# Rotation aus linearen Bewegungen: "Gee-ho whimmydiddle" oder der Hüst-Hott-Propeller

Autor(en): **Chen, Y.N.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **104 (1986)**

Heft 11

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-76102

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

*Physik im Spielzeug*

# Rotation aus linearen Bewegungen

## «Gee-ho whimmydiddle» oder der Hüst-Hott-Propeller

Von Y. N. Chen, Winterthur

**Auf ein Spielzeug, das Kinder freut und Maschineningenieure intrigiert, stiess der Verfasser im Kuriositätenwinkel der Redaktionsstube. Ein Propeller sitzt lose auf einem Nagel vorne auf einem gekerbten Stab. Der Propeller wirbelt auf Kommando links oder rechts herum, wenn man mit einem zweiten Stab über die Kerben hin- und herstreicht. Kann das mit rechten Dingen zu- und hergehen?**

Dieses verblüffende Spielzeug (Bilder 1 und 2) griffen der Verfasser und sein Sohn in Ferien-Mussestunden wieder auf, um die eigenartige Übersetzung einer reinen Längsbewegung in eine Drehbewegung zu ergründen.

### Spiel

Es funktioniert; der Propeller dreht - von oben gesehen - nach links, wenn der Daumen seitlich am Stab mitreibt (Bild 1b), und nach rechts, wenn der Zeigefinger mitreibt. Gebannt sieht der Beobachter nur den Drehsinnwechsel des Propellers, den unauffälligen Seitenwechsel der Reibstelle nimmt er dabei natürlich nicht wahr.

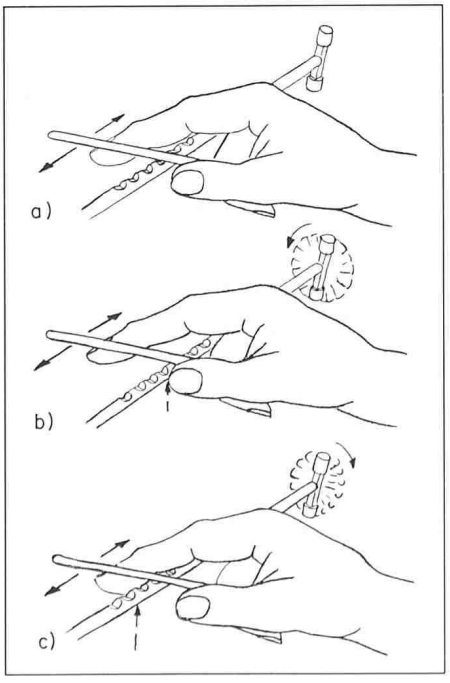
Soweit das Spiel, doch die Ursache ist damit physikalisch noch nicht erklärt.

### Vorversuche

Auch ohne Fingerreibung seitlich am gekerbten Stab erhält man die gleiche Propellerdrehung, wenn man mit dem Antriebsstab etwas links oder rechts unterhalb der Kerbenscheitel reibt (Bild 3). Von dieser Antriebsart gehen die nachfolgenden Überlegungen aus.

Ebenfalls die gleichen Propellerdrehungen treten auf, wenn der Antriebsstab genau über die Kerben-Scheitelpunkte steicht, wobei der gekerbte Stab zwischen Kerben und Propeller seitlich z. B. an einer Möbelkante abgestützt wird. Wird der gekerbte Stab jedoch unten z. B. auf einer Tischkante abgestützt, so kommt keine Propellerdrehung zustande.

*Bild 1. Der Propeller sitzt lose auf einem Nagel an der Stirnfläche des gekerbten Stabes. a) Der Antriebsstab wird über die Kerben hin- und hergeführt. b) Wenn zusätzlich der Daumen rechts am gekerbten Stab reibt, dreht der Propeller nach links. c) Reibt jedoch der Zeigefinger auf der linken Seite, so wechselt der Propeller seinen Drehsinn nach rechts*




### Weitere Versuche

Der Propeller sitzt mit reichlich Spiel auf dem Nagel vorn am gekerbten Stab (Bild 2), d. h. wenn der Propeller ruht, herrscht Haftreibung zwischen Propeller und Nagel.

