



Einführung in die Robotik

Vorlesung 8

08 Januar 2008

Dr. Mohamed Oubbati
Institut für Neuroinformatik

WS 2007/2008

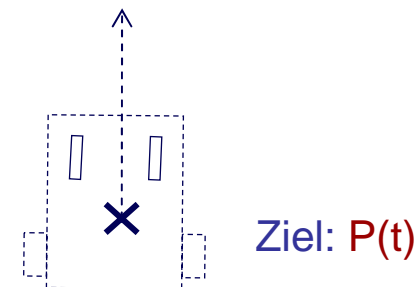
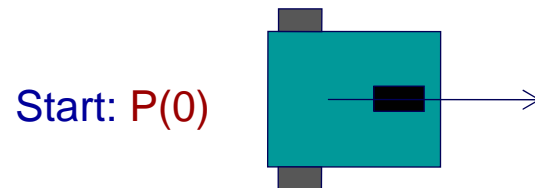
Wiederholung vom letzten Mal !

Rückwärtskinematik

If I want this to happen, what should I do?

Gegeben: start und ziel Positionen: $P(0) = [0,0,0]$, $P(t) = [x(t),y(t),\theta(t)]$

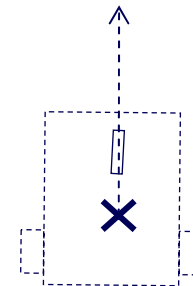
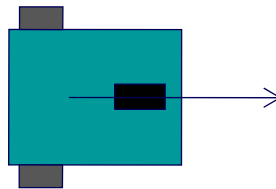
Aufgabe: Finde Steuersequenz $V=[v_r, v_l]$, die die Positionsänderung $P(0) \rightarrow P(t)$ realisieren.



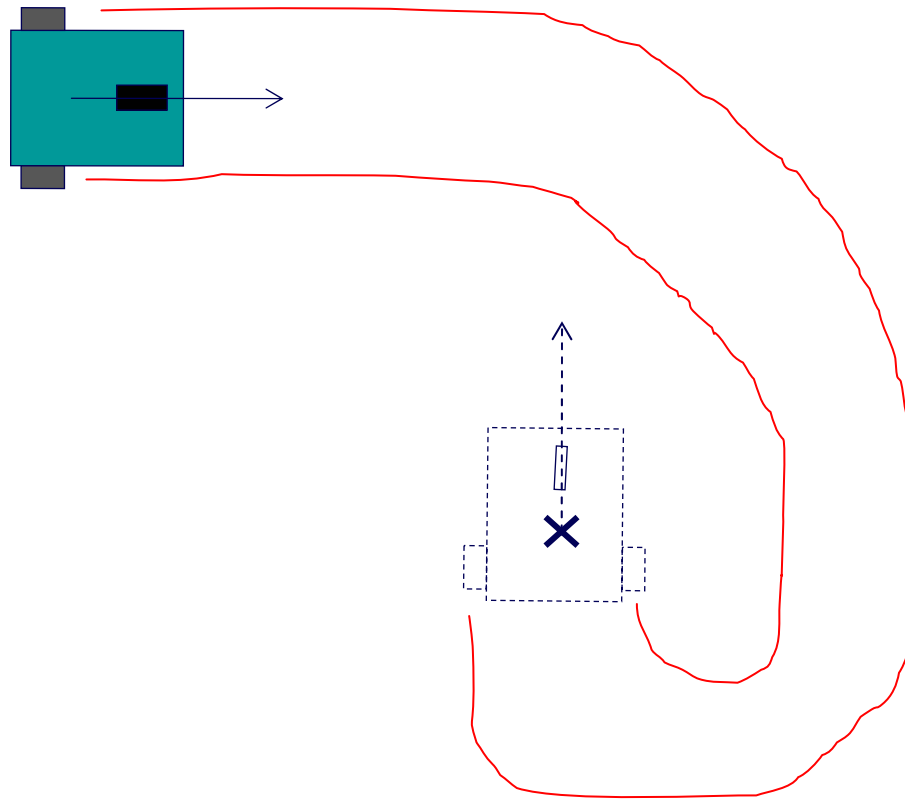
Ziel: $P(t)$

Lösung

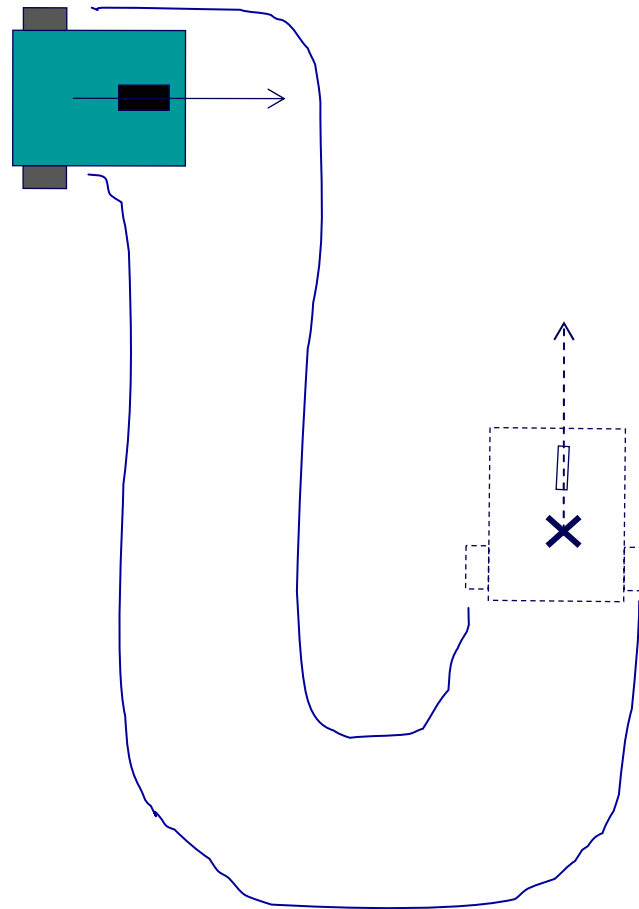
Es gibt mehrere Lösungen!



Beispiel 1



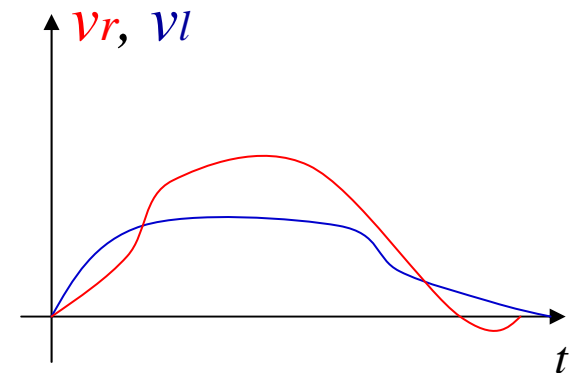
Beispiel 2



Eine Lösung zu finden ist nicht ein Problem, aber die beste zu finden...

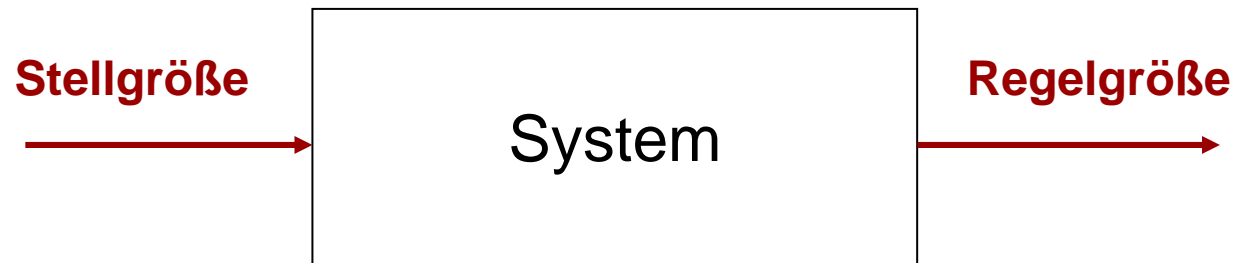
Es hängt von der Definition „beste“ ab:

- schnell
- Energie effizient
- smoothest velocity



Was ist Regelung?

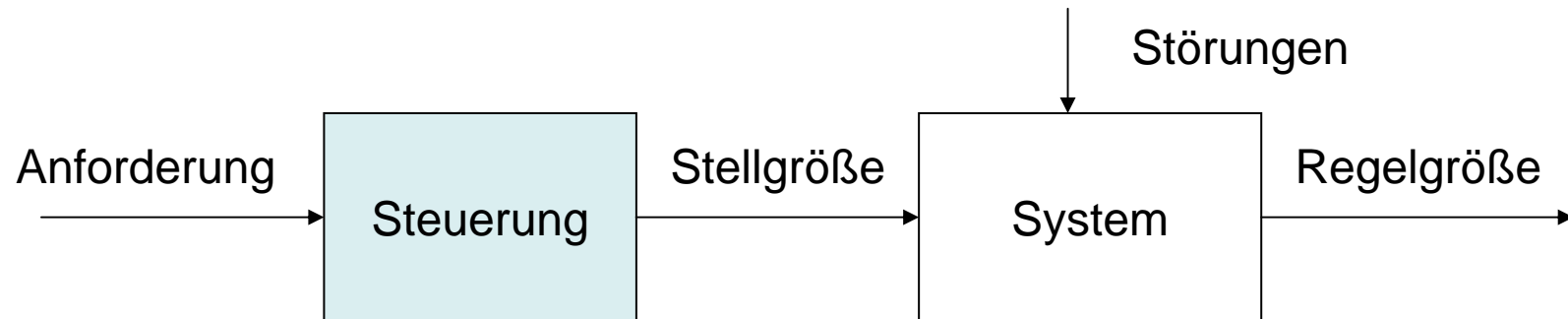
Regelung ist eine gezielte Beeinflussung (Stellgröße) dynamischer Systeme, so dass eine gewünschte Betriebsart (Regelgröße) eingestellt wird.



Unterschied Steuerung - Regelung

Steuerung (open loop control)

Die Steuerung wirkt auf das Eingangssignal und beeinflusst damit das Ausgangssignal.



