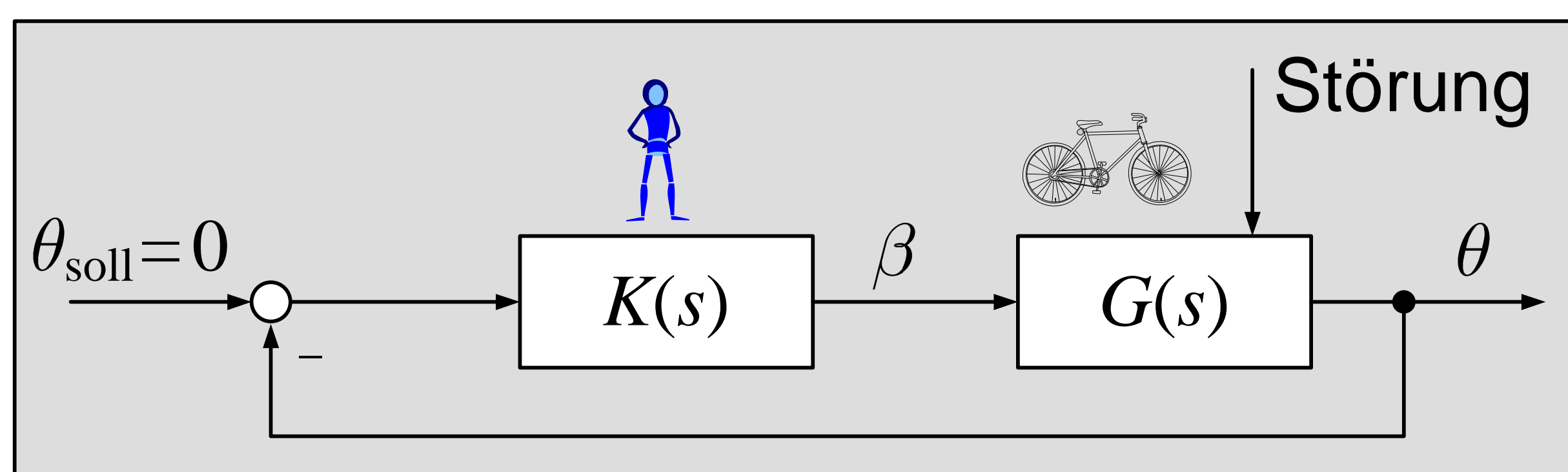
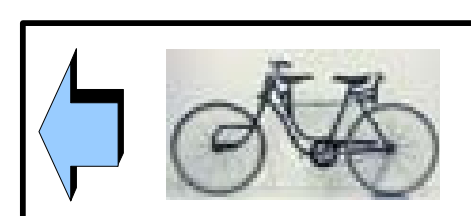


Experimentierfahrrad



Das Balancieren des Fahrrades ist eine Regelungsaufgabe, bei der der Kippwinkel  $\theta(t)$  durch Veränderung des Lenkwinkels  $\beta(t)$  auf dem Sollwert  $\theta_{\text{soll}} = 0$  gehalten werden soll. Dabei wird durch den Regler  $K(s)$  (Mensch) die instabile Regelstrecke (Fahrrad) stabilisiert.

## Vorderradlenkung



$$G(s) = \frac{\theta(s)}{\beta(s)} = \frac{\frac{mahv_0}{bJ_P} s + \frac{mhv_0^2}{bJ_P}}{s^2 - \frac{mgh}{J_P}}$$

Die Regelstrecke ist minimalphasig.

Das Fahrrad wird durch die proportionale Rückführung

$$\beta(t) = k_p \theta(t)$$

stabilisiert, wenn gilt

$$k_p > \frac{bg}{v_0^2}$$

Parameter:

- $v_0$  = Geschwindigkeit
- $J_P$  = Trägheitsmoment
- $m$  = Masse
- $g$  = Erdbeschleunigung

