

Computerkicker: Abschätzung des erforderlichen Antriebsdrehmoments für die Rotation der Stange

Zur Abschätzung der notwendigen Leistungsdaten des Antriebs der Rotation der Stange werden folgende Überlegungen angestellt:

- Die Rotationsbewegung (ROT) einer Kickerstange mit Spielern ist unabhängig zur translatorischen Bewegung (TRANS) der Kickerstange
- Als worst-case Fall ist anzunehmen, dass der Kickerball gerade von einer gegenerischen Spielfigur der Kickerstange unmittelbar gegenüber mit maximaler Geschwindigkeit geradlinig geschlagen wurde.
 - Es bleibt also nur die Zeit, die der Ball benötigt um die Distanz zweier Kickerstangen bei maximaler Ballgeschwindigkeit zurückzulegen, als Reaktionszeit um mit der eigenen Spielerfigur den Ball zurückzuschlagen.
 - Dazu muss im worst-case die Stange in Rotationsrichtung mit dem Spieler ausholen und dann so zurückkickern, dass der Ball mit maximaler Geschwindigkeit in nun entgegengesetzter Richtung den eigenen Spieler verlässt.
- Alle Bewegungen werden in erster Näherung als gleichmäßig beschleunigt angenommen.
- Ein auftretender Winkelbeschleunigungsverlaufwechsel sei über der Zeit stetig differenzierbar. D.h. der Verlauf des Rucks (Ableitung der Winkelbeschleunigung) sollte stetig sein.

Grundgrößen:

Größe		Wert/Beziehung	
$v_{ballmax}$	m/s	12	Maximal auftretende Ballgeschwindigkeit
s_{max}	m	0,35	Stangenabstand
d	m	0,016	Durchmesser der Stange
J_{stange}	$kg\ m^2$	$= m_{stange}/8 * d^2$	Massenträgheitsmoment Stange
J_{motrot}	$kg\ m^2$		Massenträgheitsmoment Motor der Rotationsachse
J	$kg\ m^2$	$J_{stange} + J_{motrot}$	Summe der Massenträgheitsmomente um Rotationsachse
r	m	0,070	Abstand Fuss des Spielers zur Stangendrehachse
v_{ist}	m/s		tatsächliche Ballgeschwindigkeit zum Zeitpunkt t
t	s		Zeit
t_0	s		Abschlagszeitpunkt
α	rad / s^2	$= M_{rot}/J$	Winkelbeschleunigung der Stange
ω	rad/s	$= \alpha * t$	Winkelgeschwindigkeit der Stange
φ	rad	$= 1/2 * \alpha * t^2$	Auslenkungswinkel der Stange 0 Spieler in Ruhestellung, Füße nach unten $\pi/2$ Füße waagrecht nach hinten, zum ausholen
M_{rot}	Nm		Drehmoment des Motors
m_{stange}	kg	2	Masse der Stange

Nebenrechnung:

$$t = \sqrt{\frac{2 * \varphi}{\alpha}} = \sqrt{\frac{2 * J * \varphi}{M_{rot}}}$$

- minimale Zeit bis zum Abschlag des Balls:

$$(a) t_{ball} = \frac{s_{max}}{v_{ball\ max}}$$

- diese minimale Zeit t_{ball} steht zur Verfügung um mit dem Spieler so auszuholen und zu schlagen, dass zu diesem Zeitpunkt des Schusses die Bahngeschwindigkeit des Fusses des Spielers die maximale Ballgeschwindigkeit $v_{ball\ max}$ besitzt und der Fuss des Spielers bei 0 [rad] Auslenkung in diesem Zeitpunkt den Ball trifft.

- Ausholen und schlagen bedeutet:

- (b) Spieler nach hinten bis zur Auslenkung $\varphi_a/2$ beschleunigen und
- (c) Spieler von $\varphi_a/2$ bis Auslenkung φ_a auf Winkelgeschwindigkeit $\omega=0$ abbremsen danach
- (d) Spieler von φ_a auf 0 [rad] drehend so beschleunigen, dass bei 0 [rad] der Fuss des Spielers die Bahngeschwindigkeit $v_{ball\ max}$ besitzt.

$$(b) \quad (c) \quad t_1 = \sqrt{\frac{2 * J * (\varphi_a / 2)}{M_{rot}}}$$

$$(d) \quad t_2 = \sqrt{\frac{2 * J * \varphi_a}{M_{rot}}}$$

$$(e) \quad t_{ball} = \frac{s_{max}}{v_{ball\ max}} = 2 * t_1 + t_2 = 2 * \sqrt{\frac{J * \varphi_a}{M_{rot}}} + \sqrt{\frac{2 * J * \varphi_a}{M_{rot}}}$$

$$(f) \quad v_{ball\ max} = \omega_{ball\ max} * r = \alpha * t_{ball} * r = \frac{M_{rot} * t_{ball} * r}{J}$$

$$(a) \text{ und } (f) \quad t_{ball} = \frac{s_{max}}{v_{ball\ max}} = \frac{v_{ball\ max} * J}{M_{rot} * r}$$

$$(g) \text{ aufgelöst nach: } M_{rot} = \frac{v_{ball\ max}^2 * J}{s_{max} * r}$$

$$\varphi_a = \frac{s_{max}}{r * (6 + 4\sqrt{2})} \quad (e) \text{ nach } \varphi_a \text{ aufgelöst mit } (g) \text{ eingesetzt ergibt:}$$

Nebenrechnung dazu:

$$\frac{s_{max}}{v_{ball\ max}} = 2 * \sqrt{\frac{J * \varphi_a}{M_{rot}}} + \sqrt{\frac{2 * J * \varphi_a}{M_{rot}}} = \frac{(2 * \sqrt{J} + \sqrt{2 * J}) * \sqrt{\varphi_a}}{\sqrt{M_{rot}}}$$

$$\frac{s_{\max}^2}{v_{ball\max}^2} = \frac{(2 * \sqrt{J} + \sqrt{2 * J})^2 * \varphi_a}{M_{rot}} = \frac{(6 + 4\sqrt{2}) * J * \varphi_a}{M_{rot}}$$

$$\varphi_a = \frac{M_{rot} * s_{\max}^2}{(6 + 4\sqrt{2}) * J * v_{ball\max}^2} = \frac{s_{\max}}{r * (6 + 4\sqrt{2})} \quad (\text{g) eingesetzt für } M_{rot}$$

Beispielrechnung mit Werten:

Tischkickerstange angetrieben durch Synchromotor für Rotation der Stange

Winkelgeschwindigkeit [rad/s] nach tball	2,617993878
Winkelbeschleunigung [ras/s^2] = const	1,22448980E+04
Masse Stange [kg]	2
Durchmesser Stange [mm]	16
Massenträgheitmoment Stange [kg*m^2]	6,40000000E-05
Massenträgheitmoment Motor [kg*m^2]	1,20000000E-04
Maximale Schlaggeschwindigkeit = Max Ballgeschw. beim Abschlag [m/s]	12
Drehmoment soll Motor [N*m]	2,253061224
Abstand Fuss des Spielers zur Drehachse in [mm]	80
Abstand zweier Stangen [mm]	147
Zeit bei max. Ballgeschwindigkeit zwischen 2 Stangen [s]	0,01225000
Auslenkung Winkel phi in [winkelgrad]	9,031681498
erforderliches Drehmoment M um vballmax rechtzeitig zu erreichen [N*m]	2,253061224