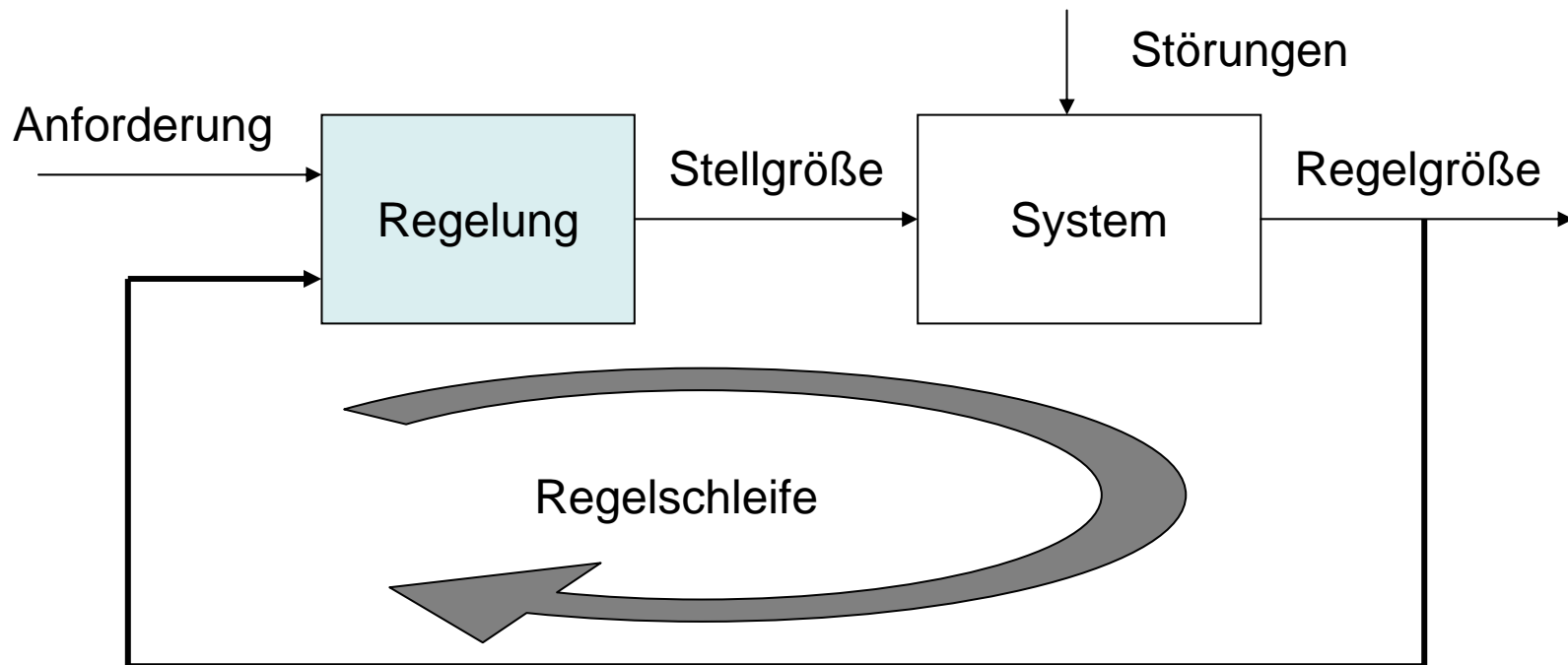
Problem

Die Steuerung **“weiß” nicht**, ob die Regelgröße den gewünschten Wert hat!

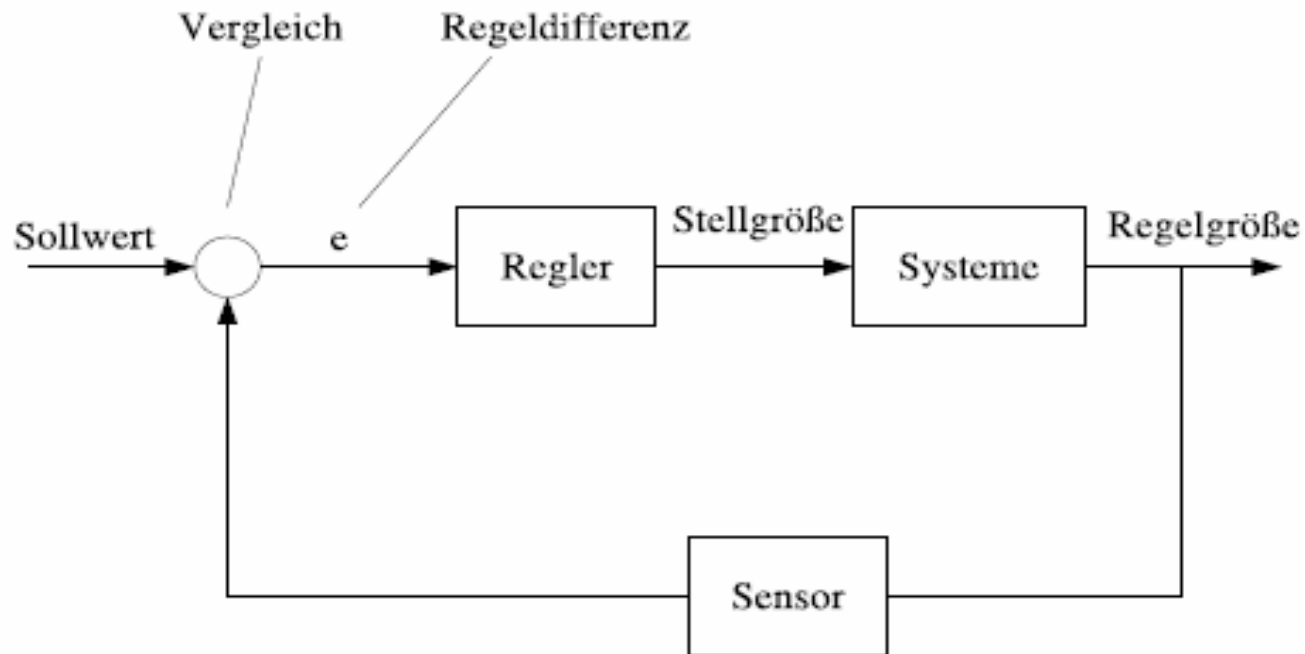
Unterschied Steuerung - Regelung

Regelung (closed loop control)

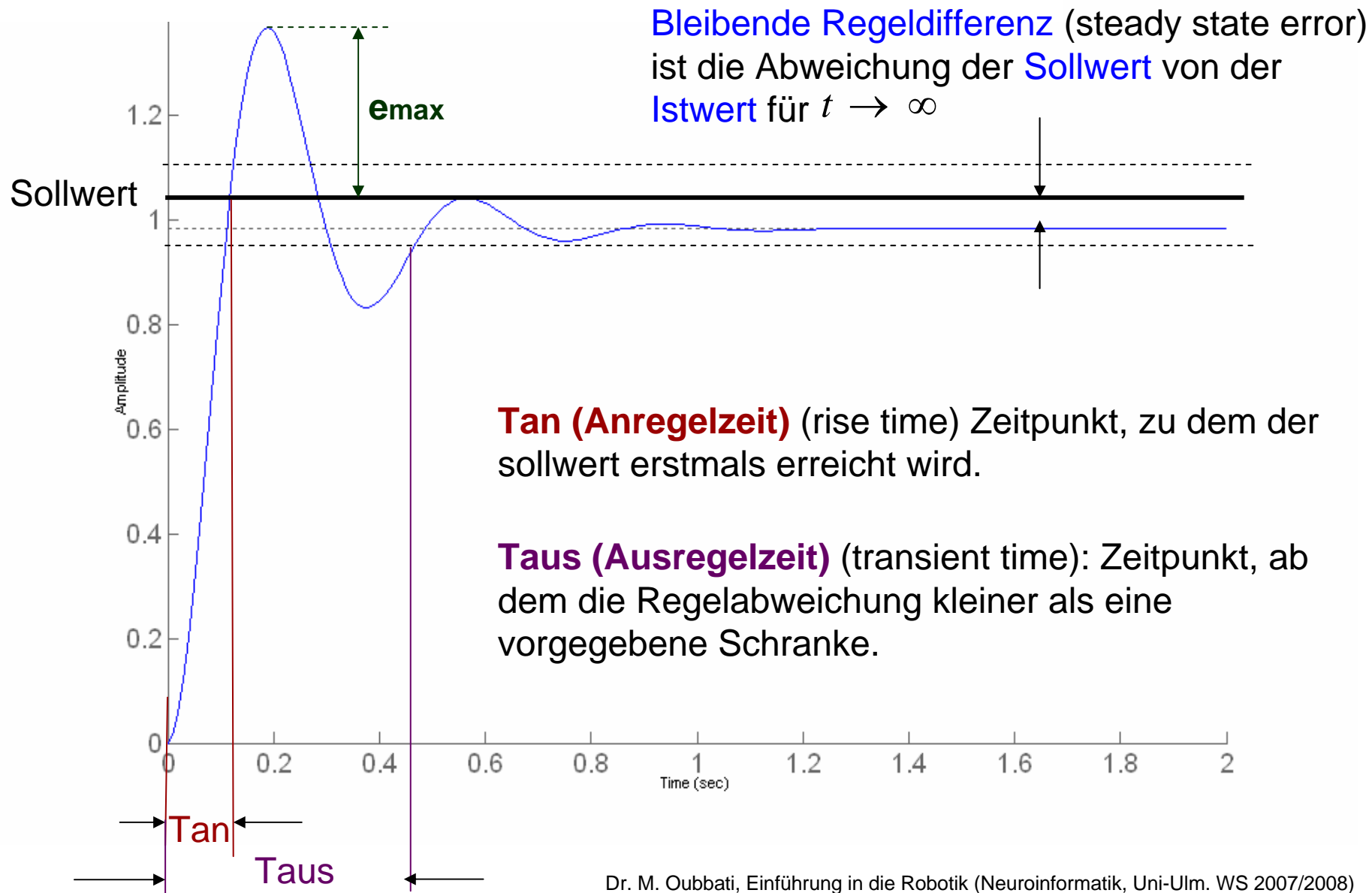
Die Regelung wirkt auch auf das Eingangssignal um das Ausgangssignal zu beeinflussen, aber in diesem Vorgehen "weiß" man, ob das Ausgangssignal die gewünschte Wert hat.



Grundsätzlicher Aufbau von Regelkreisen



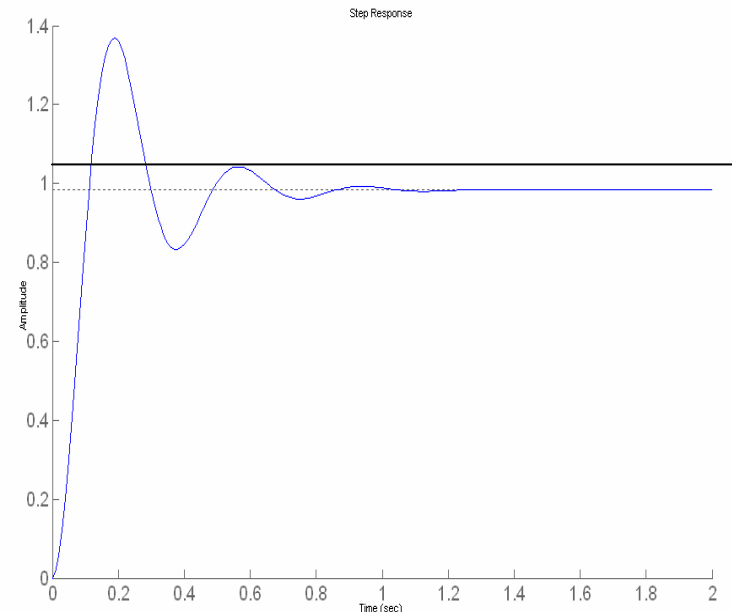
e_{max} (Maximale Überschwingweite) (overshoot) gibt die maximale Regelabweichung an, die nach dem erstmaligen Erreichen des Sollwertes auftritt.



