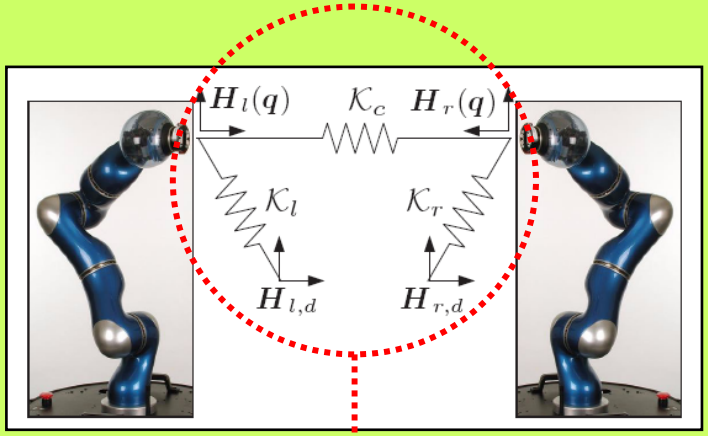
Two Arm Manipulation

Generalization of the Single Arm Impedance Control

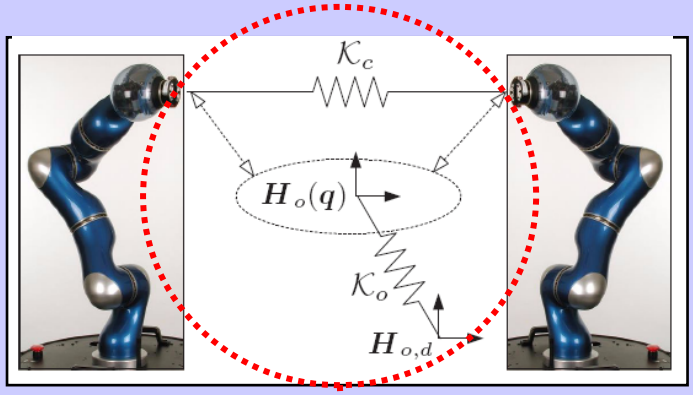
- Control the “grasping” forces via an additional virtual spring.
- Stiffness matrices must be compatible!



$$V(q) = V_S(H_l(q), H_{l,d}, \kappa_l) + V_S(H_r(q), H_{r,d}, \kappa_r) + V_S(H_l(q), H_r(q), \kappa_c)$$

Object-Impedance Control

- Introduce an virtual object frame [Natale 2003] $H_o(H_r(q), H_l(q))$
- moving the two arms with only one spring connected to this virtual frame.



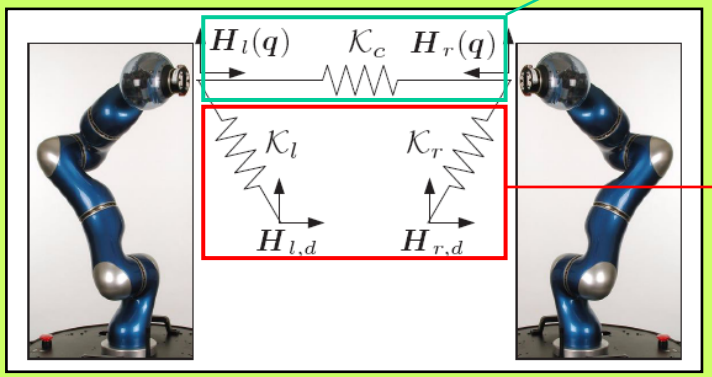
$$V(q) = V_S(H_o(q), H_{o,d}, \kappa_o) + V_S(H_l(q), H_r(q), \kappa_c)$$

