

Theoretische Grundlagen

Zusammenfassung des physikalischen Hintergrundwissens zum Thema: Leichtathletik: Hochsprung

Körperschwerpunkt

Der Körperschwerpunkt (KSP) beschreibt eine Position im Raum zur vereinfachten Betrachtung der Kraftwirkung auf einen Körper. Dabei geht man davon aus, dass sich die gesamte Masse des Körpers im KSP befindet. Die Wirkung von Kräften auf den KSP wird dann mit der Wirkung auf den gesamten Körper gleichgesetzt.

Der KSP regelmäßig geformter Körper liegt auf deren Symmetrieachse – beispielsweise befindet sich der KSP einer Kugel im Kugelmittelpunkt, der eines Gymnastikstabes auf dem Streckenmittelpunkt. Der KSP kann, z.B. während der Bogenspannung beim Hochsprung, auch außerhalb des Körpers liegen (vgl. Abb. 1).

Bezug zum Hochsprung

Im Hochsprung ist der einbeinige Absprung durch das Regelwerk vorgegeben. Von den verschiedenen Techniken hat sich der Flopsprung durchgesetzt. Abb. 3 zeigt, wie sich die Sprungtechnik auf die Sprunghöhe auswirkt. Von zentraler Bedeutung ist dabei die Lage des Körperschwerpunkts (KSP), in der Skizze grün dargestellt.

Zur Zeit des Absprungs befindet sich der KSP in der Abflughöhe h_1 . Der KSP lässt sich, durch die Sprungkraft des Athleten begrenzt, um die Höhe h_2 anheben. Bis zu diesem Punkt unterscheiden sich die verschiedenen Techniken nicht.

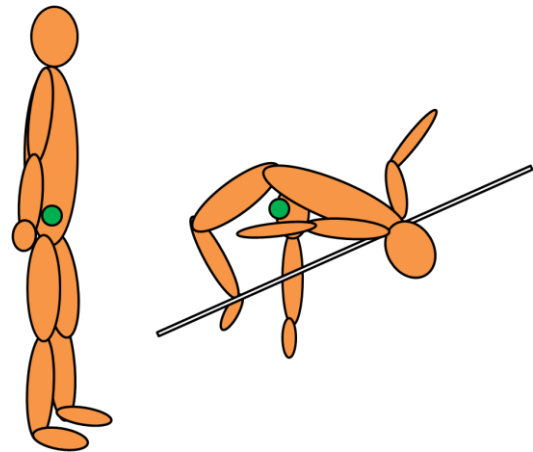


Abb. 1: KSP in verschiedenen Körperhaltungen

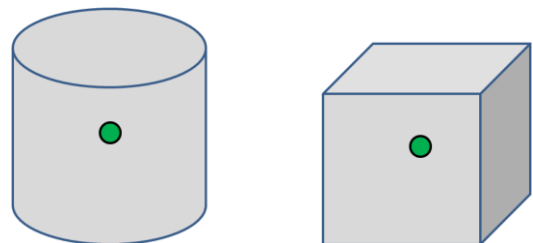


Abb. 2: KSP symmetrischer Körper

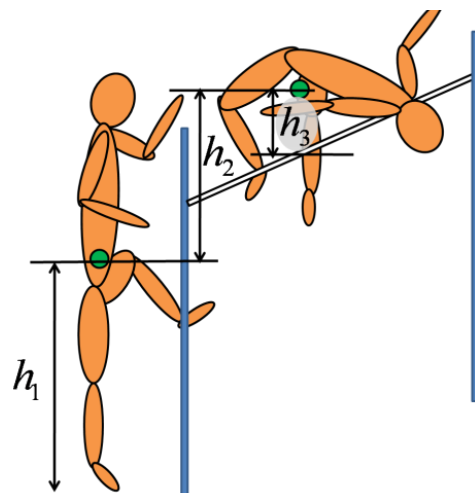


Abb. 3: Analyse des Flopsprungs

Entscheidend für die Sprunghöhe ist die Höhe h_3 ; der Abstand des hier außerhalb des Körpers liegenden KSP zur Latte im höchsten Punkt. Die übersprungene Höhe H ergibt sich dann zu:

$$H = h_1 + h_2 - h_3$$

Je nach Technik unterscheidet sich der Wert von h_3 - beim Flopsprung ist h_3 minimal. Profispringer erreichen für h_3 sogar negative Werte, d.h. der Schwerpunkt des Springers liegt beim Überqueren der Latte unterhalb der Latte. Dies ist nur durch eine sehr starke Bogenspannung möglich.

Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges

Bei einer sportlichen Bewegung, bei der eine hohe Endgeschwindigkeit erreicht werden soll, ist auf einen optimal langen Beschleunigungsweg zu achten.

Beim Hochsprung ist eine möglichst hohe Absprunggeschwindigkeit erforderlich, um eine möglichst große KSP-Erhöhung (h_2) zu erzielen.

Der Beschleunigungsweg bzw. die Beschleunigungszeit (Bodenkontaktzeit des Springers) wird durch die Kurveninnenlage beim Absprung vergrößert.

Durch eine Kurveninnenneigung von $\alpha = 30^\circ$ wird der KSP um ca. $\Delta h = 10\text{cm}$ abgesenkt (vgl. Abb. 4). Der Beschleunigungsweg wird dadurch erhöht und die Bodenkontaktzeit verlängert.

Der Grund für die Kurveninnenlage ist jedoch nicht allein der Höhengewinn. Sie ist ein Resultat des Anlaufs. Der Athlet muss sich nach innen neigen, um die für den kurvenförmigen Anlauf nötige Zentripetalkraft aufzubringen.

Zentripetal- und Zentrifugalkraft

Die Zentripetalkraft tritt beim bogenförmigen Anlauf im Hochsprung auf. Sie ist eine physikalische Kraft, die an einem Körper angreift, der sich auf einer kreisförmigen Bahn bewegt. Die Zentripetalkraft hält den Körper auf seiner Kreisbahn und ist zum Kreismittelpunkt bzw. zur Drehachse gerichtet.

Der Hochspringer spürt jedoch die Zentrifugalkraft, welche entgegengesetzt der Zentripetalkraft, vom Zentrum nach außen gerichtet ist. Die Zentrifugalkraft hat denselben Betrag wie die Zentripetalkraft.

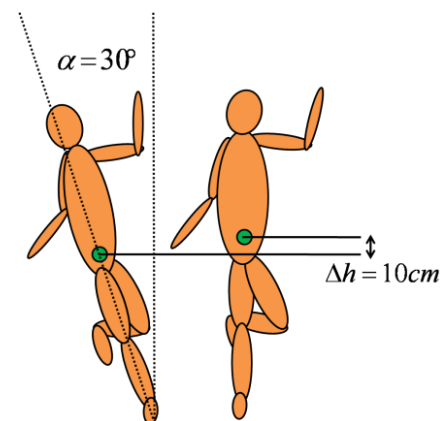


Abb. 4: Absenkung des KSP bei Kurveninnenlage

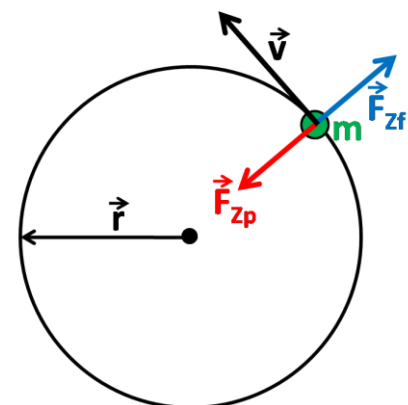


Abb. 5: Zentripetalkraft als Ursache einer Kreisbewegung

$$\vec{F}_{Zf} = -\vec{F}_{Zp}$$

Für den Betrag der Zentripetalkraft F_Z gilt folgende Formel:

$$F_Z = \frac{mv^2}{r}$$

(m : Masse des Springers, \vec{v} : Geschwindigkeit des Springers, \vec{r} : Radius der Kreisbahn)

Impuls

Unter dem Impuls versteht man umgangssprachlich die „Wucht“ eines Körpers. Der Impuls p ist das Produkt aus der Masse m und der Geschwindigkeit v .

$$p = m \cdot v$$

Die Einheit des Impulses ist $\left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}\right]$. In der Regel erfolgt eine Änderung des Impulses durch eine Geschwindigkeitsänderung, da die Masse des Körpers, z.B. eines Hochspringers, konstant ist.

Der Impuls beschreibt den Bewegungszustand des Körpers, und er ändert sich durch das Einwirken einer Kraft über eine Zeitspanne. Eine Impulsänderung wird auch als Kraftstoß bezeichnet.

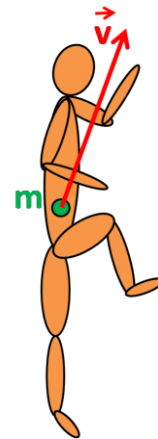


Abb. 6: Impuls eines Hochspringers nach dem Absprung

Kraftstoß

Der Absprung ist beim Hochsprung von zentraler Bedeutung. Ziel ist es, den KSP maximal anzuheben (Maximieren von h_2).