Versetzt man den gekerbten Stab ruckartig in Rotation (Bild 2b), z. B. mittels eines plötzlich zwischen den entgegengesetzt bewegten Handflächen aufgebrachten Drehmomentes, so gerät auch der Propeller dank der Haftreibung in Drehung. Stoppt man die Antriebsbewegung der Handflächen, so dreht der Propeller noch weiter. Dies bedeutet, dass die nun wirkende Gleitreibung zwischen Propeller und Nagel wesentlich kleiner ist als die zuerst wirksame Haftreibung. (Stark unterschiedliche Haft- und Gleitreibungskoeffizienten kennt der Maschineningenieur von «Strick-Slip»-Erscheinungen an mehrfach gelagerten schlanken Wellen her).

Damit ist der Mechanismus gefunden, der den Propeller in Drehung hält: Zwischen genügend schnell wiederholten Drehmomentstössen, die den Propeller antreiben, dreht der Propeller unter Gleitreibung auf dem Nagel weiter.

### Physikalische Vorgänge

Streicht der Antriebsstab über die Kerben, so erzeugt dies (Bild 3) zuerst über der Strekke *ab* eine Stosskraft, gefolgt über der Strekke *bc* von einer Reibungskraft, die an der Rückkante *d* der Rückkante *d* der Kerbe wieder stossartig auf Null zurückgeht. Danach folgt eine kraftfreie Periode $da'$ bis zur Vorderkante $a'$ der nächsten Kerbe, worauf sich die Erregung in gleicher Weise wiederholt. Solange die Streichkräfte über den Strecken *ab* und *bc* wirken, ist der Stab mittels Reibung gehalten und kann keine freie Drehbewegung ausführen.

Sobald der Antriebsstab die Kerbenrückkante bei *d* verlässt, wird der gekerbte Stab plötzlich entlastet und kann während der Periode $da'$ freie Drehbewegungen ausführen. Der Verlauf der Freilaufperiode über $da'$, der von der über der Strecke *cd* wirkenden Entlastungskraft $P_d$ (Bild 3) eingeleitet wird, entspricht dem erwähnten Mechanismus, der die Propellerdrehung in Gang hält.

Die Drehbewegung bei der plötzlichen Entlastung an der Kerbenrückkante *d* ist nun näher zu beschreiben. Die stossartige Entlastungskraft $P_d$ wirkt als Zugkraft senkrecht zur Kerbenfläche (Bild 4); sie lässt sich in die zur Stabachse senkrecht bzw. parallel wirkenden Kraftkomponenten $P_d \sin\alpha$ und $P_d \cos\beta$ zerlegen.

Die Komponente $P_d \sin\alpha$ erzeugt ein stossartiges Drehmoment $M_T$

(1) $M_T = rP_d \sin\alpha \cos\beta,$

das den gekerbten Stab zur stossartigen Drehung gegen den Uhrzeigersinn (Bild 4b) mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit $\omega$ zwingt. Die gleiche Kraftkomponente erzeugt ferner ein Biegemoment $M_{B1}$ (Bilder 4a und 4 b):

(2) $M_{B1} = XP_d \sin\alpha.$

Dadurch entsteht eine Durchbiegung $y$ des gekerbten Stabes unter gleichzeitiger Rotation mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega$ gemäss Bild 4c.

Die Kraftkomponente $P_d \cos\alpha$ ihrerseits erzeugt ein zusätzliches Biegemoment $M_{B2}$:

(3) $M_{B2} = rP_d \cos\alpha,$

welches auf den gekerbten Stab wirkt (Bild 4b), jedoch gegenüber $M_{B1}$ vernachlässigbar klein ist.

Die Winkelgeschwindigkeit $\omega$ des Stabes erteilt dem Propeller eine Umlaufgeschwindigkeit $v_\varphi = \omega\delta$, wobei $\delta = Y_{x=l}$ die Durchbiegung des Stabes bei der Propellerbefestigung ist (Bild 5). Da die Entspannungskraft $p_d$ plötzlich wirksam wird, wirkt im ersten Moment die volle Haftreibung des Propellers, die einfachheitshalber als 1 angenommen sei. Der Propeller wird also im ersten Moment mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega$ mitrotieren und erhält vom Stab folgenden Drall:

(4) $\vartheta = m(i^2 + \delta^2)\omega,$

wobei $m$ die Masse und $i$ der Trägheitsradius des Propellers sind.