$$\tau = g(q) - \frac{\partial V(q)}{\partial q}^T - D(q)\dot{q}$$

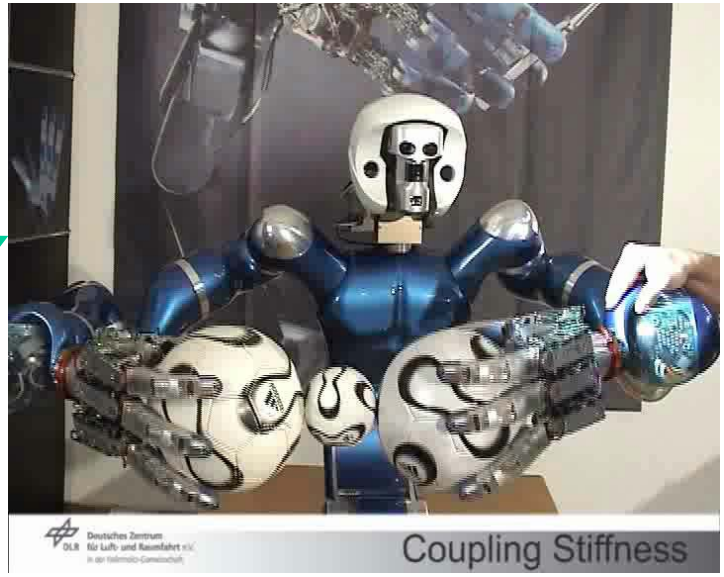
Two-Armed Manipulation

Generalization of the Single Arm Impedance Control

- Control the “grasping” forces via an additional virtual spring.
- Stiffness matrices must be compatible!



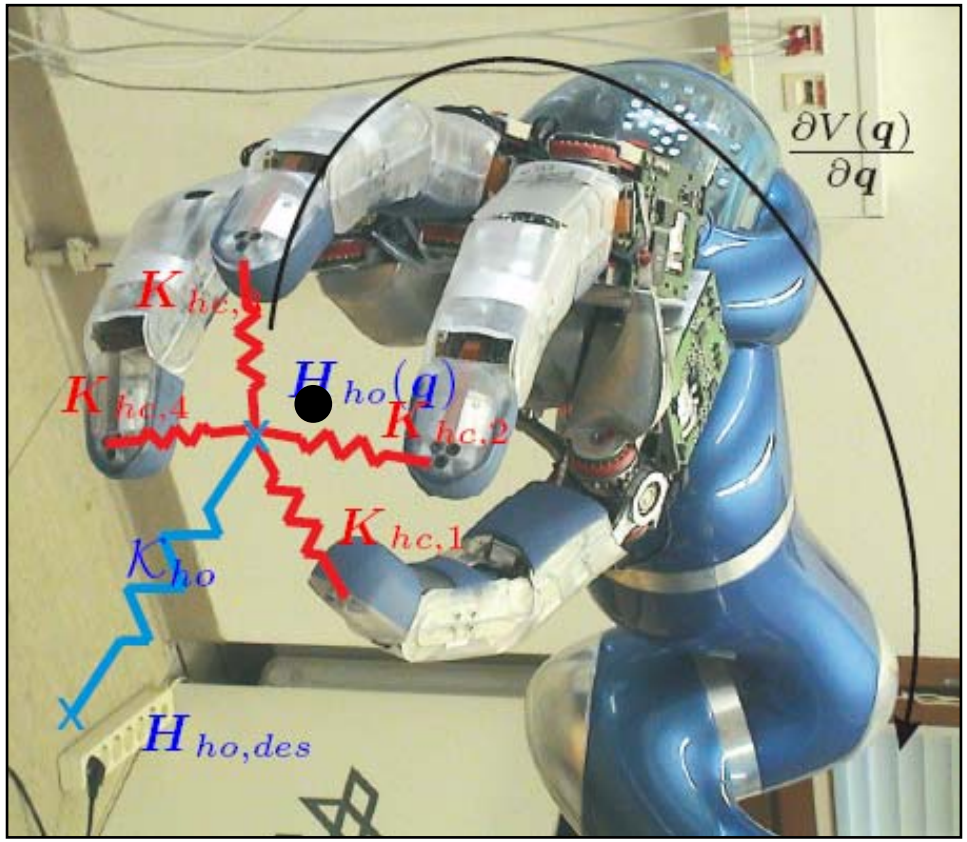
$$
\begin{aligned}
V(q) = {} & V_S(H_l(q), H_{l,d}, \kappa_l) \\
& + V_S(H_r(q), H_{r,d}, \kappa_r) \\
& + V_S(H_l(q), H_r(q), \kappa_c)
\end{aligned}
$$



