



FORMELSAMMLUNG SPRITZTOUR

Je sauberer die Red Bull Cliff Diver eintauchen, desto mehr Punkte gibt's von den Kampfrichtern.

IDEALFALL. DAS SAGT DER PHYSIKER*

Die Red Bull Cliff Diver springen aus bis zu 28 Meter Höhe – das entspricht der Höhe eines acht- bis neunstöckigen Hauses! Wie schnell prallt man da aufs Wasser? Die Geschwindigkeit errechnet sich unter Vernachlässigung des Luftwiderstandes aus $v = \sqrt{2gh}$, wobei g die Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$) ist und h die Sprunghöhe in Metern. Das ergibt in unserem Fall saftige $23,4 \text{ m/s}$ (etwa 84 km/h). Dieses hohe Tempo ist der Grund, warum Cliff Diver stets mit den Füßen voran eintauchen.

Bei der Sprungbeurteilung kommt der Endphase die größte Bedeutung zu. Wichtig ist senkrecht eintauchen. Nun kommt der Drehimpuls (L) ins Spiel, das Produkt aus Trägheitsmoment (J) und Winkelgeschwindigkeit (ω), also $L = J\omega$. Das Problem: Solange der Springer in der Luft ist, ist L konstant, er kann daher niemals die Drehung komplett abstoppen. Das Trägheitsmoment in der gestreckten Position ist jedoch rund 3-mal so groß wie in der gehockten. Deshalb kann am Ende des Sprunges bei einem gehockten Salto die Drehung um den Faktor 3 verlangsamt werden: Es gilt $L = J\omega = 3J\omega/3$. Ist der Springer $1,8 \text{ m}$ groß, braucht er zum Eintauchen $t = s/v = 1,8 \text{ m}/23,4 \text{ m/s} \approx 0,08 \text{ s}$, also $8/100 \text{ s}$. In dieser Zeit dreht er sich kaum merkbar weiter. Um Über- und Unterdrehen zu vermeiden, ist beim Öffnen der Position jedoch perfektes Timing nötig.

Damit das Wasser möglichst wenig spritzt, gilt es, bis zum Eintauchen des gesamten Körpers so wenig Energie wie möglich aufs Wasser zu übertragen. Diese Energie (E) entspricht Kraft (F) mal Weg (s). Der Weg ist die – nicht veränderbare – Körpergröße. Die übertragene Energie ist somit proportional zur Kraft ($E \sim F$). Diese Kraft (Wasserwiderstandskraft) entspricht $F_w = 0,5\rho c_w A v^2$. Die Wasserdichte (ρ) ist eine Konstante, die Aufprallgeschwindigkeit (v), die ja von der Höhe abhängt, ebenso. Nimmt man vereinfacht an, dass die Geschwindigkeit während des Eintauchens konstant bleibt, gilt für die übertragene Energie $E \sim c_w A$: Möglichst stromlinienförmiges Eintauchen hält den Strömungswiderstandskoeffizienten c_w klein. Auch die Anströmfläche A muss möglichst klein gehalten werden. Beide Werte hängen teilweise voneinander ab. Nicht ganz angelegte Arme oder Überdrehen vergrößern sowohl c_w als auch A – und dann spritzt es eben mehr.

ERNSTFALL. DAS SAGT DER KLIPPENSPRINGER

„Korrektes Eintauchen trainiere ich mit Sprüngen aus 15 Metern Höhe“, sagt Michal Navratil (CZE), Drittplatzierter der Red Bull Cliff Diving World Series 2011. „Ich springe einen Doppelsalto mit einer halben Schraube, versuche meine Position in der Luft festzustellen, und meine Beine dorthin zu bewegen, wo ich landen möchte.“ Die mentale Vorbereitung auf einen Wettkampfsprung beginnt Navratil am Vorabend des Bewerbs im Hotelbett: „Ich versuche zu entspannen und lasse den Sprung in meinem Kopf in Zeitlupe ablaufen, bis alle Bewegungen sitzen. Am besten funktioniert dieser Prozess kurz vor dem Einschlafen. Auf der Plattform selbst hast du keine Zeit mehr, nachzudenken. Da musst du wissen, was du tust.“

www.redbullcliffdiving.com; www.michalnavratil.com

* Mag. DDr. Martin Apolin, 47, Physiker und Sportwissenschaftler, arbeitet als AHS-Lehrer und Lektor an der Fakultät für Physik in Wien und ist mehrfacher Buchautor.



Trägheitsmoment
 $L = J \cdot \omega = 3J \cdot \frac{\omega}{3} = \text{konstant}$
 Drehimpuls Winkelgeschwindigkeit

$L = J \cdot \omega$

$(23,4 \text{ m/s})$
 84 km/h

Das Trägheitsmoment ist in der gestreckten Position 3-mal so groß...

$L = 3J \cdot \frac{\omega}{3}$

$t = \frac{s}{v} = \frac{1,8 \text{ m}}{23,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 0,08 \text{ s}$

Für wenig
SPLASH ...
 ... A und c_w möglichst klein halten!

WASSER WIDERSTANDSKRAFT:

Wasser-dichte Anprall-geschwindigkeit
 $F_w = 0,5 \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$
 Strömungs-widerstands-koeffizient Anström-fläche

Anspannung pur: Michal Navratil (CZE) taucht beim ersten Stopp der Red Bull Cliff Diving World Series 2012 in Bonifacio/Korsika ein ins Mittelmeer.

ILLUSTRATION: MANDY FISCHER, BILD: V. CURTICHER/RED BULL CONTENT POOL