Allgemeine Anforderungen an einen Regelkreis

An eine Regelung werden vier Anforderungen gestellt:

- Kleine bleibende Regeldifferenz.
- geringes Überschwingen.
- Kleine Anregelzeit.
- Kleine Ausregelzeit.

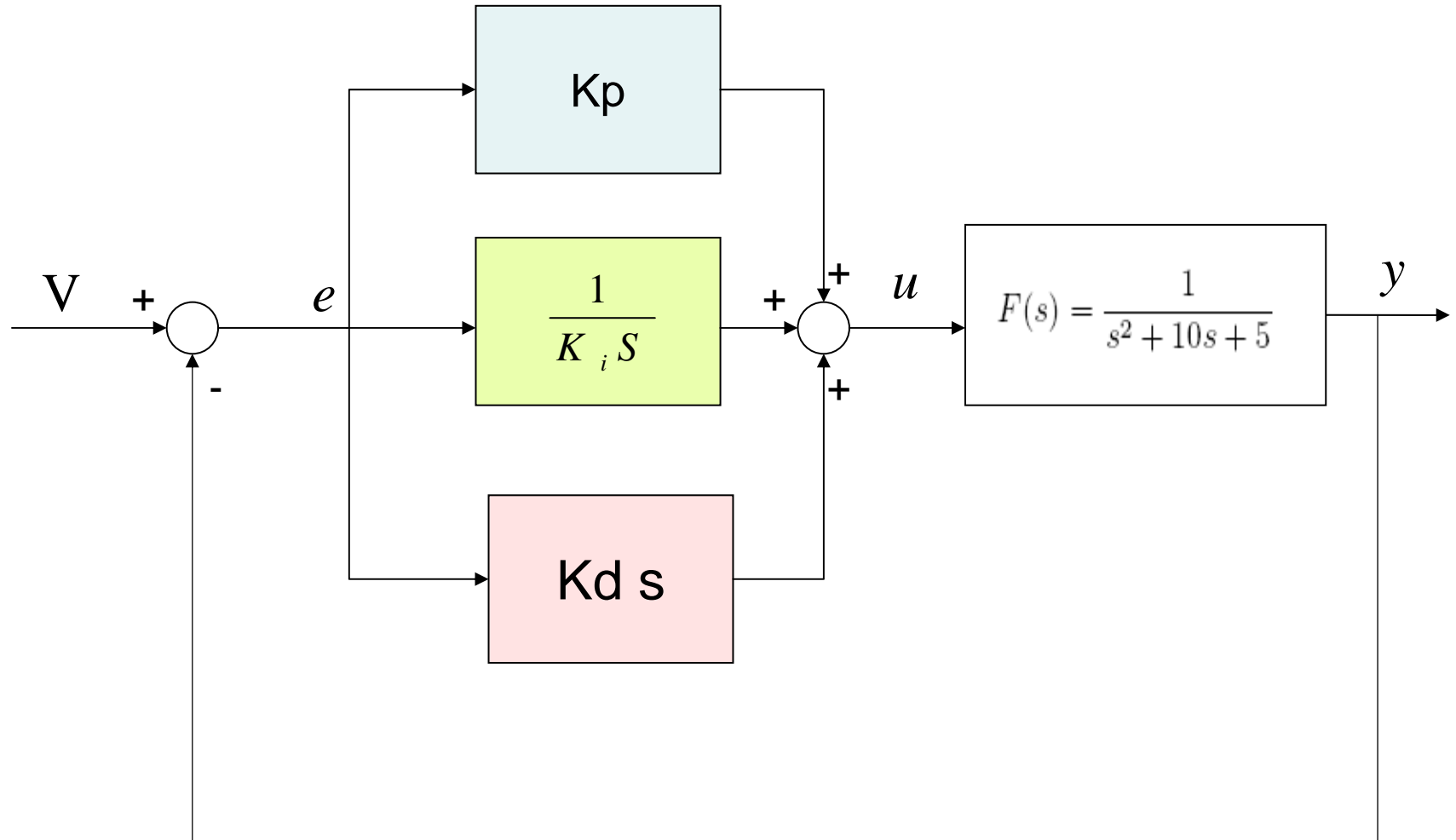


PID-Regler

PID-Regler besteht aus folgenden Anteilen:

- Proportionalen Anteil (**P-Regler**)
- Integralen Anteil (**I-Regler**)
- Differentialen Anteil (**D-Regler**)

PID-Regler



PID-Regler

Regler	Anregelzeit	Überschwinger	Ausregelzeit	Regelabweichung
K_p	sinkt	wächst	geringe Änderung	sinkt
K_I	sinkt	wächst	wächst	0
K_D	geringe Änderung	sinkt	sinkt	geringe Änderung

Heutiges Thema:

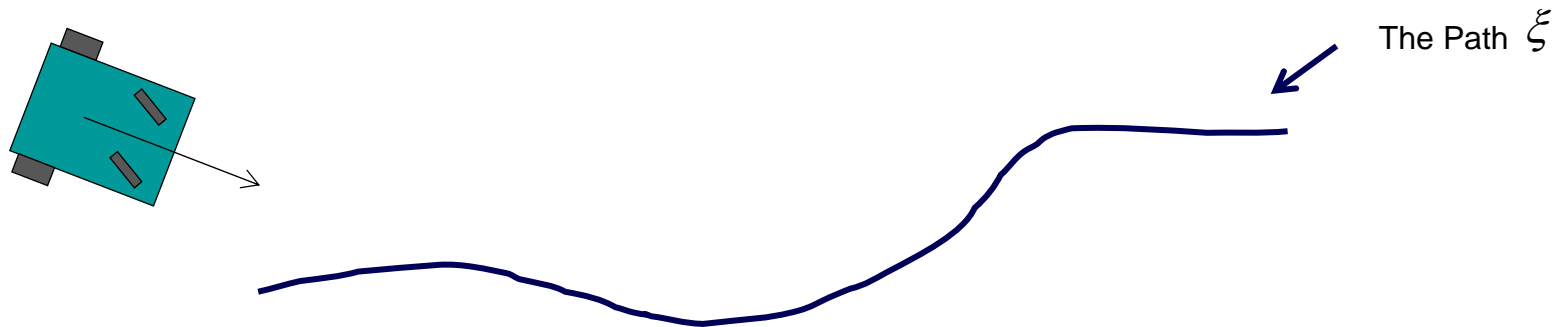
Bewegungsregelung

Motion Control has three basic problems:

➔ **Path following**

- Tracking
- Point stabilization

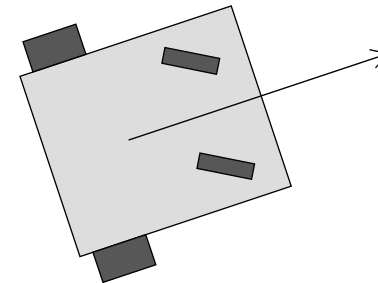
Find a smooth control input in the mobile robot, to minimise the distance between the mobile robot and the path ξ



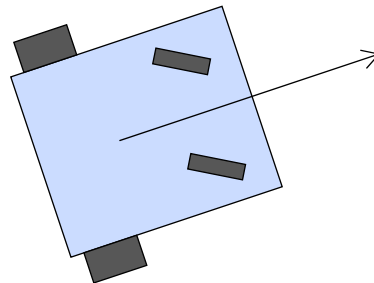
Motion Control has three basic problems:

- Path following
- ▪ **Tracking**
- Point stabilization

reference (robot,
object,...)



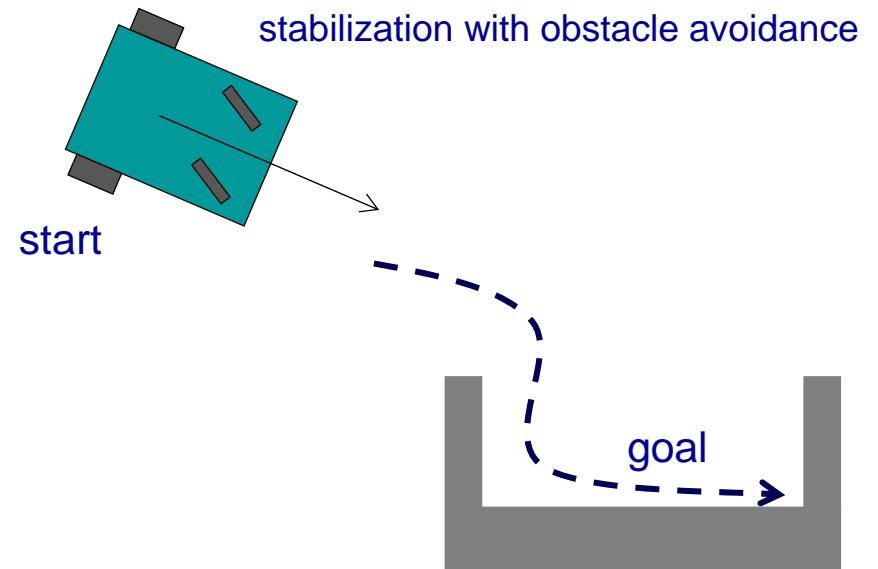
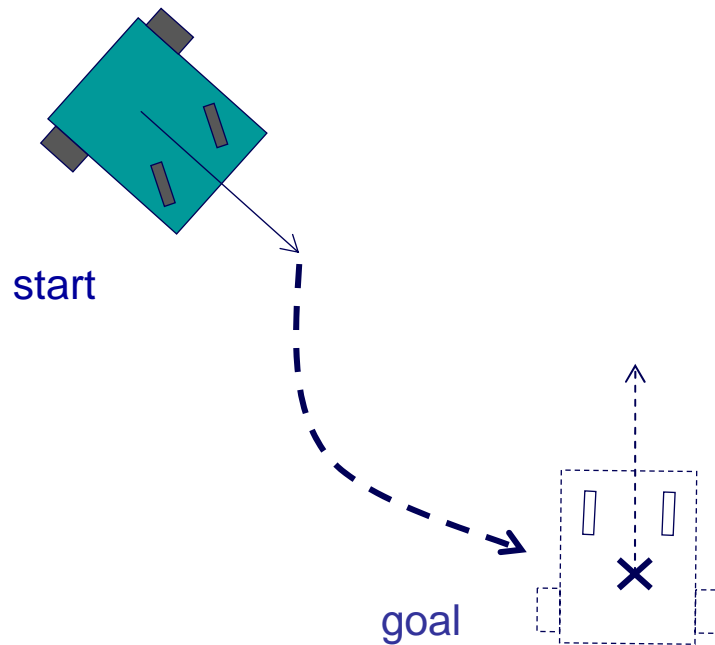
actual robot