Object impedance control for hands

$$V(q) = V_S(H_o(q), H_{o,d}, \kappa_o) + V_k(q, \kappa_k)$$

$$\tau = g(q) - \frac{\partial V(q)}{\partial q}^T - D(q)\dot{q}$$



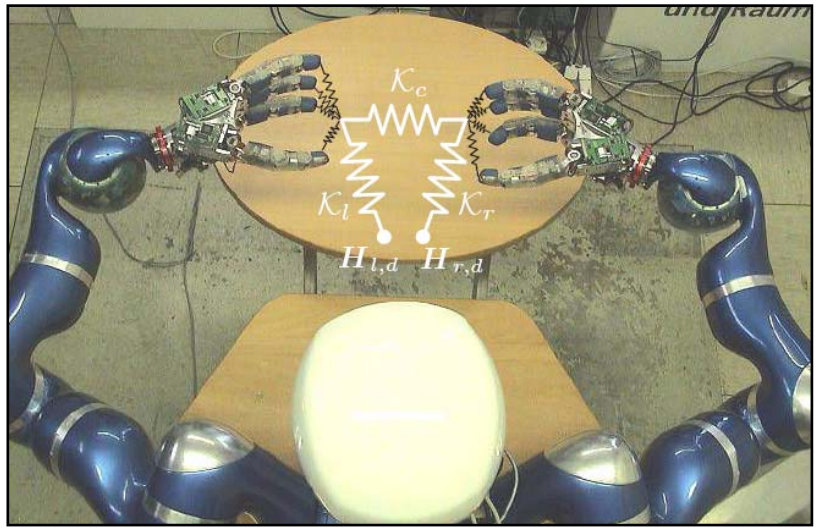
Passivity-Based Object-Level Impedance Control for a Multi-fingered Hand . T. Wimböck, Ch. Ott und G. Hirzinger, **IROS 2006**.

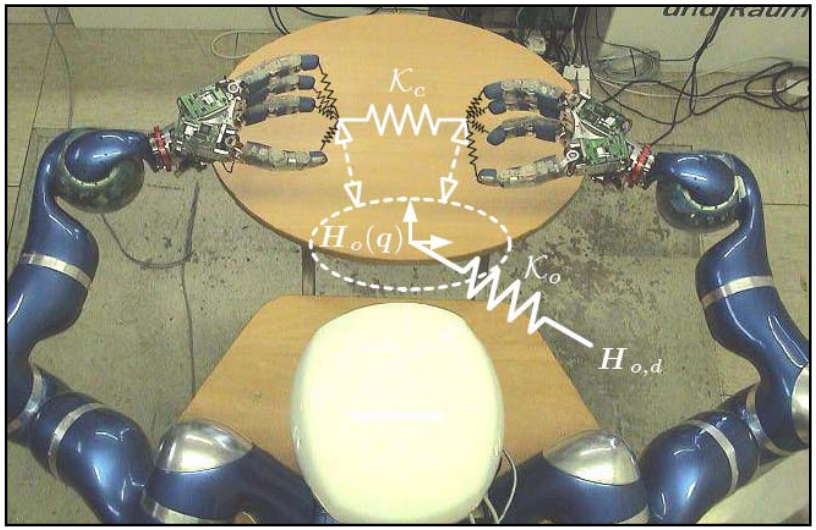
DLR
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Task: Open the container

Two-Handed Manipulation

Intuitive combination of the twoarmed impedance behavior and the object level impedance for the hands

Connect the twoarm impedance with the virtual object frames of the hands, rather than to the end-effector frames.

