

Zur Physik beim Hochsprung

Eine Nachlese zu dem Aufsatz „Flöhe, Käfer und Leichtathleten“ von W. Bürger im Spektrum der Wissenschaften April 2003

Ein Leichtathlet der Masse 80 kg, dessen Schwerpunkt 1m über dem Boden liegt, lässt die Latte auf 2,05 m legen. Er läuft an und versucht, möglichst senkrecht nach oben abzuspringen. Die Bewegungsenergie, die er vom Anlauf her mitbringt, verwendet er, um seinen Körper mit dem Rücken zur Latte zu drehen. Die Bewegungsenergie, die er einsetzt, um seinen Schwerpunkt nach oben zu bewegen, muss sein Sprungbein während des Absprungs aufbringen. Dieser dauert etwa 0,2 sec.

Von dem Augenblick an, da er die Berührung zum Boden verloren hat, folgt sein Schwerpunkt der Bahn einer Wurfparabel, und der Springer kann diese Bahn nicht mehr beeinflussen. Er versucht jedoch, den Schwerpunkt unter seinen Körper zu legen. Dazu krümmt er sich: Der Schwerpunkt bewegt sich dann unter der Latte hindurch, während sein Körper über sie hinweg gleitet. Unserem Leichtathleten wird es deshalb genügen, wenn er seinen Schwerpunkt um 1m nach oben bewegt.

Wir berechnen die Absprunggeschwindigkeit v_0 , die Kraft F , welche vom Boden auf den Fuß des Springers beim Absprung wirkt und schließlich die Leistung P , die er während des Absprungs erbringt.

Die Absprunggeschwindigkeit lässt sich errechnen, indem man den Energiesatz verwendet: Die kinetische Energie $\frac{1}{2} Mv_0^2$ wird umgewandelt in Hubarbeit Mgh :

$W = Mgh = \frac{1}{2}Mv_0^2$, woraus sich nach Kürzen von M und mit $M = 80$ kg und $g = 10$ N/kg ergibt: $v_0 = 4,5$ m/sec

Die Beschleunigung während des Absprungvorgangs errechnet sich zu $a = 4,5/0,2$ m/sec² = 22,5m/sec². Das ist mehr als die doppelte Größe der Erdbeschleunigung g : Die Kraft, die der Springer auf den Boden ausübt und die dieser entsprechend dem Axiom *actio=reactio* in umgekehrter Richtung auf den Springer ausübt, ist durchschnittlich mehr als doppelt so groß wie sein Gewicht.

Die Leistung P ist gegeben durch $P = W/0,2\text{sec} = Mgh/0,2\text{sec} = 80 \cdot 10 \cdot 1/0,2$ Watt = 4000Watt oder 4 kW oder 5,3 PS.

Die Beine des Flohs sind etwa 1,5 mm lang. Das ist die Beschleunigungsstrecke, denn er springt, indem er seine zusammengeknickten Beine blitzartig zu voller Länge ausstreckt. Er kann 20 cm hoch springen; das ergibt gemäß $v_0^2 = 2gh$ eine Geschwindigkeit von 2m/sec, mit der er sich vom Boden löst. Wie lange dauert der Absprung? Um diese Zeit abzuschätzen, weichen wir von der oben zitierten Originalarbeit ab.

Und zwar nehmen wir an, die beschleunigende Sprungkraft verändere sich während des Abspringens nicht. Das haben wir oben beim Hochspringer angenommen, aber die Beine des Flohs sollte man nach Meinung des Autors eher als eine sich entspannende Feder ansehen. Bei einer Feder aber ist die rücktreibende Kraft und damit die Beschleunigung proportional zur Verkürzung (bzw. Verlängerung) der Feder. Sie ändert sich also in jedem Punkt der Bahn.

Wir errechnen aus der wohlbekannten Formel $v^2 = 2as$ unter Einsetzung von $v = 2\text{m/sec}$, $s=0,0015\text{m}$ die Beschleunigung $a = 1666\text{m/sec}^2 = 166\text{g}$ (Der Autor kommt auf 178g als mittlerem Wert der Beschleunigung, die maximale Beschleunigung liegt bei etwa 200g) Der Floh hält das Zweihundertfache seines Gewichtes beim Beschleunigen aus; es weiß wohl noch niemand, wie das geschehen kann.

Und was heißt, er dehne seine Beine „blitzartig“ aus? Wie lange dauert das?

Wir verwenden die Formel $s = \frac{1}{2} at^2$ und erhalten $t \approx 0,001 \text{ sec}$ (1 msec). Mit diesem Wert rechnet auch der Autor weiter.

Um die Leistung des Flohs beim Absprung auszurechnen, müsste man seine Masse M kennen; dann könnte man die Leistung P aus dem Ansatz $P = Mgh/t$ ausrechnen. Bei einer Masse von einem Gramm ergäbe sich die Leistung $0,001\text{kg} \cdot 10\text{N/kg} \cdot 0,2\text{m} / 0,001\text{sec} = 2 \text{ Watt}$, bei einer Masse von einem Zehntel Gramm $0,2 \text{ Watt}$.

Welche Leistung müsste unser Hochspringer erbringen, wenn er das gleiche Leistungsgewicht hätte, d.h. wenn er pro Gramm seiner Masse genau so viel Leistung erbringen würde wie der Floh? (Mit dieser Frage gehen wir über den Aufsatz von W.Bürger hinaus).

Der Quotient aus Leistung und Masse ist beim Floh: $P/M = gh/t = 10 \cdot 0,2 / 0,001 \text{ Watt/kg} = \underline{2000 \text{ Watt/kg}}$.

Unser Hochspringer müsste mit seiner Masse von 80 kg eine Leistung von 160kW oder 212PS aufbringen. Bei einer Absprungdauer von $0,2 \text{ sec}$ erbrächte er die Arbeit $W = 32000\text{J}$, womit er gemäß $W = MgH$ rund $H = 32000/800 \text{ m} = 400 \text{ m}$ hoch käme.