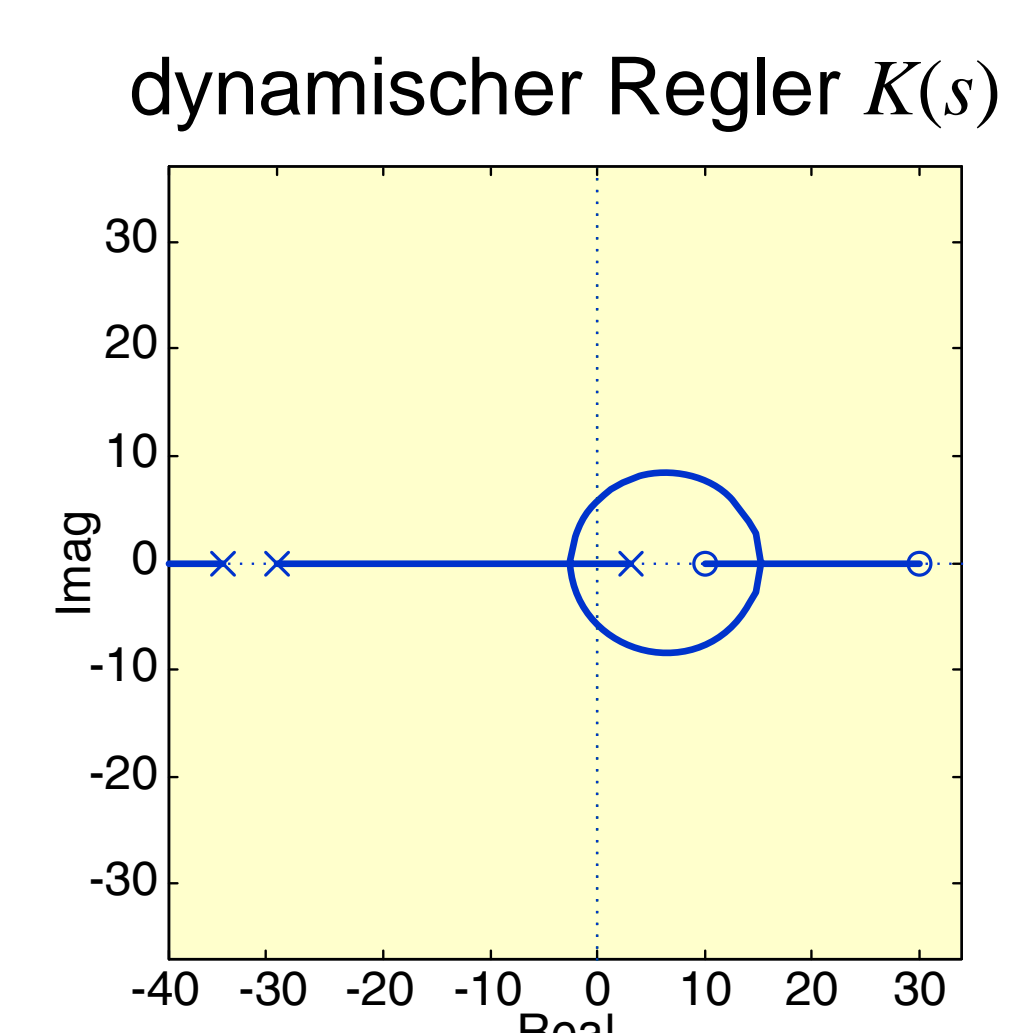
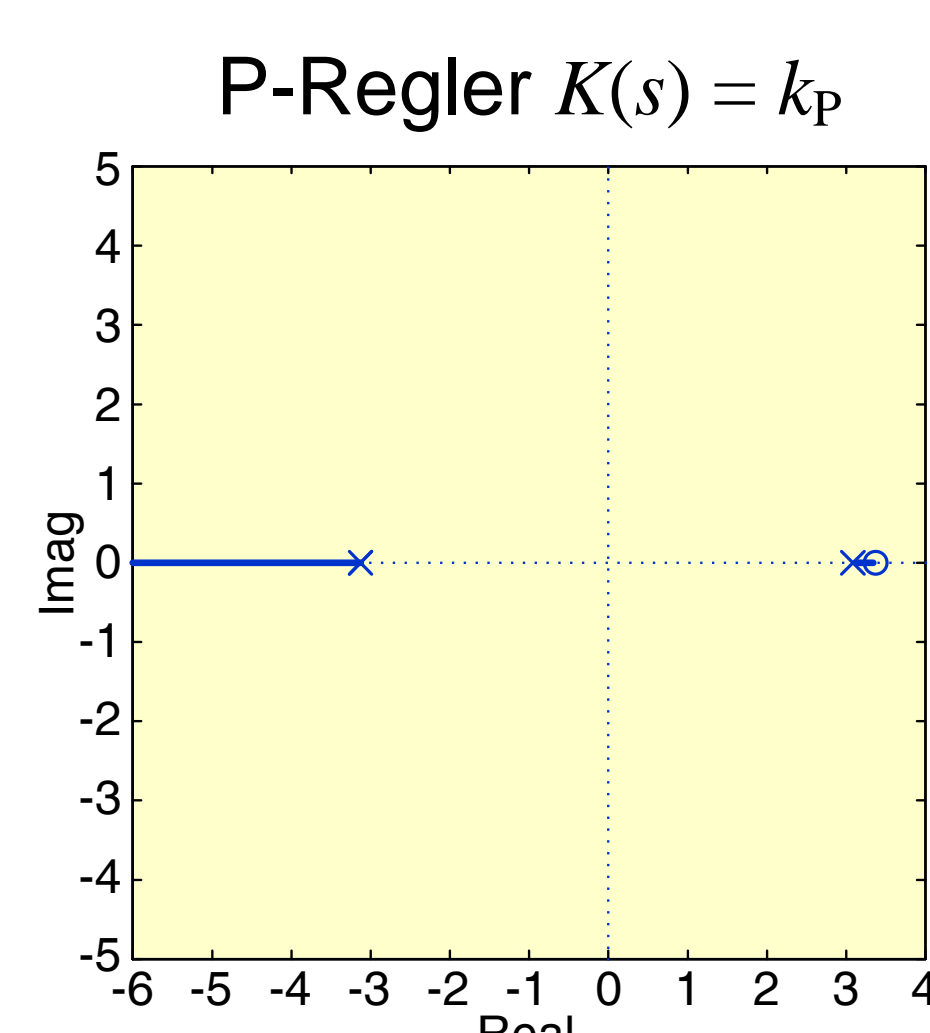
## Hinterradlenkung



$$G(s) = \frac{\theta(s)}{\beta(s)} = \frac{\frac{mahv_0}{bJ_P} s - \frac{mhv_0^2}{bJ_P}}{s^2 - \frac{mgh}{J_P}}$$

Die Regelstrecke ist nicht minimalphasig mit der positiven Nullstelle  $s_0 = \frac{v_0}{a}$ .

Das Fahrrad kann nicht durch eine proportionale Rückführung  $K(s) = k_p$  stabilisiert werden.



Wenn die Nullstelle sehr weit vom instabilen Pol entfernt liegt ( $a = 0,2 \text{ m}$ ), ist die Stabilisierung durch einen dynamischen Regler möglich, z.B.:

$$K(s) = \frac{(s - 3s_0)(s + 3)}{(s + 30)(s + 35)}$$