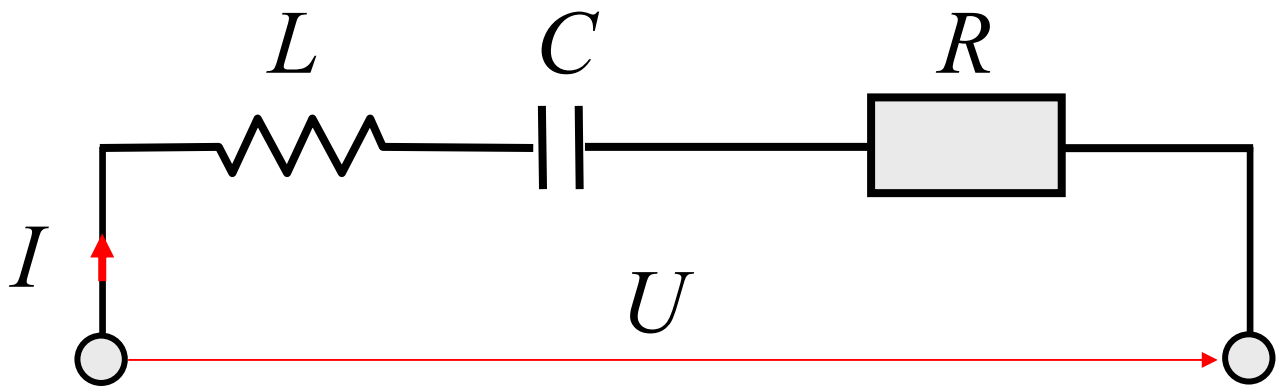




$$\tau = g(q) - \frac{\partial V(q)^T}{\partial q} - D(q)\dot{q}$$

Begriff Impedanz

Von elektrischen Schaltkreisen bekannt:



