Zeitschrift: Jugend und Sport : Fachzeitschrift für Leibesübungen der Eidgenössischen Turn- und Sportschule Magglingen

Herausgeber: Eidgenössische Turn- und Sportschule Magglingen

Band: 28 (1971)

Heft: 9

Artikel: Über die Wirkung von Eigenrotation (Effet) bei fliegenden Bällen

Autor: Nigg, Benno

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-994687

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Über die Wirkung der Eigenrotation (Effet) bei fliegenden Bällen

Benno Nigg, dipl. Phys. ETH, Juni 1971
Institut für Biochmechanik der ETH, Leitung Prof. Wartenweiler

Man weiss aus der Sportpraxis, dass die Flugbahn von Bällen mit Eigenrotation auch in der x-y-Ebene eine Abweichung von der Anfangsrichtung aufweist. (Beispiele: Fussball, Tennis, Tischtennis usw.)

Es soll im folgenden die mathematisch physikalische Grundlage dieses Effektes besprochen werden.

Ausgangspunkt ist die Gleichung von Bernoulli:

$$p_1 + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot v_1^2 + \varrho \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot v_2^2 + \varrho \cdot g \cdot h_2$$

Bei den Bewegungen, die wir betrachten ist der Einfluss der Höhendifferenz vernachlässigbar klein. Die Gleichung lautet somit:

$$p_1 + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot v_1^2 = p_2 + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot v_2^2$$

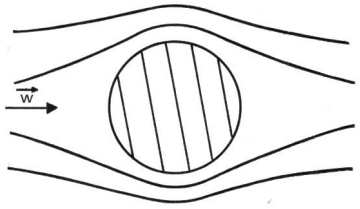
oder umgeformt:

$$\underline{\triangle p = p_2 - p_1 = \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot \left(v_1^2 - v_2^2\right)} \quad (1)$$

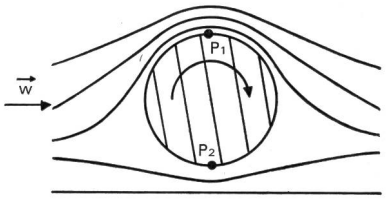
wobei: p = Druck
ϱ = Dichte
v = Luftgeschwindigkeit

Wir wählen im folgenden ein translatorisch mitbewegtes Koordinatensystem. Das heisst die Luft als Medium habe die Relativgeschwindigkeit $\vec{w}$ gegen den Ball.

Ohne Eigenrotation des Balls erhält man ein rotationssymmetrisches Strömungsbild. Die Geschwindigkeiten verlaufen symmetrisch.



Mit Eigenrotation werden der rein translatorischen und damit symmetrischen Strömung noch Zirkulationsströmungen überlagert, die in der Reibung zwischen Medium und Ball ihre Ursache haben. Auf der Seite von P_1 sind die Strömungsgeschwindigkeit $\vec{w}$ und die Mitnahmegeschwindigkeit v_1 gleichgerichtet, auf der Seite von P_2 entgegengesetzt. Diese Geschwindigkeiten werden vektoriell addiert. Das heisst bei P_1 entsteht eine grössere Geschwindigkeit als bei P_2.

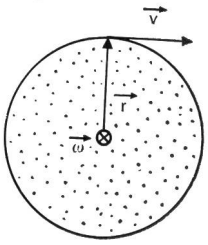


$$v_1 > v_2$$

und damit gilt für die Drucke nach der Gleichung von Bernoulli

$$p_1 < p_2$$

Der Ball erfährt also eine Kraft in Richtung von $\overrightarrow{P_2P_1}$



$$v_1 = w + v$$

$$v_2 = w - v$$

wobei v die Tangentialgeschwindigkeit der Balloberfläche ist.

$$|\vec{v}| = |\vec{r}| \cdot |\vec{\omega}| \cdot \underbrace{\sin \varphi}_{1}$$

$$v = r \cdot \omega$$

$$v_1 = w + r \cdot \omega$$

$$v_2 = w - r \cdot \omega$$

$$\triangle p = \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot \left(w^2 + 2wr\omega + r^2\omega^2 - w^2 + 2wr\omega - r^2\omega^2\right)$$

$$\triangle p = 2 \cdot \varrho \cdot w \cdot r \cdot \omega$$

$$K = \triangle p \cdot F = \triangle p \cdot \pi \cdot r^2$$

$$K = 2\pi \cdot \varrho \cdot w \cdot r^3 \cdot \omega = m \cdot b$$

$$b = \frac{2\pi}{m} \cdot \varrho \cdot w \cdot r^3 \cdot \omega$$

$$\boxed{b = \frac{4\pi^2}{m} \cdot \varrho \cdot w \cdot r^3 \cdot \nu}$$

oder mit der mittleren Dichte des Balls:

$$\varrho \text{ Ball} = \frac{m}{\frac{4\pi}{3} \cdot r^3}$$

$$\boxed{b = 3\pi \cdot \frac{\varrho \text{ Luft}}{\varrho \text{ Ball}} \cdot w \cdot \nu}$$

Der Ball erfährt also eine Beschleunigung in Richtung von P_2 nach P_1

b = Beschleunigung des Ballsbedingt durch Eigenrotation
m = Masse des Balls
w = Geschwindigkeit des Balls bezüglich des Mediums (Luft)
r = Radius des Balls
ν = Umlauffrequenz des Balls
ϱ Luft = Dichte der Luft
ϱ Ball = mittlere Dichte des Balls