Motion Control has three basic problems:

- Tracking
- Path following

➔ ▪ **Point stabilization**



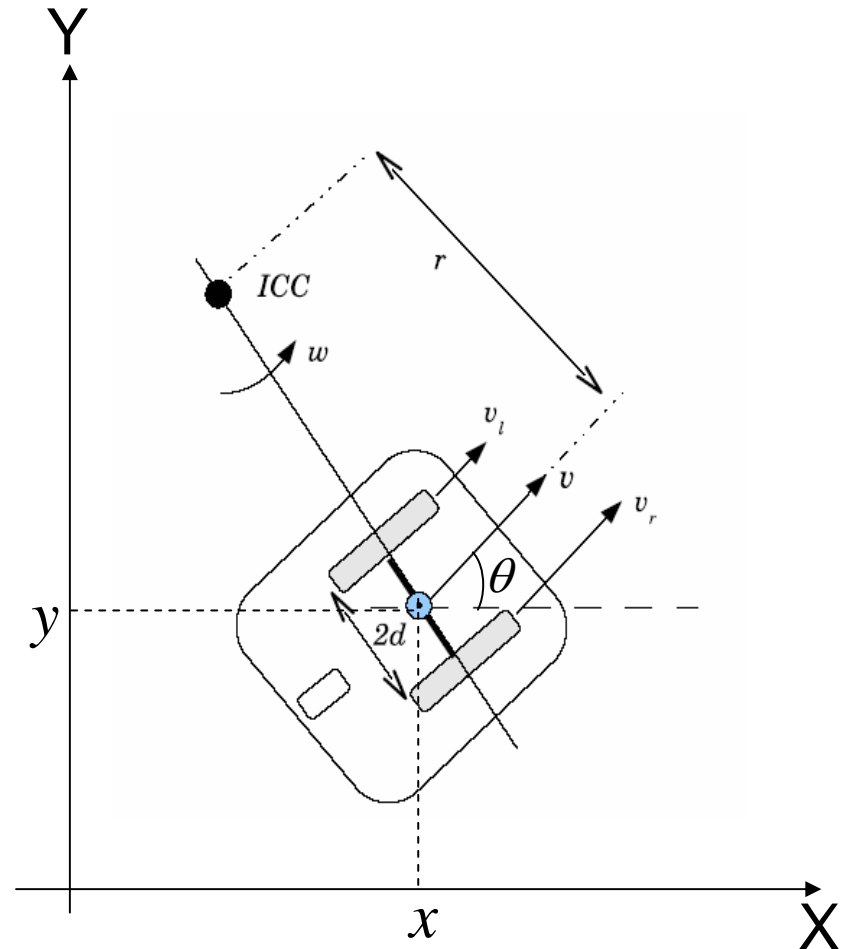
Positionsregelung (Kinematics Control)

robot pose: **Position + Orientierung**
des Roboters zu einem Zeitpunkt t .

Kinematik Model

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix}$$

Das Problem zu lösen ist, welche Werte die **Translationsgeschwindigkeiten** v und die **Rotationsgeschwindigkeit** ω annehmen müssen, damit der Roboter eine **bestimmte Pose erreichen kann**.

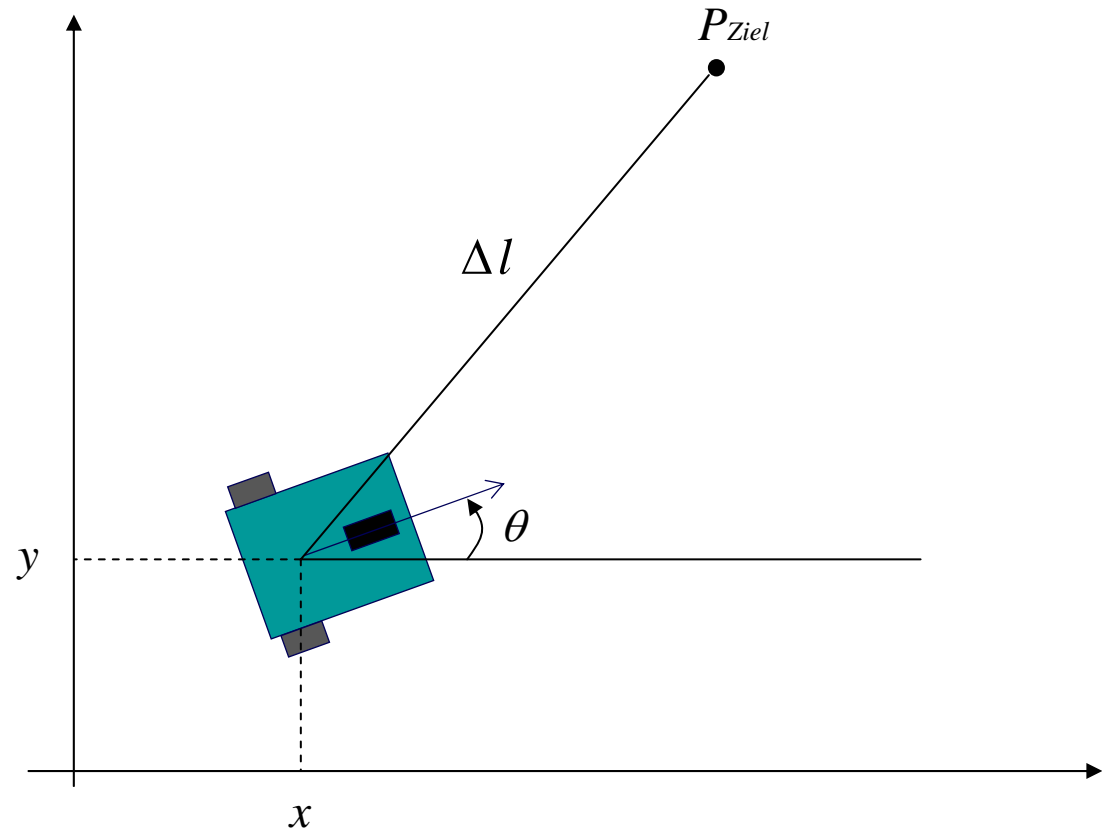


→ Dafür existiert aber **kein allgemeines Verfahren**.

Point stabilization

Kinematik Model

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix}$$



Problem: Find a control law so that: $\Delta l \rightarrow 0$

→ This is not trivial since the l variable do not appear in the kinematics model
(**Nonholonomic constraint**)

Point stabilization

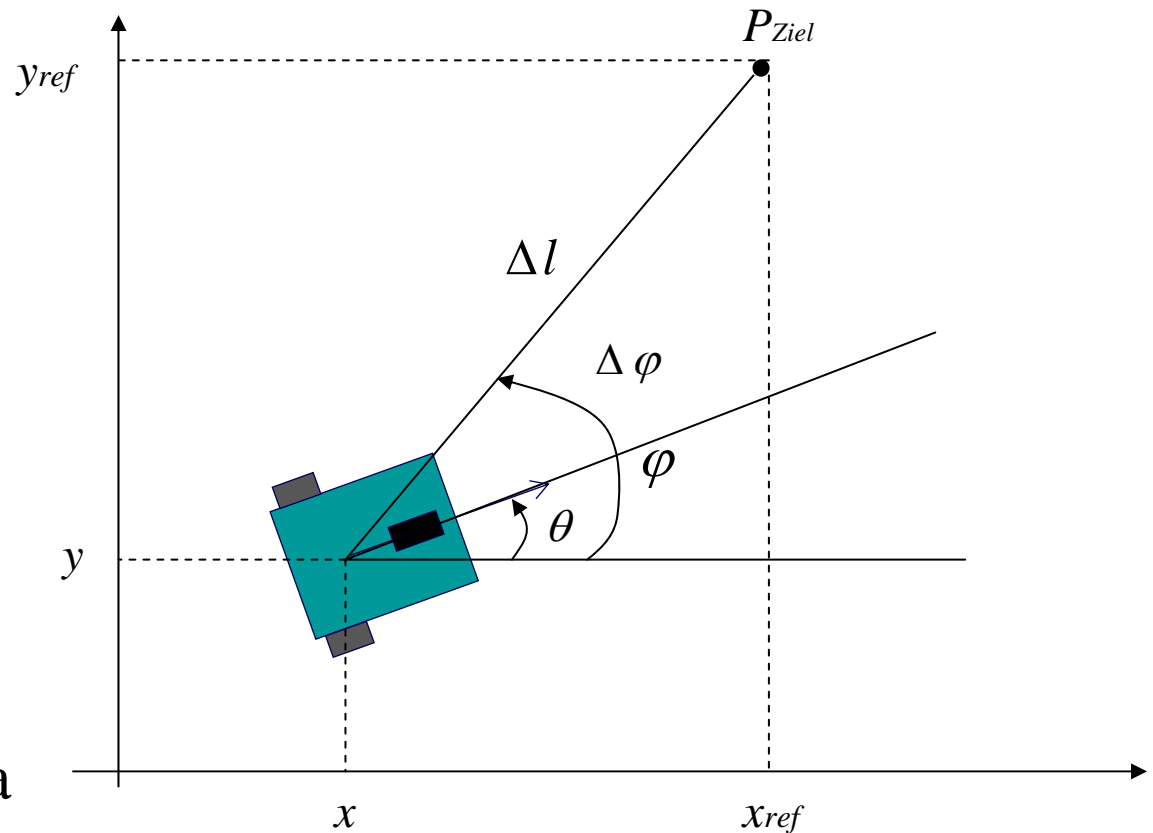
Kinematik Model

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix}$$

To overcome this problem, we can define a new variable $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi = \varphi - \theta$$

$$\Delta\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{y_{ref} - y}{x_{ref} - x}\right) - \theta$$