$$U = RI + L\dot{I} + \int \frac{1}{C} I \, dt$$

Impedanz: $Z(s) = \dfrac{U(s)}{I(s)}$ ← Ausgang ← Eingang

z.B. $Z(s) = \dfrac{1}{R + Ls + \dfrac{1}{Cs}}$

Admittanz: $Y(s) = \dfrac{I(s)}{U(s)}$ ← Ausgang ← Eingang

z.B. $Y(s) = R + Ls + \dfrac{1}{Cs}$

Begriff Impedanz

Analogie elektrisch - mechanisch

$$U = L\ddot{Q} + R\dot{Q} + \frac{1}{C}Q$$

$$f = M\ddot{x} + D\dot{x} + Kx$$

$$U \rightarrow f$$

$$I \rightarrow \dot{x}$$

$$Q \rightarrow x$$

$R \rightarrow D$ Dämpfung

$L \rightarrow M$ Masse

$\frac{1}{C} \rightarrow K$ Steifigkeit

Impedanz: $Z(s) = \frac{f(s)}{x(s)}$ ← Ausgang ← Eingang

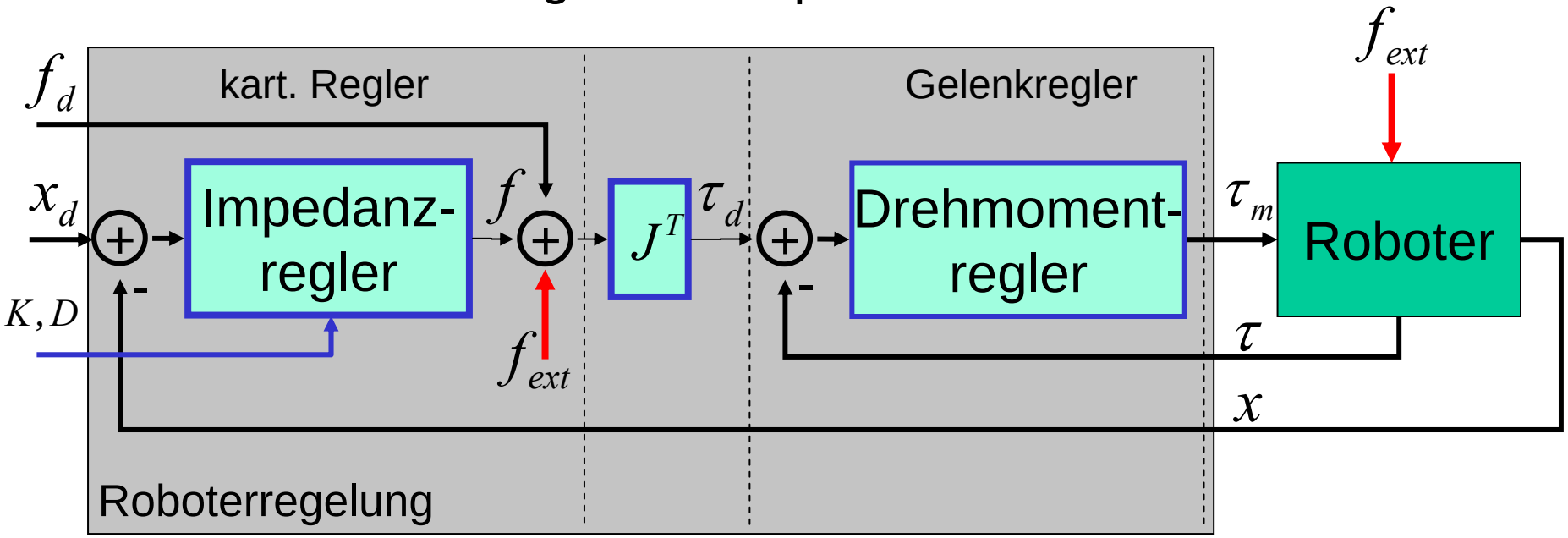
Impedanzkausalität

Admittanz: $Y(s) = \frac{x(s)}{f(s)}$ ← Ausgang ← Eingang

Admittanzkausalität

Prinzip Impedanzregelung

Kartesischer Regler mit Impedanzkausalität



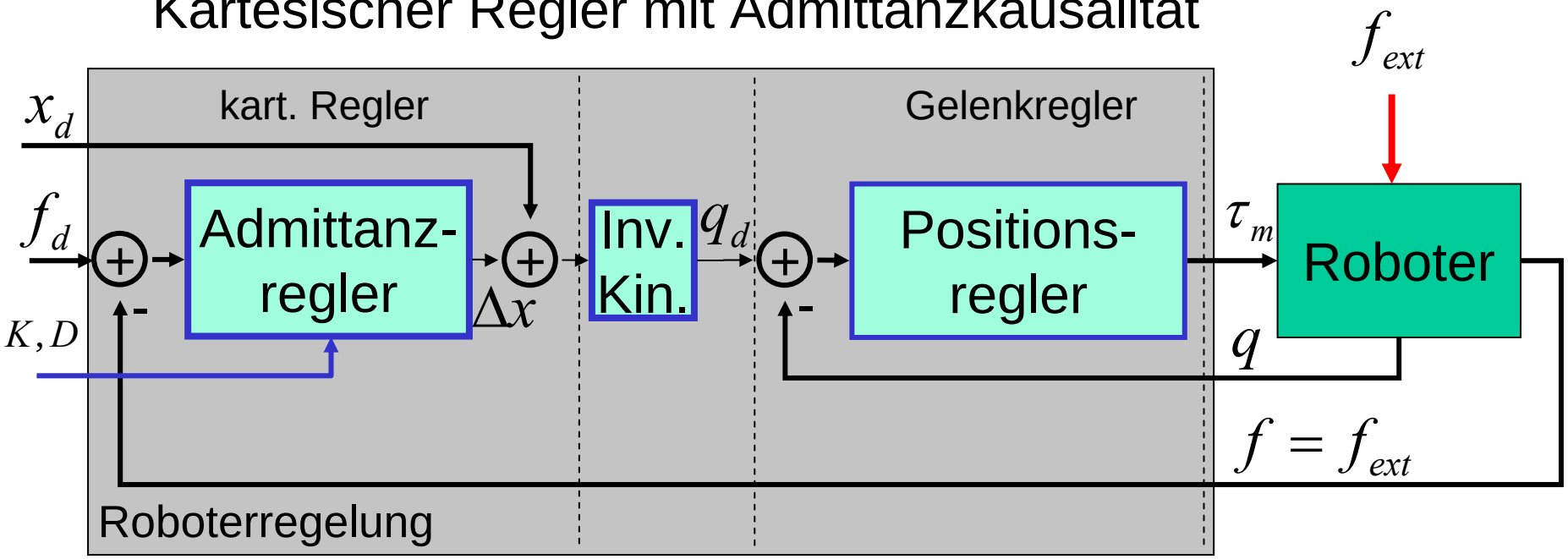
- innere Schleife: nachgiebig
- äußere Schleife: erhöht die Steifigkeit

=>

- Sehr gutes Verhalten für kleine und mittlere Steifigkeiten
- Sehr gutes Verhalten im Kontakt
- Einschränkungen für hohe Steifigkeiten
- Eingeschränkte Positionsgenauigkeit

