

## 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 Spielfigur 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   |
| $\alpha$      | $rad / s^2$ | $= M_{rot}/J$             | Winkelbeschleunigung der Stange  |
| $\omega$      | rad/s       | $= \alpha * t$            | Winkelgeschwindigkeit der Stange   |
| $\varphi$     | 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  $\varphi_a$  auf Winkelgeschwindigkeit  $\omega=0$  abbremsen danach
- (d) Spieler von  $\varphi_a$  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                |
| <b>Zeit bei max. Ballgeschwindigkeit zwischen 2 Stangen [s]</b>               | <b>0,01225000</b>  |
| <b>Auslenkung Winkel phi in [winkelgrad]</b>                                  | <b>9,031681498</b> |
| <b>erforderliches Drehmoment M um vballmax rechtzeitig zu erreichen [N*m]</b> | <b>2,253061224</b> |