vorsicht beim Pusten geboten.

Die beigelegte Vorlage kopiere man auf weißen Karton von mindestens  $180\text{g/m}^2$ . Die Kreise werden ausgeschnitten. Alternativ kopiere man die Vorlage auf normales Papier und klebe die ausgeschnittenen Kreise auf Karton auf. In jedem Kreis werden die gestrichelten Linien ebenfalls geschnitten; die verdickten Teile der Linien werden mit einem stumpfen Messer vorsichtig und nicht zu tief angeritzt. Dann werden die Flügel bis etwa  $45^\circ$  nach oben geknickt. Durch die Mitte stecke man eine Reißzwecke.

Pustet man auf den Kreisel, fängt er sogleich an zu rotieren. Alternativ läßt sich auch ein Haarfön bzw. kleiner Ventilator verwenden. Dabei ist ein gewisses Geschick vorteilhaft, damit der Kreisel möglichst wenig am Rand schleift. Zu starkes Pusten gleich zu Beginn ist meist kontraproduktiv. Die Kreisel haben unterschiedliches Design. Mit vier oder acht Flügeln, mit Rechts- oder Linksspirale bzw. logarithmischer oder Archimedischer Spirale. Durch symmetrisches Anbringen von Büroklammern kann man das Trägheitsmoment erhöhen und ein längerdauerndes bzw. gleichmäßigeres Drehen erreichen.

Der Kreisel mit den aufgedruckten Zahlenwerten erlaubt die Drehzahl mit Hilfe eines Stroboskops zu bestimmen. Das einfachste Stroboskop ist eine Glühlampe mit einer Frequenz von 100Hz. Die aufgedruckten Zahlen geben für diese Frequenz unmittelbar die Umdrehungen pro Minute an. Mit Glühlampenlicht sind die stroboskopischen Erscheinungen nur ziemlich undeutlich zu erkennen. Mit einem Stroboskop mit einer Blitzlampe und eingestellt auf 100Hz läßt sich sehr gut beobachten, auf welchem Kreisring sich gerade ein stehendes Bild der Streifen ergibt. Die Interpretation der stehenden Bilder und Zuordnung zur Umdrehungszahl kann etwas problematisch sein und ist im Prinzip ein ganzes, interessantes Kapitel für sich..

Mit einer stark vereinfachten Überschlagsrechnung soll hier versucht werden, die erreichbare Drehzahl abzuschätzen. Beim Ausatmen kann man ein (Lungen-)Volumen von etwa  $V = 3$  Litern ( $=3 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$ ) Luft in einer Zeit von  $t = 5\text{s}$  durch die gespitzte Mundöffnung ( $\varnothing \approx 0,5\text{cm}$ ;  $A \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{m}^2$ ) ausblasen. Daraus ergibt sich eine Pustegeschwindigkeit von  $v_1 = V/(A \cdot t) \approx 30\text{ms}^{-1}$ . Das sind umgerechnet  $108\text{km/h}$  und entspricht schon einer veritablen Sturmgeschwindigkeit. Bei dieser Rechnung sind problemlos Unsicherheiten um den Faktor zwei und mehr möglich.

Auf den Pustekreisel wirkt eine erheblich verminderte Strömungsgeschwindigkeit, da sich der Luftstrahl von der Mundöffnung ( $\varnothing = 0,5\text{cm}$ ) in einer Pustedistanz von etwa  $15\text{cm}$  auf - grob geschätzt - eine kreisförmige Fläche mit einem Durchmesser von etwa  $3\text{cm}$  ( $A \approx 7 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$ ) vergrößert. Daraus ergibt sich unter Vernachlässigung von Reibungsverlusten und anderen realen Faktoren eine Geschwindigkeit von  $v_2 = 30\text{ms}^{-1} \cdot 2 \cdot 10^{-5} / 7 \cdot 10^{-4} \approx 1\text{ms}^{-1}$ . Auch bei dieser Rechnung ist die Unsicherheit groß. Aber mit heutigen Meßgeräten läßt sich die tatsächlich erreichbare Pustegeschwindigkeit in diesem Abstand von  $15\text{cm}$  verifizieren. Die Firma Flytec vertreibt einen sehr handlichen Windmesser



Abb.1: Der handliche Windmesser Windwatch eignet sich sehr gut zum Messen von Pustegeschwindigkeiten

[1] mit einer sehr kleinen Meßfläche, der eigentlich für Surfer, Paraglider bis hin zu Seglern oder Wanderern gedacht ist (Abb. 1). Beim Pusten mißt man damit bis zu fünf Metern pro Sekunde, woraus wiederum hervorgeht, daß die vorstehenden Rechnungen nicht ganz unreal sind. Es zeigt sich übrigens mit Kindern, daß so ein Gerät zu Höchstleistungen beim Pusten anregt. Halten die den Windmesser direkt vor den Mund, kann die Meßgrenze des Geräts ohne weiteres überschritten werden. Ein normaler Haarfön erbringt bis zu  $10\text{ms}^{-1}$ .