Prinzip Admittanzregelung

Kartesischer Regler mit Admittanzkausalität



- Innere Schleife: hohe Steifigkeit
- äußere Schleife: nachgiebig

=>

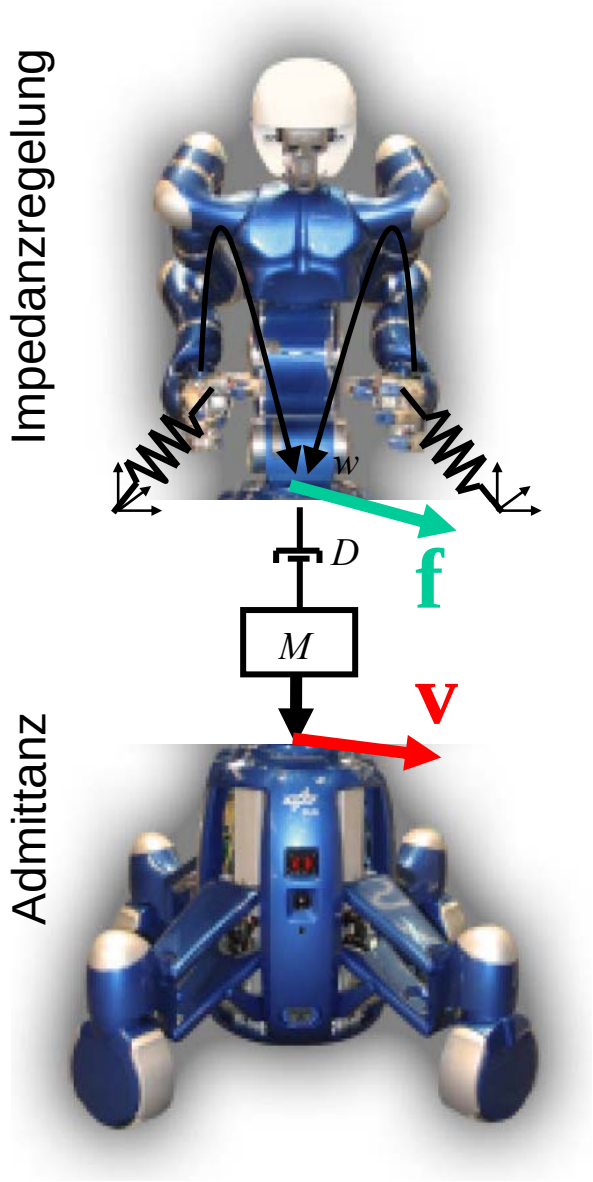
- Sehr gutes Verhalten für hohe und mittlere Steifigkeiten
- Gute Positionsgenauigkeit
- Einschränkungen für niedrige Soll-Steifigkeiten
- Stabilitätsprobleme im Kontaktfall

Mensch-Roboter-Interaktion

Nachgiebige Regelung des gesamten Roboters

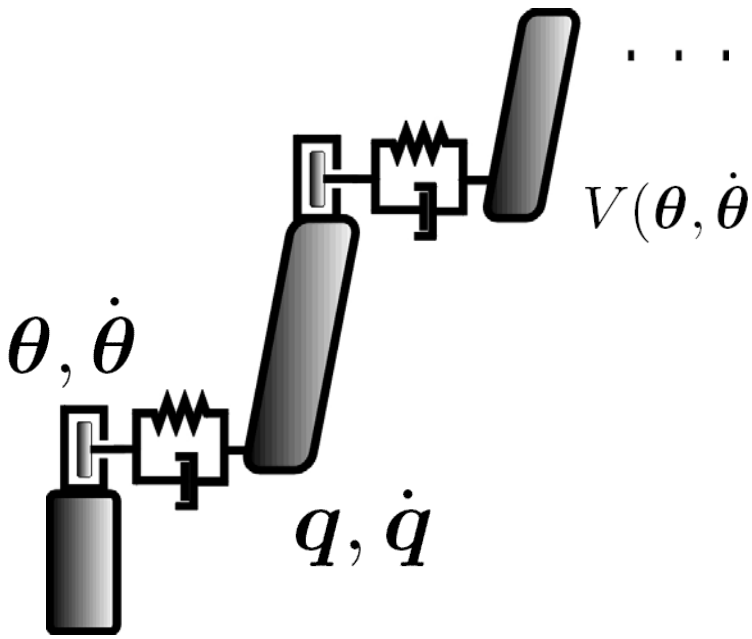
Rollin' Justin

- 53 aktive Freiheitsgrade
- 150 kg



Verallgemeinerung: Modell mit elastischen Gelenken

(Zusatzfolie)



. . .