Unmittelbar nachher folgt die Periode $da'$, während welcher der Antriebsstab den gekerbten Stab frei schwingen lässt. Infolge der Dämpfung nimmt die Stab-Durchbiegung allmählich ab. Da jedoch der Drall $\vartheta$ konstant bleiben muss (Drallsatz), nimmt in (4) die Winkelgeschwindigkeit $\omega$ entsprechend zu. Die Rotation des Propellers wird daher während der Freilaufperiode $da'$ dank der Abnahme der Stabdurchbiegung $\vartheta$ bzw. der Zunahme von $\omega$ auf einem hohen Niveau gehalten. Dabei geht natürlich die Haftreibung des Propellers in die wesentlich kleinere Gleitreibung über, was die nach (4) berechnete Winkelgeschwindigkeit des Propellers begrenzt; sie bleibt jedoch bis zur nächsten Energiespeicherungsperiode $a'$-$d'$ erhalten. Auf diese Weise bleibt die Rotation des Propellers dauernd erhalten.

Die Grösse des ausschlaggebenden Drehmomentes $M_T$ ist nach (1) abhängig vom Pro-

dukt $P_d$ und des Hebelarms $r\cos\beta$. Wird der Antriebsstab genau über die Scheitelpunkte $s$ der Kerben geführt, so ist wohl die Kraft $P_d$ am grössten, jedoch der Hebelarm und damit das Drehmoment $M_T$ Null (Bild 3c). Beim Streichen längs der Kerben-Grundpunkte ist zwar der Hebelarm gross, doch die Kraft und somit auch das Drehmoment Null.

Wählt man hingegen die Streichlinie in der Zone $hk$ (Bild 3c), so erzielt man das grösste Drehmoment bzw. die intensivste Propellerdrehung.

Beim Umkehren der Streichbewegung, d. h. beim Streichen vom Propeller gegen das gehaltene Ende des gekerbten Stabes hin, ergibt sich der im Bild 6 gezeigte Verlauf der Kräfte. Die Richtung und die Grösse des Drehmomentes $M_T$ bleiben unverändert, also bleibt auch die Drehrichtung des Propellers gleich.

In den Bildern 3, 4 und 6 ist das Streichen rechts neben dem Kerbenscheitel dargestellt. Erfolgt das Streichen hingegen auf der linken Seite der Kerben so wird der Hebelarm $r\cos\beta$ negativ, womit sich der Drehsinn des Drehmomentes $M_T$ umkehrt. Dies ist auch die Erklärung des verblüffenden Drehsinnwechsels des Propellers.

Die gleiche Verschiebung der resultierenden Kraft nach links oder nach rechts wird auch erreicht, wenn der Antriebsstab über die Kerbenscheitel streicht und ein Finger auf der entsprechenden Stabseite eine dämpfende Kraft hinzufügt.

Somit sind alle zuerst angestellten Beobachtungen erklärt; sie entsprechen den Gesetzen der Mechanik.

Die Propellerbefestigung kann übrigens auch anders gewählt werden, solange die Haftreibung des Propellers wesentlich grösser bleibt als seine Gleitreibung. So haben Schüler früherer Generationen den Federhalter gekerbt, der Stahlfeder eine Spitze weggebrochen und einen Papierpropeller vorne aufgesetzt.

## Zusammenfassung

Die Rotation des Propellers beim Hin- und Herstreichen des Antriebsstabes über die Kerben beruht auf dem Erzeugen stossartiger Torsions- und Biege-Formänderungen des gekerbten Stabes. Die Torsionsformänderung versetzt den Propeller dank der Haftreibung in Rotation. Die Umwandlung der Impulse der Biegeverformung in die Drehung während der Freilaufperiode (während des Überspringens des Antriebsstabes zwischen den Kerben) unterstützt die Propellerrotation.

Adresse des Verfassers: Dr. *Y. N. Chen*, Waldstrasse 1, 8400 Winterthur.