Nimmt man nun weiter ganz grob an, daß die Bahngeschwindigkeit des Kreisels bei den Flügeln im besten Falle so groß ist, wie eine mittlere Pustegeschwindigkeit von  $2\text{ms}^{-1}$ , ergibt sich eine Winkelgeschwindigkeit des Kreisels von  $\omega = v/r = 2\text{ms}^{-1}/0,025\text{m} = 80\text{s}^{-1}$ . Daraus folgt eine Drehzahl von  $f = 80\text{s}^{-1}/2\pi = 12,7\text{s}^{-1} = 764\text{U}/\text{min}$ . Drehzahlen in dieser Größenordnung werden tatsächlich erreicht, wie man entweder stroboskopisch oder mit einem Drehzahlmesser auch direkt messen kann. Bei diesem Kreisel könnte man in Versuchung geraten, genauere Berechnungen oder Betrachtungen anzustellen. Allerdings bin ich der Meinung, daß die großen Unsicherheiten ein derartiges Vorhaben nicht sinnvoll erscheinen lassen.

### 3 Pustekreisel im Handel

Sei zunächst ein Kreisel vorgestellt, der manchmal in Billigecken von Kaufhäusern oder auch im Versandhandel [2] erhältlich ist (Abb. 2). Er gleicht prinzipiell dem selbstgebauten Kreisel, sieht aber schon mehr wie eine Turbine aus. Der Vergleich zu realen Turbinen wie der Francis- oder Kaplan-Turbine kann hier durchaus gebracht werden. Gefertigt aus stabilem Plastik ist er mit einem Durchmesser von 3cm ein echter Mitnahmeartikel. Nach dem Andrehen per Hand bringt man ihn durch Pusten bis auf etwa zweitausend Umdrehungen pro Minute. Das liegt einfach daran, daß man mit dem Mund ziemlich nahe am Kreisel pustet und dadurch eine hohe Strömungsgeschwindigkeit wirksam wird. Mit ähnlichen Überlegungen wie oben läßt sich das auch quantitativ abschätzen.



Abb.2: Eine Art Turbinen-Pustekreisel, der es bis auf mehrere tausend Umdrehungen pro Minute bringt ( $\varnothing \approx 4\text{cm}$ ).

Ein weiterer Kreisel in der Kategorie der Pustekreisel, der seit 1997 auf dem Markt [2] ist, heisst 'Alien Orbiter' (Abb. 3). Das ist natürlich ein Phantasiename, der ein wenig an eine fliegende Untertasse erinnern soll. Im Inneren befindet sich ein gut gelagerter Rotor, der mittels Anpusten durch die seitlichen Öffnungen auf mehrere tausend Umdrehungen pro Minute gebracht werden kann. Der Rotor hat im Vergleich mit den schon vorgestellten Kreiseln ein ganz passables Trägheitsmoment ( $I \approx 2,1 \cdot 10^{-5} \text{kgm}^2$ ;  $m_{\text{Rotor}} = 52\text{g}$ ;  $m_{\text{Kreisel}} = 85\text{g}$ ; das läßt sich nur durch gewaltsames Öffnen des Objektes mit nachfolgender Messung herausbekommen). Bei hohen Drehzahlen spürt man die Kreiselkräfte sehr schön. Stellt man den Kreisel mit innen drehendem Rotor schräg auf die Kante oder auf die Spitze, läßt sich der Vorgang der Präzession sehr deutlich beobachten. Der Kreisel hat den großen Vorteil, daß bei abnehmender Drehzahl und noch laufendem Rotor dieser durch neuerliches Nachpusten wieder auf 'Touren' gebracht werden und man mit rotierenden Teilen gar nicht in Berührung



Abb.3a: Der Pustekreisler 'Alien Orbiter', der es ebenfalls bis auf mehrere tausend Umdrehungen pro Minute bringt ( $\varnothing \approx 8\text{cm}$ ).

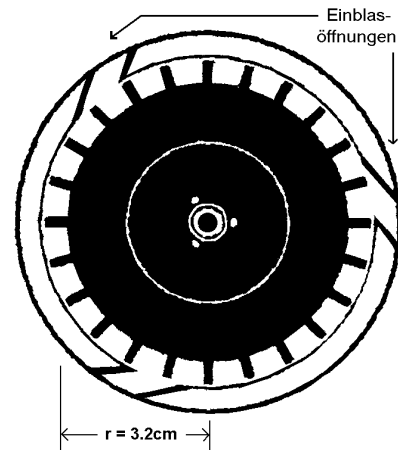


Abb.3b: Aufsicht den turbinenähnlichen Rotor im Inneren. Der Rotor hat eine Masse von 52g; der gesamte Kreisler 85g.

kommen kann. Das ist bei den sonst üblichen Kreiseln, die mit einer Schnur, Zahnstange o. ä. angedreht werden, nicht der Fall.