Energie:

kinetische Energie T

$$V(\theta, \dot{\theta}, q, \dot{q}) = \frac{1}{2}\left[\dot{\theta}^T B \dot{\theta} + \dot{q}^T M(q) \dot{q}\right] + \frac{1}{2}(\theta - q)^T K (\theta - q) + V_g(q)$$

potentielle Energie U

Mit dem Lagrange Formalismus erhält man die Bewegungsgleichungen

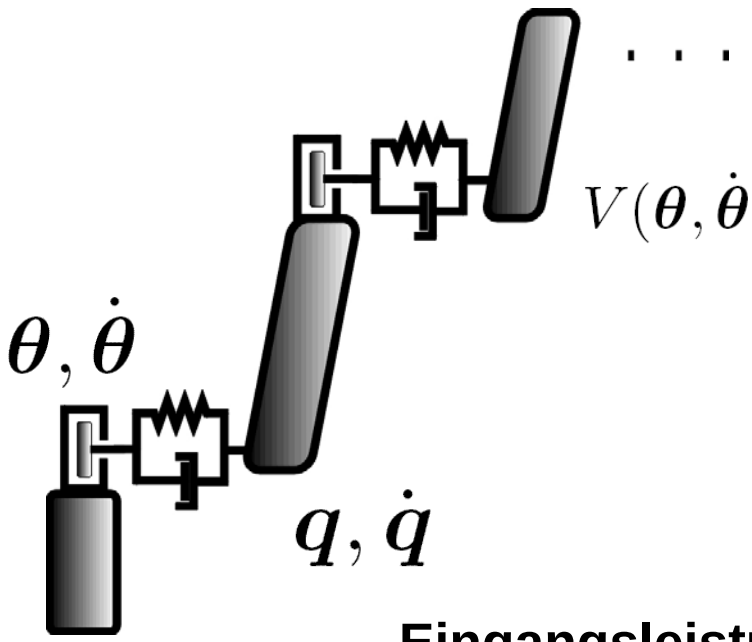
$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau_J + DK^{-1}\dot{\tau}_J$$

$$B\ddot{\theta} + \tau_J + DK^{-1}\dot{\tau}_J = \tau$$

$$\tau_J = K(\theta - q)$$

Verallgemeinerung: Modell mit elastischen Gelenken

(Zusatzfolie)



. . .

Energie:

kinetische Energie T

$$V(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}, \boldsymbol{q}, \dot{\boldsymbol{q}}) = \frac{1}{2}\left[\dot{\boldsymbol{\theta}}^T \boldsymbol{B} \dot{\boldsymbol{\theta}} + \dot{\boldsymbol{q}}^T \boldsymbol{M}(\boldsymbol{q}) \dot{\boldsymbol{q}}\right] + \frac{1}{2}(\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{q})^T \boldsymbol{K}(\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{q}) + V_g(\boldsymbol{q})$$

potentielle Energie U

Eingangsleistung

$$\dot{V}(t) = \dot{\boldsymbol{\theta}}^T \boldsymbol{\tau} - (\dot{\boldsymbol{\theta}} - \dot{\boldsymbol{q}})^T \boldsymbol{D}(\dot{\boldsymbol{\theta}} - \dot{\boldsymbol{q}})$$

dissipierte Energie

Für $\boldsymbol{\tau} = 0$ hat man $\dot{V}(\dot{\boldsymbol{\theta}}(t), \dot{\boldsymbol{q}}(t)) \leq 0$ und mit Hilfe des LaSalle's Theorems kann g.a.s. eines Gleichgewichtspunktes gezeigt werden (Welcher Punkt?)

That‘s all Volks