Die Richtung der Ablenkung kann man mit Hilfe eines Vektorproduktes angeben:

Richtung von $\vec{b}$ = Richtung von $(\vec{\omega} \times \vec{w})$

Diskussion

a) Da die Beschleunigung immer positiv ist, nimmt die Geschwindigkeit (immer senkrecht zur momentanen Bewegungsrichtung) ständig zu. Das heisst die Ablenkung nimmt mit zunehmender Zeit oder zunehmendem Weg ständig zu. Die Ablenkung pro Zeit- oder Wegeinheit wird also immer grösser. Zum Beispiel Cornerbälle im Fussball.

b) Die Beschleunigung des Balles ist nicht konstant, sondern abnehmend, da w wegen des Luftwiderstandes abnimmt und die Frequenz ν ebenfalls kleiner wird (Luftreibung). Sie ist aber immer positiv.

c) Es ist interessant, dass die Beschleunigung vom Quotienten ϱ Luft : ϱ Ball abhängig ist.

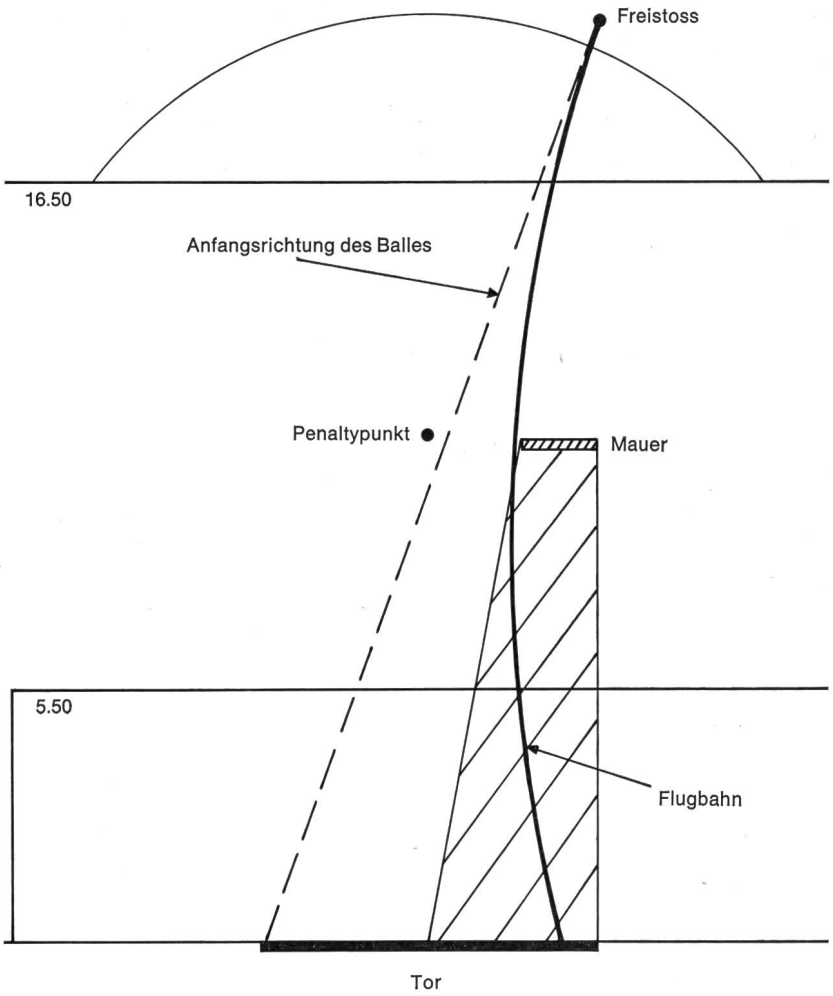
d) Der Effekt macht sich bei grossen (r^3) und/oder leichten $\left(\frac{1}{m}\right)$ Bällen am stärksten bemerkbar. Anders formuliert: bei Bällen mit kleiner mittlerer Dichte ist die Ablenkung bei gegebenem w und ν am grössten.

Illustration an einem Zahlenbeispiel

Annahme: Der Luftwiderstand sei vernachlässigbar klein, das heisst die Ballgeschwindigkeit bleibt konstant. Ebenso die Rotationsgeschwindigkeit. Unter dieser Annahme untersuchen wir einen Freistoss aus 20 Metern im Fussball mit einer Mauer, die (im reglementarischen Abstand von 9,15 Meter) die eine Hälfte des Tores deckt.

Es sei:	Ballgeschwindigkeit	w = 72 km/h = 20 m/s
	Rotationsfrequenz	ν = 4 Hz
	Balldurchmesser	2r = 22 cm
	Luftdichte	ϱ = 1,25 kg/m^3
	Masse des Balles	m = 0,4 kg

Das Resultat eines solchen Schusses ist aus der folgenden Skizze ersichtlich, wo der Ball um die Mauer herum fliegt.



Schlussbemerkungen

Bei der Herleitung wurde die Tatsache vernachlässigt, dass die Geschwindigkeitsverteilung der Luft um den Ball nicht überall gleich ist. Beim Zahlenbeispiel wurde die in der Wirklichkeit nicht zutreffende Annahme gemacht, dass der Luftwiderstand zu vernachlässigen sei. Das heisst diese Arbeit soll nur einen Eindruck der Grössenordnung dieses Effektes geben, nicht eine exakte Berechnung des Effektes.