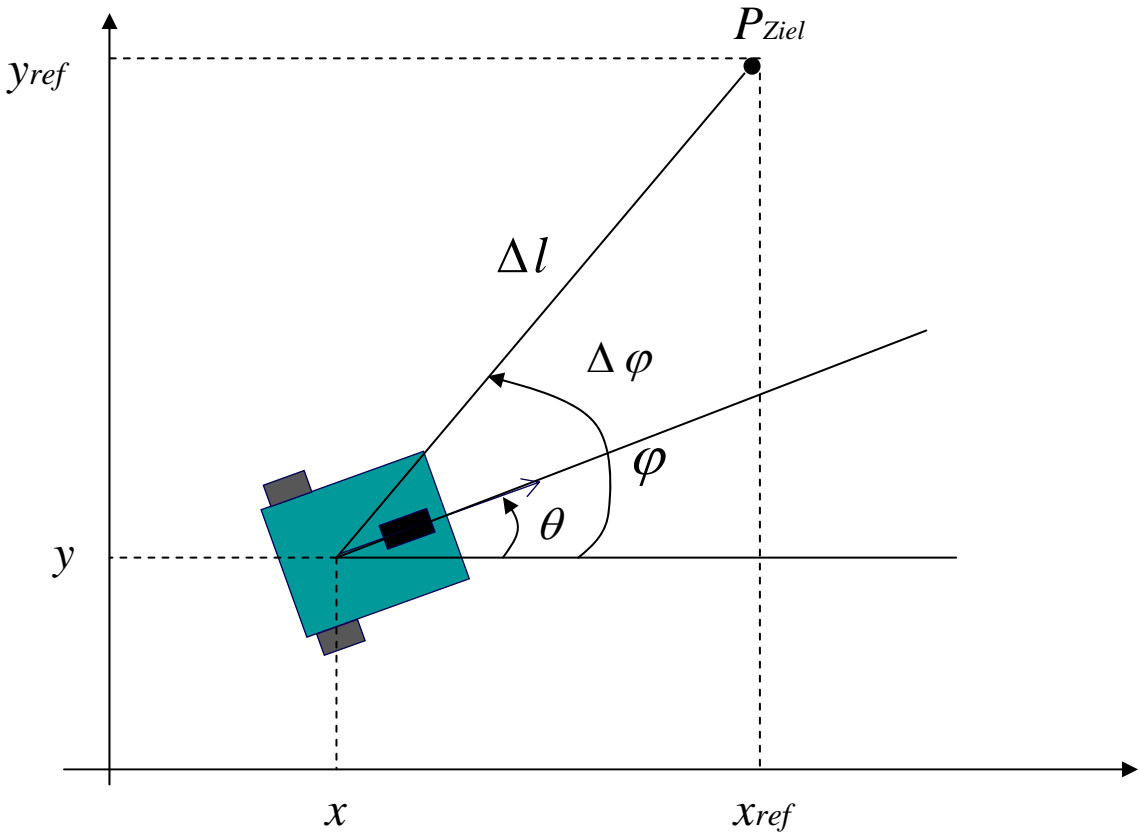
Point stabilization

Kinematik Model

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix}$$

Wenn θ Zeitvariant ist, das Kinematik-Model ist Nichtlinear \rightarrow Braucht man einen nichtlinearen Kontroller um das Problem zu lösen.

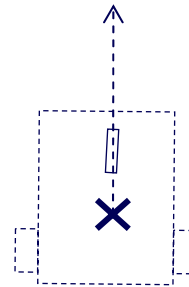
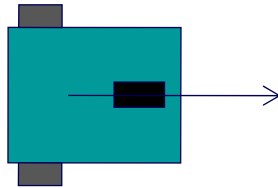
$$\Delta \varphi \rightarrow 0 \quad \Delta l \rightarrow 0$$



Die Tafel !

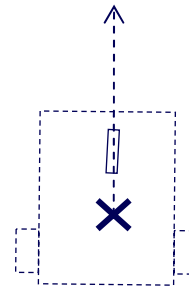
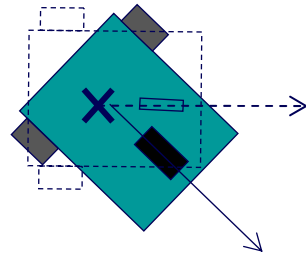
Point stabilization

Lösung 1: die Position Δl und die Orientierung $\Delta\varphi$ werden **getrennt** und **nicht gleichzeitig** geregelt.



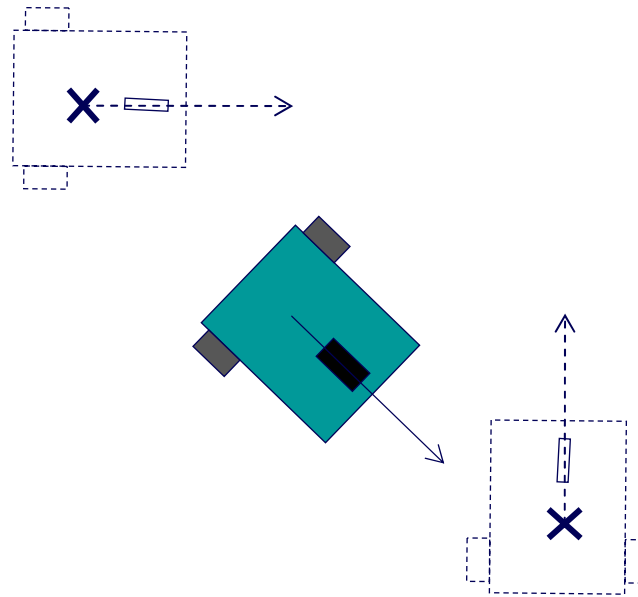
Point stabilization

Lösung 1: die Position Δl und die Orientierung $\Delta\varphi$ werden **getrennt** und **nicht gleichzeitig** geregelt.



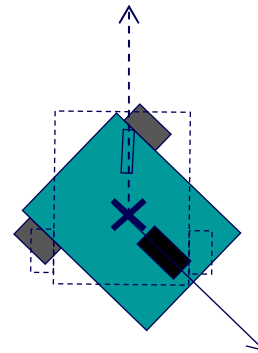
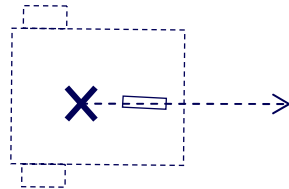
Point stabilization

Lösung 1: die Position Δl und die Orientierung $\Delta \varphi$ werden **getrennt** und **nicht gleichzeitig** geregelt.



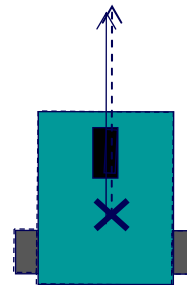
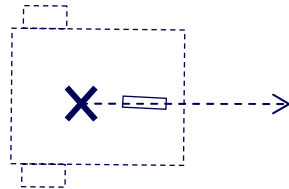
Point stabilization

Lösung 1: die Position Δl und die Orientierung $\Delta \varphi$ werden **getrennt** und **nicht gleichzeitig** geregelt.



Point stabilization

Lösung 1: die Position Δl und die Orientierung $\Delta \varphi$ werden **getrennt** und **nicht gleichzeitig** geregelt.



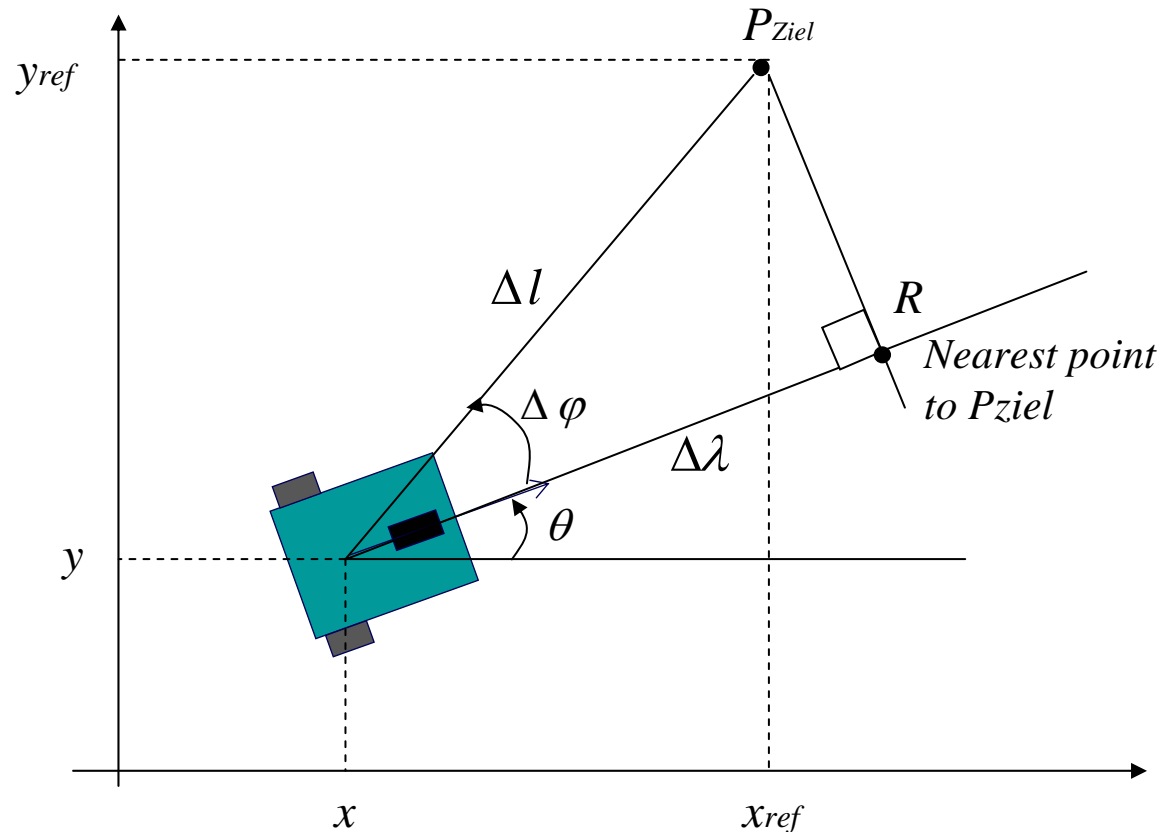
Point stabilization

Lösung 2: die Position Δl und die Orientierung $\Delta \varphi$ werden **getrennt** aber **gleichzeitig** geregelt.

$$\Delta l = \frac{\Delta \lambda}{\cos \Delta \varphi}$$

If $\Delta \varphi \rightarrow 0$ and $\Delta \lambda \rightarrow 0$

then $\Delta l \rightarrow 0$



Point stabilization

Lösung 2: die Position Δl und die Orientierung $\Delta \varphi$ werden **getrennt** aber **gleichzeitig** geregelt.

$$e_\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y_{ref} - y}{x_{ref} - x}\right) - \theta$$

