

# Einfache Physik des Golfballflugs

Überlegungen zur Abschätzung der Fluggeschwindigkeit, Flugweite und Flugzeit eines Golfballs nach dem Treffmoment mit einem Driver.

Stefan Hippler, Heidelberg, 5. August 2006  
Letzte Aktualisierung am 11. Mai 2022

*Frage(n): wie schnell, wie weit und wie lange fliegt ein Golfball maximal?*

Für ganz Eilige finden sich die Antworten zur Geschwindigkeit in den Gleichungen 11 und 12.  
Für die Flugweite entsprechend in 14 und 15 und zur Flugdauer bitte ganz ans Ende gehen.

Die folgenden Überlegungen basieren auf den bekannten physikalischen Erhaltungssätzen von Energie  $E$  und Impuls  $p$ . Die Ausgangslage ist klar, der Ball liegt ruhig auf dem Boden (Ballgeschwindigkeit  $v_B = 0$ ) und wird von einem Golfschläger (Driver) getroffen. Vor dem Treffmoment gilt für den Schlägerkopf:

$$p_S = m_S \cdot v_0 \quad (1)$$

$$E_S = \frac{1}{2} m_S \cdot v_0^2 \quad (2)$$

Hierbei sind  $m_S$  die Masse des Golfschlägerkopfes und  $v_0$  die Geschwindigkeit des Schlägerkopfes im Treffmoment.  $E_S$  ist die kinetische Energie des Schlägerkopfes und  $p_S$  sein Impuls. Energie und Impuls des Golfballs sind vor dem Treffmoment 0.

Für den Gesamtimpuls  $p$  und die Gesamtenergie  $E$  von Golfball und Schlägerkopf **vor dem Treffmoment** gilt also

$$p = p_S \quad (3)$$

$$E = E_S \quad (4)$$

Nachdem der Ball vom Schlägerkopf **getroffen wurde**, gelten für Gesamtimpuls und Gesamtenergie:

$$p = m_S \cdot v_S + m_B \cdot v_B \quad (5)$$

$$E = \frac{1}{2} m_S \cdot v_S^2 + \frac{1}{2} m_B \cdot v_B^2 \quad (6)$$

Hinzu gekommen ist der Impuls des Golfballs der Masse  $m_B$  und Geschwindigkeit  $v_B$ . Die gesamte kinetische Energie  $E$  ist nach dem Treffmoment aufgeteilt in die kinetische Energie des Golfballs  $\frac{1}{2} m_B v_B^2$  und des Schlägerkopfes  $\frac{1}{2} m_S v_S^2$ . Die Geschwindigkeit des Schlägerkopfes  $v_S$  ist nach dem Treffmoment kleiner als vor dem Treffmoment, also  $v_S < v_0$ .

Jetzt lassen sich die Gleichungen 1, 3 und 5 zusammen fassen zu:

$$m_S \cdot v_0 = m_S \cdot v_S + m_B \cdot v_B \quad (7)$$

Das gleiche mit den Gleichungen 2, 4 und 6 ergibt:

$$\frac{1}{2} m_S \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} m_S \cdot v_S^2 + \frac{1}{2} m_B \cdot v_B^2 \quad (8)$$

Gleichung 7 nach  $v_S$  aufgelöst ergibt:

$$v_S = \frac{m_S \cdot v_0 - m_B \cdot v_B}{m_S} \quad (9)$$

Jetzt kann  $v_S$  aus Gleichung 9 in Gleichung 8 eingesetzt werden.

$$\frac{1}{2}m_S \cdot v_0^2 = \frac{1}{2}m_S \cdot \left(\frac{m_S \cdot v_0 - m_B \cdot v_B}{m_S}\right)^2 + \frac{1}{2}m_B \cdot v_B^2 \quad (10)$$

Mit ein bisschen umformen und nicht vergessen, dass  $(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$  gilt, erhält man aus Gleichung 10 die maximale Geschwindigkeit des Golfballes direkt nach dem Treffmoment:

$$v_B = \frac{2 \cdot m_S \cdot v_0}{(m_B + m_S)} \quad (11)$$

Im Verlauf des Fluges wird die Geschwindigkeit des Balls in der Regel natürlich immer kleiner.

Zum guten Schluss ein paar Zahlen. Der Golfball wiegt maximal  $m_B = 46$  g. Ein Driver-Kopf hat eine Masse von ca.  $m_S = 200$  g. Jetzt noch exemplarisch bei Bryson DeChambeau<sup>1</sup> nachsehen wie hoch bei ihm die Schlägerkopfgeschwindigkeiten  $v_0$  sind, z.B.  $v_0 = 235$  km/h (146 mph), und schon kann die "maximale" Geschwindigkeit des Golfballes ausgerechnet werden (Gleichung 11):

$$v_B = 382 \text{ km/h} = 237 \text{ mph} \quad (12)$$

Da sich der Golfball bei einem Treffer mit dem Driverkopf verformt, außerdem das Schlägerblatt eines Drivers wie eine gespannte Membran arbeiten kann (Trampolineffekt) und auch noch andere Faktoren (Dimples, Spin) eine Rolle spielen, ist das ziemlich nahe dran an der maximalen Golfball-Geschwindigkeit, die real im Jahr 2022 möglich ist. Ist die Golfballmasse vernachlässigbar gegen die Schlägerkopfmasse, ergibt sich die theoretisch maximale Geschwindigkeit des Golfballs zu:

$$v_B = 2 \cdot v_0 \quad (13)$$

Mit den angegebenen Zahlen ergibt sich eine Schlägerkopfgeschwindigkeit **nach** dem Treffmoment entsprechend Gleichung 9 zu  $v_S = 147$  km/h (91 mph). Der Schlägerkopf wurde ordentlich abgebremst.