Auch hier sei eine Abschätzung der durch Pusten erreichbaren Drehzahl gewagt. Die Einblasöffnung des Kreisels beträgt etwa  $A = 24\text{mm}^2$  ( $2,4 \cdot 10^{-5} \text{m}^2$ ). Mit den gleichen Annahmen wie oben (Blasvolumen  $V = 3\text{Liter}$ , Blaszeit  $t = 5\text{s}$ ) erreicht man eine Pustegeschwindigkeit von  $v_s = V/A \cdot t = 25\text{ms}^{-1}$ . Der mittlere Abstand des Rotorrandes vom Drehmittelpunkt beträgt etwa  $3,2\text{cm}$  ( $= r$ ). Wenn der Rand des Rotors die Pustegeschwindigkeit als Bahngeschwindigkeit erreicht, ergibt sich eine Winkelgeschwindigkeit von  $\omega = v_s/r = 25\text{ms}^{-1}/0,032\text{m} = 781\text{s}^{-1}$ , d. h. der Rotor würde eine Drehzahl von  $f = \omega/2\pi = 124\text{s}^{-1} \approx 7500\text{U/min}$  erreichen. So hoch kommt man nicht wirklich. Messungen von mir haben immerhin  $4000\text{U/min}$  ergeben.

Der letzte hier vorzustellende Kreisler (Abb.4) unterscheidet sich etwas von den anderen. Durch einen Strohhalm pustet man ins Innere eines Hohlraumes, aus dem vier kleine Öffnungen schräg nach außen führen. Die austretende Luft bringt den Kreisler auf Touren.

Auch hier sei eine Abschätzung der erreichbaren Drehzahl versucht. Durch den Strohhalm ( $\varnothing_{\text{innen}} \approx 6\text{mm}$ ; Querschnitt =  $28\text{mm}^2$ ) erreicht man eine Strömungsgeschwindigkeit bis zu  $30\text{ms}^{-1}$ . Die Luft geht in den Hohlraum und von dort durch die vier kleinen Austrittsöffnungen (Querschnitt etwa  $5\text{mm}^2$ , d.h. zusammen  $20\text{mm}^2$ ) unter einem Winkel von etwa  $45^\circ$  tangential zum Umfang heraus. Die Austrittsöffnungen haben einen Abstand von  $25\text{mm}$  vom Mittelpunkt. Zusätzlich entweicht aber Luft durch die Einblasöffnung des Hohlraumes. Die ist nämlich größer ( $\varnothing \approx 8,5\text{mm}$ ; Querschnitt =  $57\text{mm}^2$ ) als der Außendurchmesser des Strohhalmes ( $\varnothing = 7\text{mm}$ ; Querschnitt =  $38\text{mm}^2$ ), damit der Kreisler sich überhaupt - mit etwas Spiel in der Einblasöffnung - drehen kann. Die Geschwindigkeit der eingeblasenen Luft halbiert sich grob, da sich die Summe der Querschnitte der Austrittsöffnungen etwa verdoppelt. Für die Winkelgeschwindigkeit ergibt sich so bei Vernachlässigung von Reibungsfaktoren aber unter Berücksichtigung des Winkels der ausströmenden Luft  $\omega = v \cdot \cos 45^\circ / r = 15\text{ms}^{-1} \cdot \cos 45^\circ / 0,025\text{m} = 424\text{s}^{-1}$ . Daraus folgt eine Drehzahl von  $f = 424\text{s}^{-1} / 2\pi = 68\text{s}^{-1} \approx 4000\text{U/min}$ . Mit einem Drehzahlmesser habe ich bis  $3000\text{U/min}$  ermittelt.

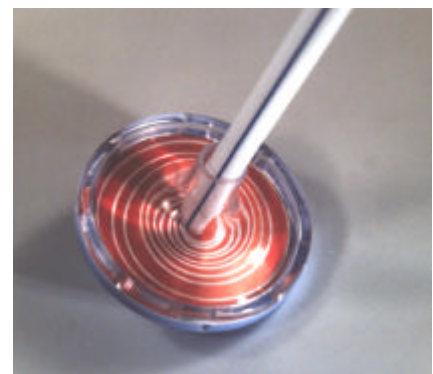


Abb.4: Dieser Kreisler wird durch Pusten durch den Strohhalm auf Touren gebracht ( $\varnothing \approx 5\text{cm}$ ).

Leider gehören die hier beschriebenen Spielzeugartikel zu der Kategorie, die in Massen auf den Markt geworfen werden und häufig nach kurzer Zeit schon wieder verschwunden sind. Intensives Suchen bringt eventuell noch einige Stücke hervor - oder es gibt ähnliche Objekte. Da sind der Kreativität und Zähigkeit keine Grenzen gesetzt.

**Bezugsquellen:**

- [1] Windwatch: In Deutschland erhältlich über die Firma Conrad Electronic, <http://www.conrad.de>
- [2] Physik-Boutique, Stark-Verlag, Postfach 1852, 85318 Freising, <http://www.stark-verlag.de>

**Kurzfassung:**

Pustekreisel werden durch Pusten zum Rotieren gebracht. Vorgestellt wird ein einfacher Pustekreisel zum Selbstbau, bei dem allerlei Parameter zu verändern sind. Die mit diesem Kreisel erzielbare Drehzahl wird mit wenigen Annahmen grob abgeschätzt und mit Messungen verglichen. Weitere, kommerziell erhältliche Pustekreisel anderer Bauart werden beschrieben.