Ingenieure und Physiker, denen das Erklären und Darstellen überraschender Effekte Vergnügen macht, finden weiteres Material in der Kuriositätenecke der Redaktion. *BP*

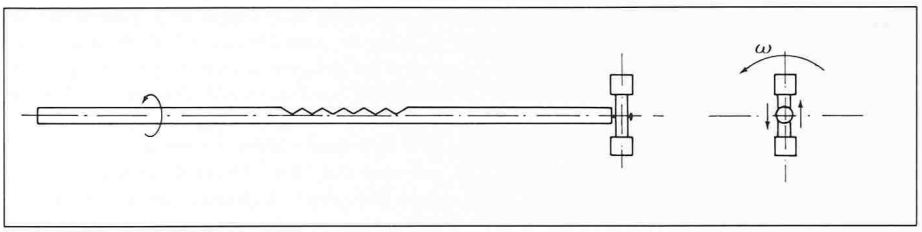



*Bild 2. Befestigung des Propellers. Wird der gekerbte Stab ruckartig rotiert, so dreht auch der Propeller mit (Haftreibung). Wird der gekerbte Stab gestoppt, so dreht der Propeller weiter (Gleitreibung)*

*Bild 3. Kräfteverlauf während der Bewegung des Antriebsstabes über die Kerben von a bis d. a) Seitenansicht, b) Querschnitt, c) Drehmomentausbildung*

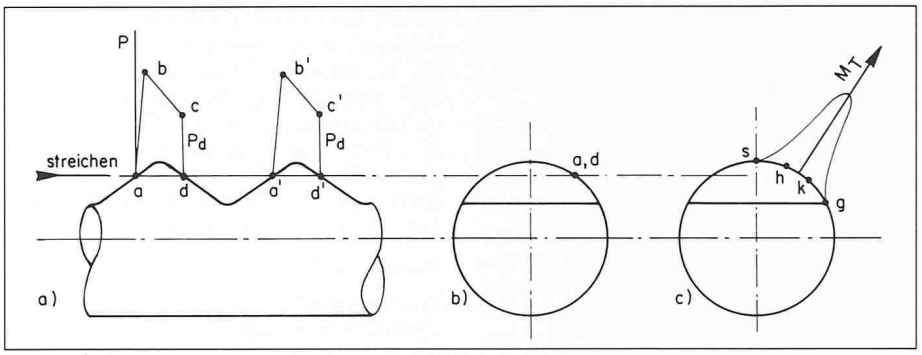



*Bild 4. Ausbildung der Drehmomente $M_{B1}$ und $M_{B2}$*

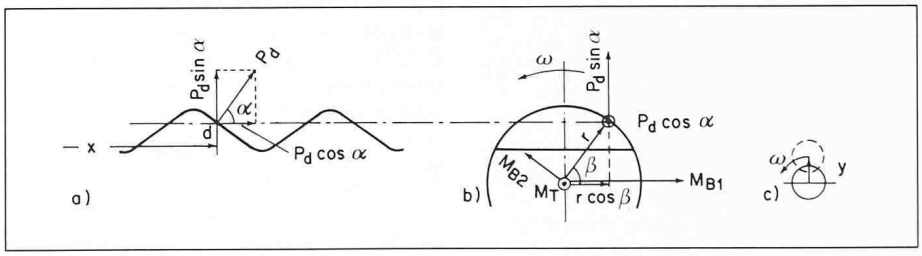



*Bild 5. Biegeschwingung des gekerbten Stabes*

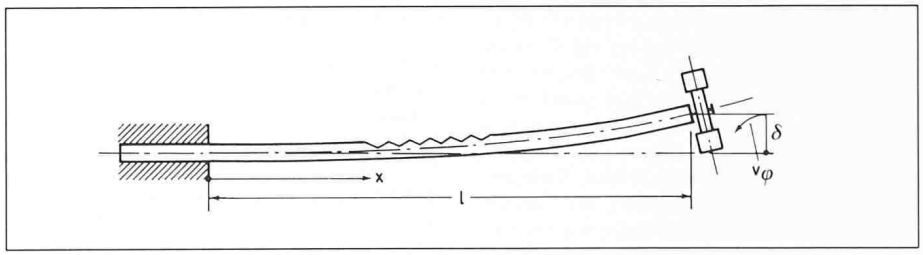



*Bild 6. Verlagerung der resultierenden Kraft $P_d$ nach rechts oder links*