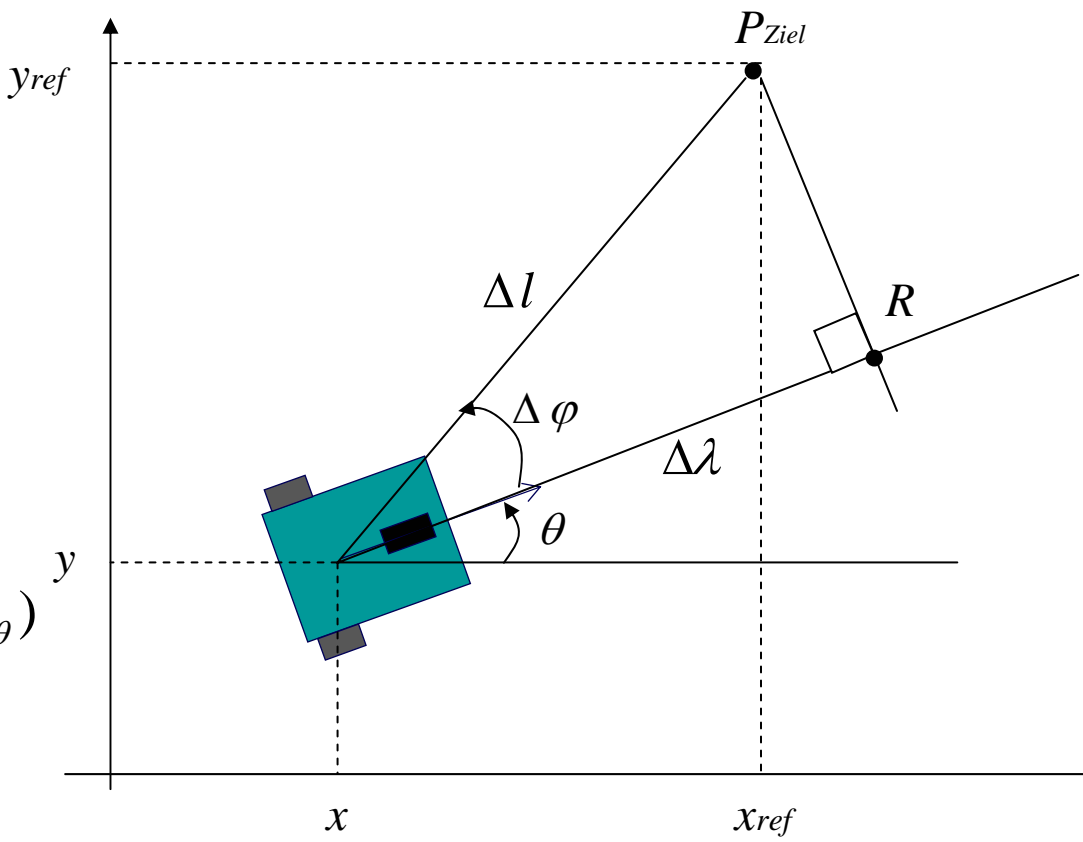
$$e_p = \sqrt{(x_{ref} - x)^2 + (y_{ref} - y)^2} \cos(e_\theta)$$

if $e_p \rightarrow 0 \quad e_\theta \rightarrow 0$

then $\Delta l \rightarrow 0$

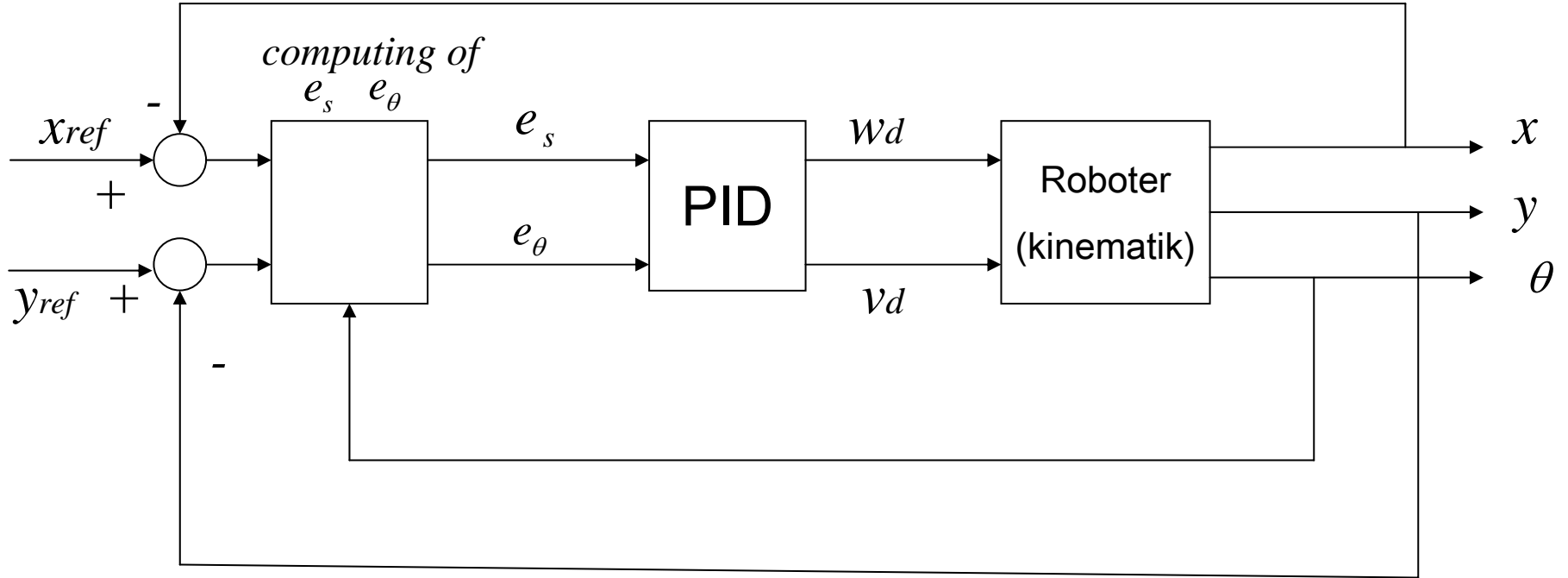
This could be reached by a PID controller.

Die Tafel!