Der Absprung entspricht einem Kraftstoß Δp , also einer Impulsänderung. Da sich die Masse des Sportlers nicht ändert, gilt folgender Zusammenhang für die Impulsänderung:

$$\Delta p = m \cdot \Delta v$$

Der Impuls \vec{p} des Sportlers ist eine vektorielle Größe. In vertikaler Richtung ist der Impuls vor dem Absprung null ($\vec{p} = 0$). Während des Absprungs vergrößert der Sportler seinen vertikalen Impuls, indem er sich vom Boden abstößt. Die Impulserhaltung, nach welcher der Gesamtimpuls eines Systems konstant ist, ist dadurch nicht verletzt. Der „Impulsgewinn“ des Sportlers ist gleich dem „Impulsverlust“ der Erde, die ihre Geschwindigkeit aufgrund der großen Masse jedoch nur minimal ändert ($\Delta v = \frac{\Delta p}{m}$). Der Kraftstoß beim Absprung kann also als Impulsübertragung von der Erde auf den Sportler beschrieben bzw. veranschaulicht werden.

Neben der Beschreibung des Kraftstoßes als Impulsänderung kann ein Kraftstoß auch als Kräfteinwirkung über eine Zeitspanne interpretiert werden. Es gilt:

$$\Delta p = F \cdot \Delta t$$

Bei der Formel wird jedoch vorausgesetzt, dass die Kräfteinwirkung während der Zeitdauer Δt konstant ist. Der Sportler übt auf den Boden eine Kraft (actio) aus. Vom Boden erfährt der Sportler dadurch eine betragsmäßig gleich große Gegenkraft (reactio, Bodenreaktionskraft), die den Impuls des Sportlers ändert und die Anhebung des KSP bewirkt. Das Prinzip von actio und reactio ist auch als Drittes Newtonsches Axiom bekannt.

Bezogen auf den Hochsprung muss der Absprung so gestaltet werden, dass auf den Boden eine möglichst große Kraft über eine möglichst lange Zeit ausgeübt wird.

Um eine maximale Kraft auf den Boden zu erzeugen, muss mit Körperspannung abgesprungen werden, der Sportler muss sich „groß machen“. Das Einsetzen von Schwungelementen (beide Arme und das Schwungbein) führt ebenfalls zu einer größeren Bodenreaktionskraft. Die Schwungbewegung nach oben bewirkt jedoch nur mit einer Ganzkörperspannung den gewünschten Effekt. Ein weiterer Vorteil des Schwungelementeinsatzes ist die Erhöhung der KSP-Lage beim Absprung (h_1 wird maximiert).

Die lange Bodenreaktionszeit wird, wie bereits beschrieben, durch die Kurveninnenneigung beim Anlauf verstärkt.

Drehimpuls und Körperachsen

Der Körper wird beim Hochsprung um die Körperlängsachse und die Körperbreitenachse gedreht. Die Einleitung der Drehung um die Körperlängsachse erfolgt durch den Kurvenlauf und den Einsatz des Schwungbeins. Die Rotation um die Breitenachse hat zwei Ursachen: Zum einen hat der Körper aufgrund der Zentrifugalkraft beim Absprung eine Geschwindigkeit in Richtung der Latte - der Körper dreht sich so über das feststehende Absprungbein. Zum anderen wird durch den dezentralen Stoß beim Absprung (Oberkörper in Rücklage) ein zusätzliches Drehmoment (Ursache für eine Drehbewegung) erzeugt.

Der Drehimpuls L ist das Produkt aus der Winkelgeschwindigkeit ω und dem Trägheitsmoment θ .

$$L = \omega \cdot \theta$$

Das Trägheitsmoment beschreibt die Trägheit gegenüber einer Änderung der Bewegung bei Rotationen, analog zur Masse bei Translationsbewegungen. Die Winkelgeschwindigkeit entspricht in dieser Analogie der Geschwindigkeit.

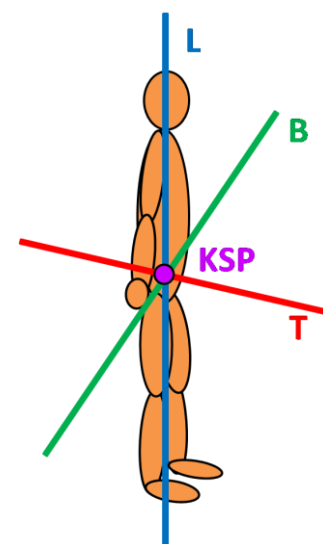


Abb. 7: Längen-, Breiten- und Tiefenachse des Körpers