Für Freizeitgolfer mit Driverkopfgeschwindigkeiten vor dem Treffmoment von typischerweise unter 145 km/h (90 mph), liegt die maximale Ballgeschwindigkeit entsprechend bei knapp 236 km/h (147 mph). Das liegt nahe an den Geschwindigkeiten welche beim Aufschlag im Tennis von den besten Tennisspielern erzielt werden.

*So, Balltempo ist geklärt, und wie weit fliegt er nun, der Golfball?*

Um diese Frage zu beantworten ist etwas mehr Mathematik nötig, oder ein kurzer Blick in den Wikipedia Artikel über die Wurfparabel<sup>2</sup>. Dort wird die maximale Reichweite vom Boden mit

$$R_{max} = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin 2\beta \quad (14)$$

<sup>1</sup><https://www.golfwrx.com/643286/bryson-dechambeau-reaches-146-9mph-clubhead-speed-with-new-cobra-radspeed-driver/>

<sup>2</sup><https://de.wikipedia.org/wiki/Wurfparabel>

angegeben. Hier bezeichnet  $g$  die Erdbeschleunigung und  $\beta$  den Wurfwinkel zur Horizontalen hin. Die Sinusfunktion wird maximal für  $\beta = 45$  Grad, also  $\sin(2 \cdot 45) = 1$ .

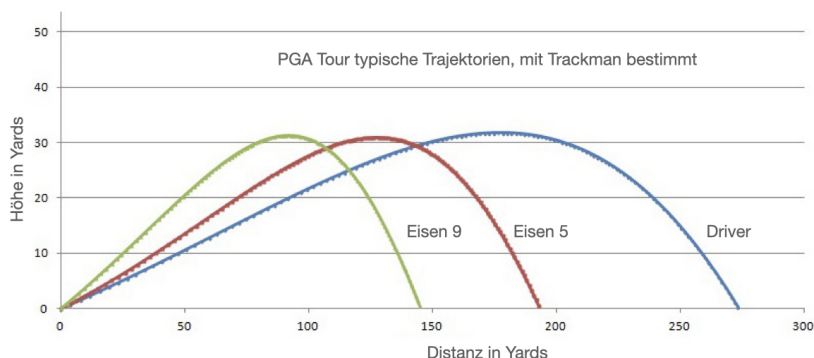
Mit den bisher benutzten Werten und  $\beta = 45$  Grad, ergibt sich somit eine maximale Ballflugweite von

$$R_{max} = 434 \text{ m.} \quad (15)$$

Die Reichweite ist direkt proportional zu  $\frac{1}{g}$ , und somit beispielsweise auf dem Mond bei gleicher Geschwindigkeit  $v_0$  etwa 6 mal so weit ( $g_{Erde} = 9.81 \text{ m/s}^2$ ,  $g_{Mond} = 1.66 \text{ m/s}^2$ ). Dies gilt allerdings nur wenn die Erdatmosphäre ignoriert wird. Wird die Erdatmosphäre berücksichtigt, ergibt sich ein optimaler Startwinkel  $\beta$  von ca. 20 Grad und die Parabelflugbahn knickt nach ihrem Maximum schnell ab, das heißt, der Ball fällt fast senkrecht zu Boden. Die Reichweite wird auf ca. 64% ( $\sin(2 \cdot 20 \text{ Grad}) = 0,64$ ) der maximalen Flugweite reduziert. Dies gilt wohlgermerkt nur für die angenommene Wurfparabel.

Der wahre Ballflug ist deutlich komplexer, entsprechend sind auch die Flugweiten in der Realität anders. Wer hier in die Tiefe gehen will, kann nach Publikationen mit den Schlüsselwörtern "golf ball aerodynamics" auf die Suche gehen.

Beispielhaft sind typische PGA Tour Trajektorien<sup>3</sup> wie sie von Trackman bestimmt wurden sind in der folgenden Grafik zu sehen (1 Yard  $\approx$  0,9 m).



#### Letzter Punkt: wie lange fliegt der Golfball?

Hier geht es um die Frage wie lange der Golfball in der Luft fliegt, also vom Abschlag bis zur Landung auf dem Boden. Im Englischen wird diese Zeit oft mit *hang time* bezeichnet. Schaut man sich die PGA Tour Statistik<sup>4</sup> dazu an, liegen diese Zeiten im Schnitt bei ca. 6,5 Sekunden, der Bereich in etwa zwischen 6 und 7 Sekunden.

<sup>3</sup><https://probablegolfinstruction.com/golf-science-newsletter-trajectory-height-same-for-all-clubs.html>

<sup>4</sup><https://www.pgatour.com/stats/stat.02408.html>