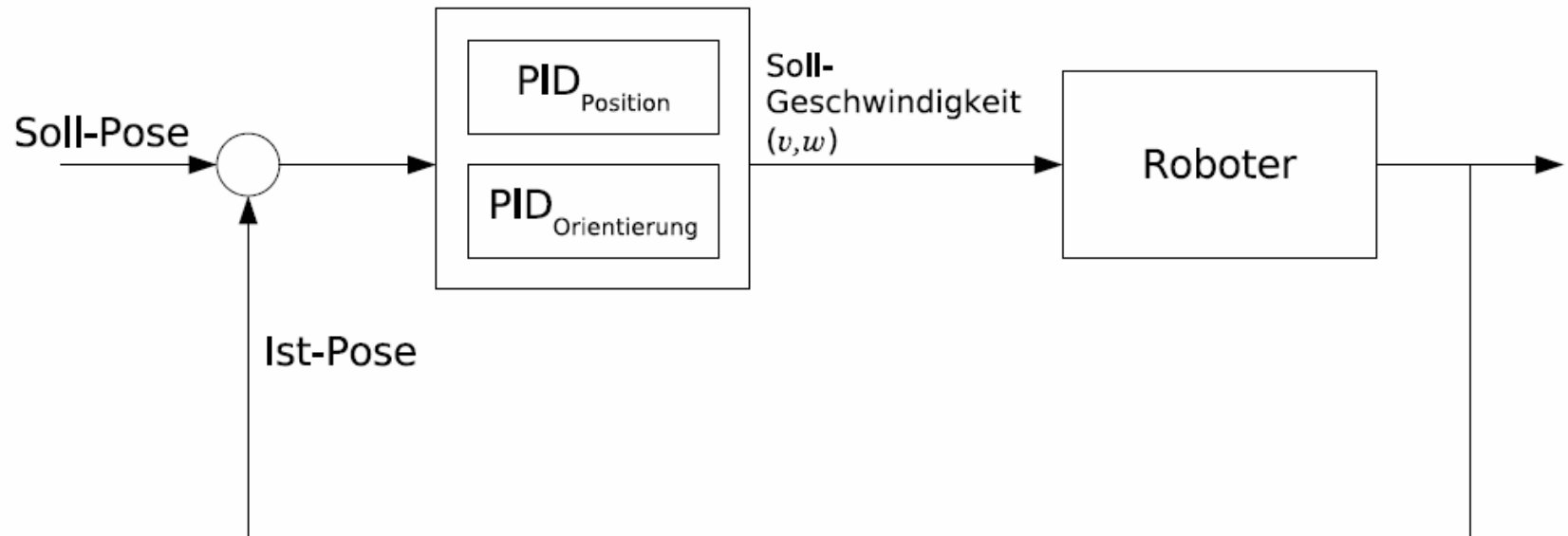


Point stabilization

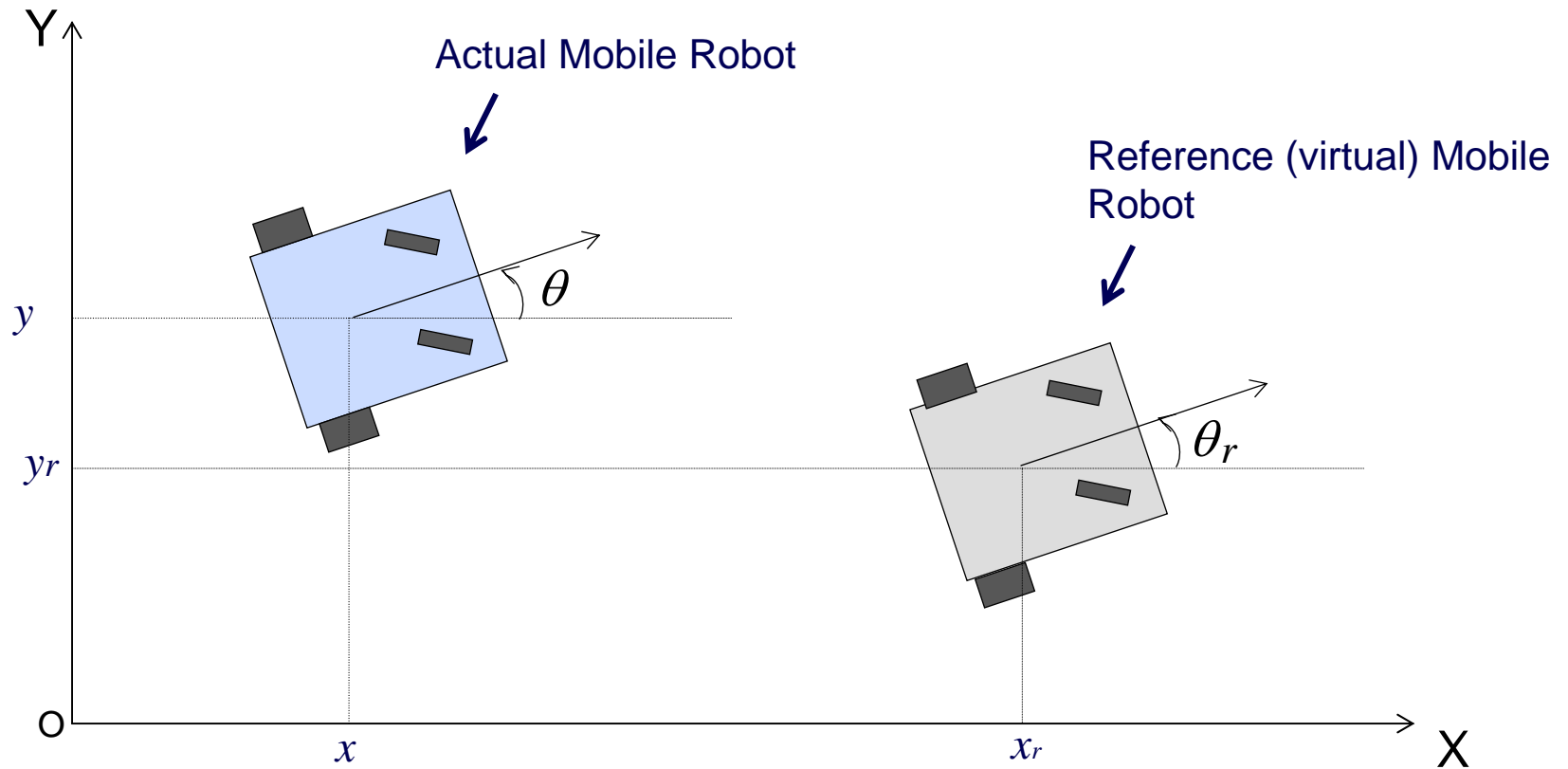
Die gesamte Positionsregelung



Positionierung mit PID-Regler



Tracking



Objective: $\lim_{t \rightarrow \infty} |x(t) - x_r(t)| = 0$, $\lim_{t \rightarrow \infty} |y(t) - y_r(t)| = 0$ and $\lim_{t \rightarrow \infty} |\theta(t) - \theta_r(t)| = 0$

Tracking

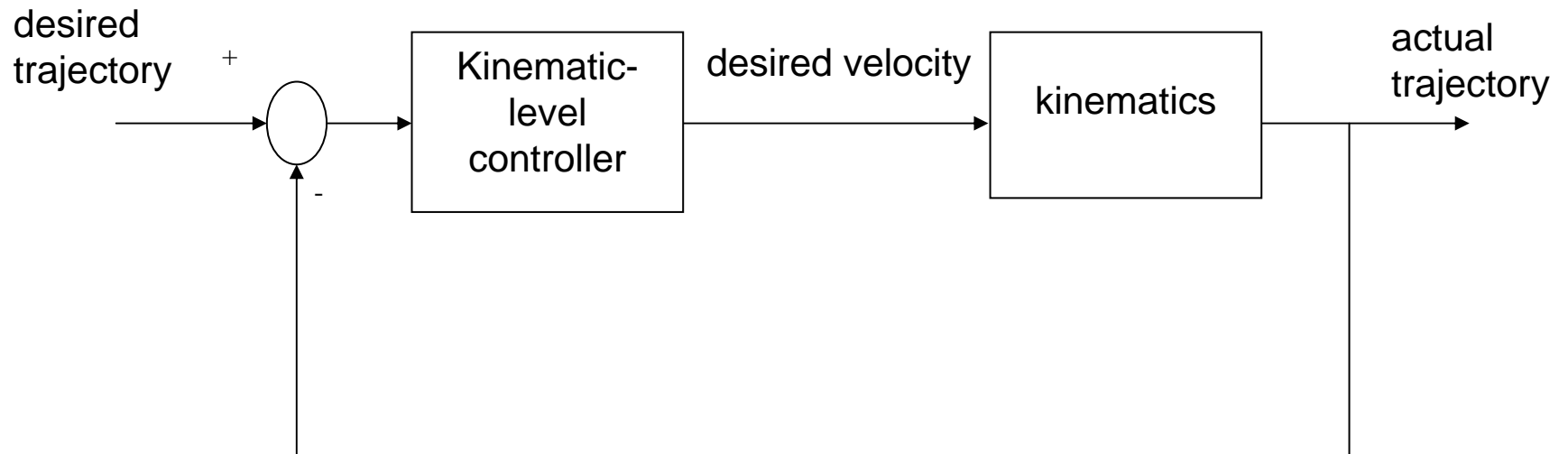
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_r \\ \dot{y}_r \\ \dot{\phi}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\phi_r) & 0 \\ \sin(\phi_r) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_r \\ w_r \end{bmatrix} \quad \text{Kinematics model of a reference robot:}$$

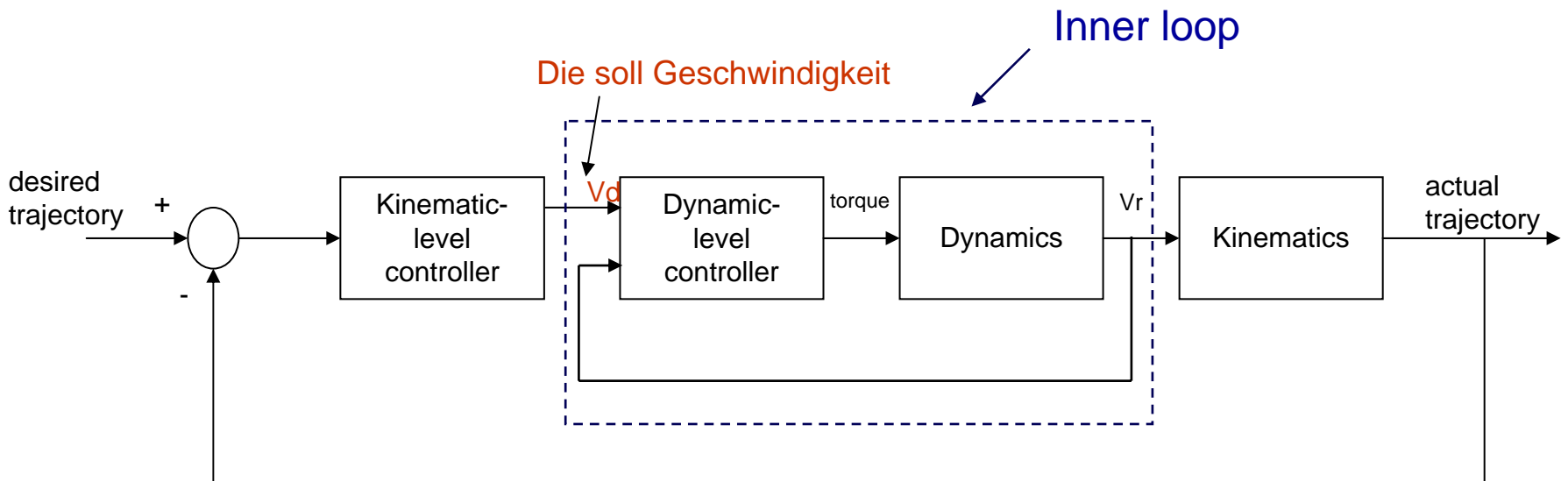
It is defined that

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & \sin(\phi) & 0 \\ -\sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x \\ y_r - y \\ \phi_r - \phi \end{bmatrix}$$

The desired linear and angular velocities (v_d, w_d) which make e_1, e_2, e_3 converge to zero are given by

$$\begin{cases} v_d = v_r \cos e_3 + K_1 e_1 \\ w_d = w_r + v_r K_2 e_2 + K_3 \sin e_3 \end{cases} \quad \text{where } K_1, K_2, K_3 \text{ are positive constants.}$$

Control of an Ideal Mobile Robot

Control of a Real Mobile Robot

outer loop \rightarrow position control

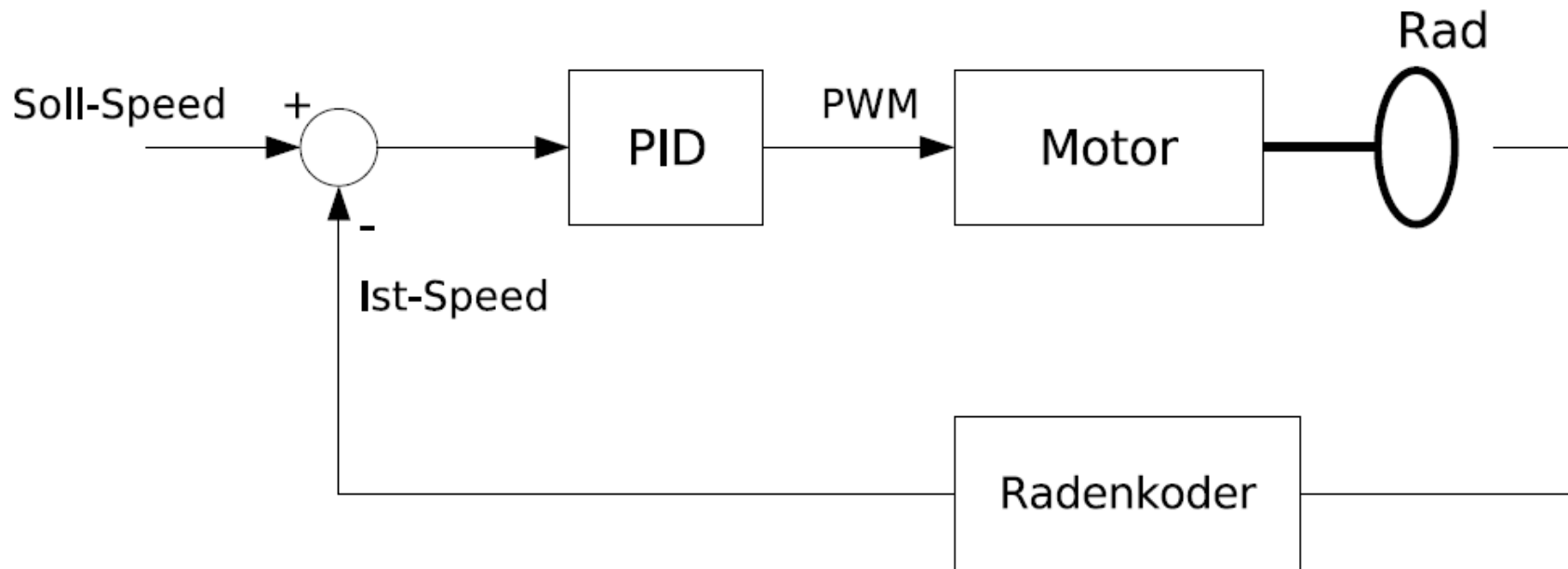
Inner loop \rightarrow Velocity control (motors)

outer loop

Geschwindigkeitsregelung (Dynamics Control)

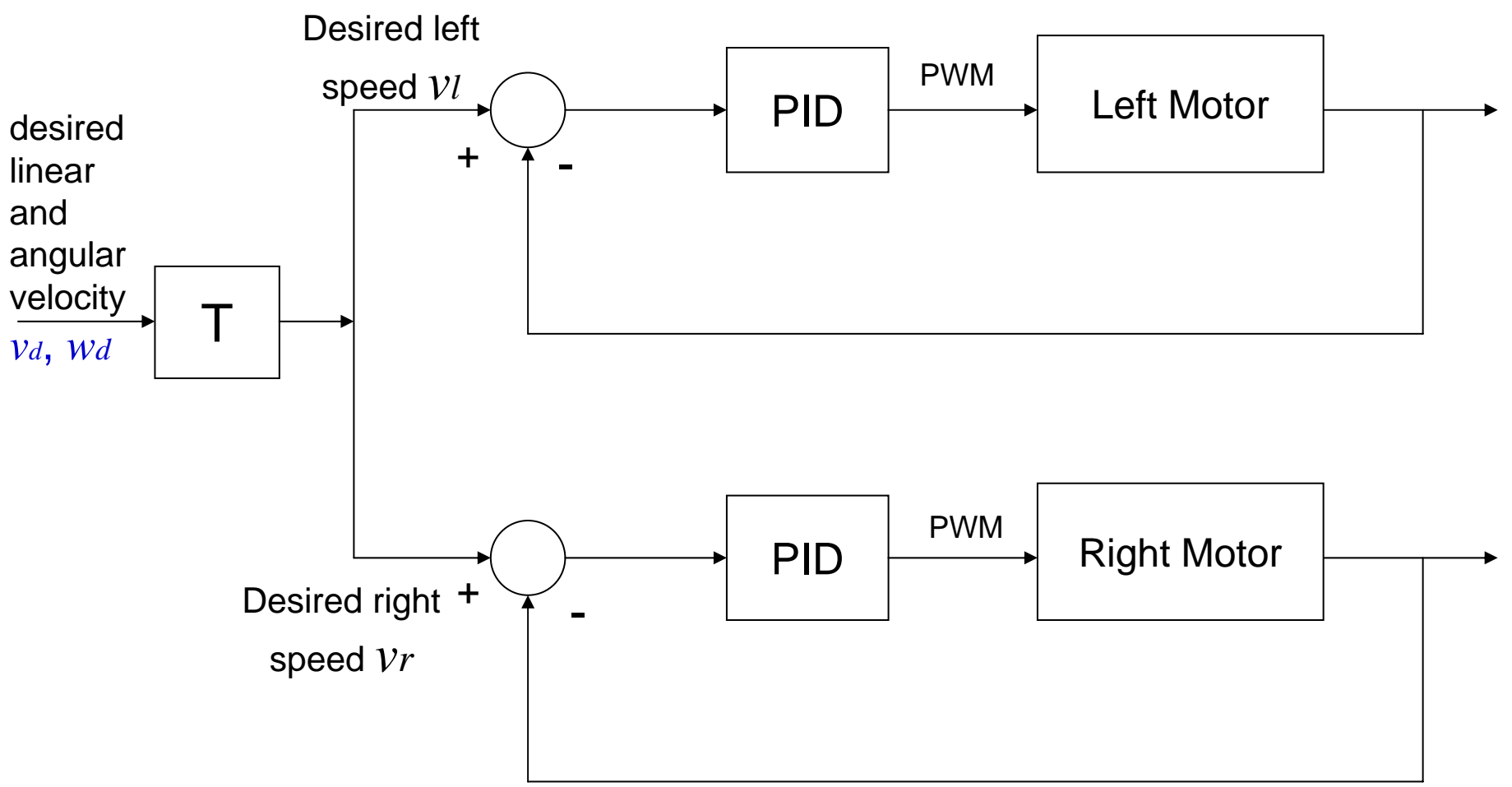
Um ein stabiles und sauberes Fahren zu ermöglichen, muss die Drehgeschwindigkeit der Motoren geregelt werden. Dies erfolgt Z.b. mit Hilfe eines PID-Reglers.

Geschwindigkeitsregelung



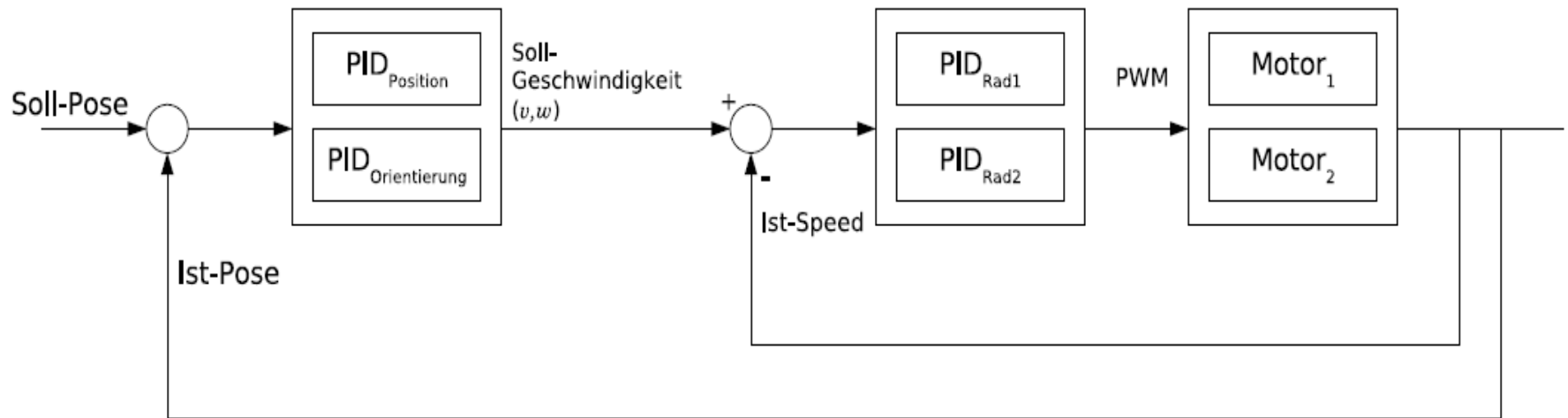
Der Radenkoder gibt dem PID-Regler Informationen über die Aktuelle Geschwindigkeit des Rads. Durch die Stellgröße, hier die Frequenz und das Tastverhältnis der PWM, wird die Regelgröße also die Rad-Geschwindigkeit verändert (geregelt).

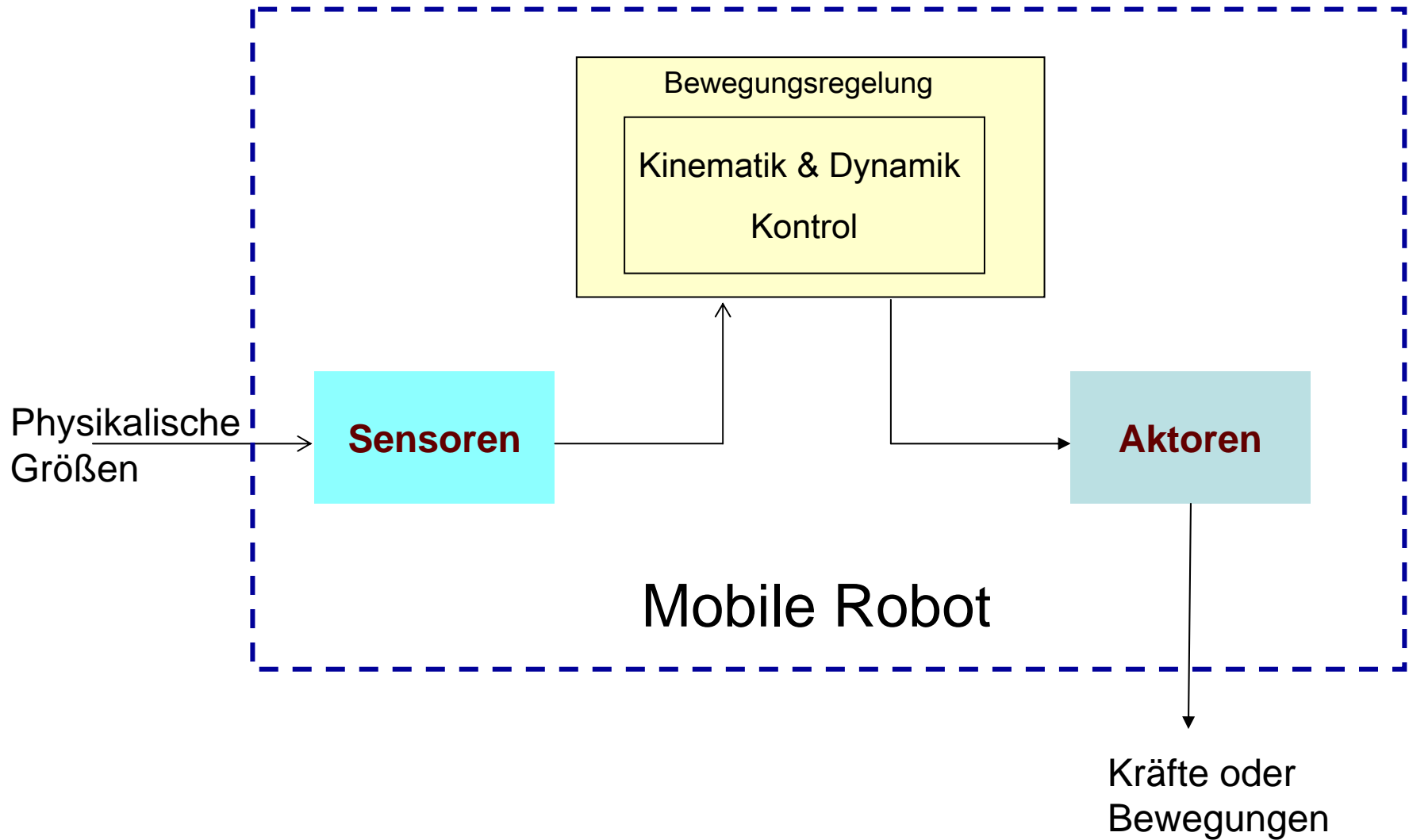
Geschwindigkeitsregelung



T: Transformationsfunktion

Die gesamte Bewegungsregelung des Roboters.





Signalverarbeitungskette

