

Verbesserung der Bahngüte durch abtriebsseitige Regelung

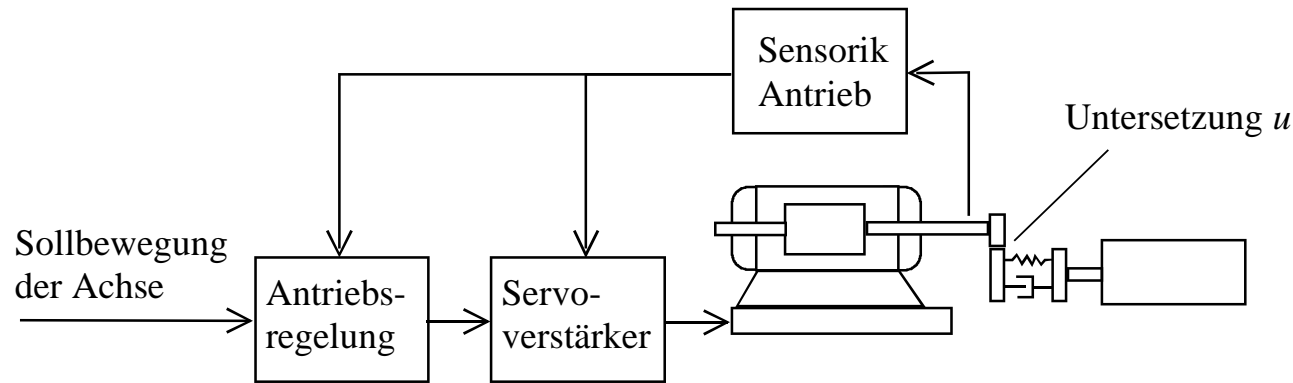
- In der Roboter- und Werkzeugmaschinenteknik steigen die Forderungen an die Bahngenauigkeit bei immer höheren Geschwindigkeiten.
- Kosten- und Energieeffizienz erfordern die Reduzierung der Masse des mechanischen Aufbaus

→ Hohe Anforderungen an die Servoregelung

Aber:

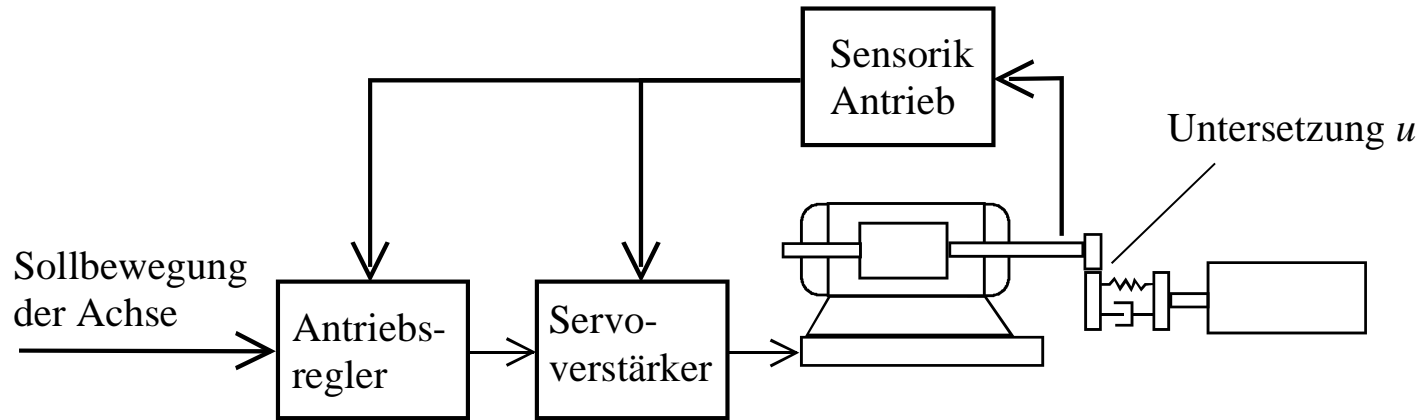
Einfacher Entwurf und Inbetriebnahme der Regelung werden gefordert.

Ausgangspunkt: Antriebsseitige Regelung



Vorteile: Einfach und kostengünstig

- Keine Sensorik in der Arbeitsumgebung (Schmutz, Signalführung, Bauvolumen, ...)
- Positions- und Geschwindigkeitssignal kann zur Momentenregelung und Lageregelung genutzt werden
- Auch von Personen ohne vertiefte regelungstechnische Kenntnisse kann Regelung eingestellt werden
- Nichtlineare Übertragungseffekte des Getriebes beeinflussen die Regelung nicht



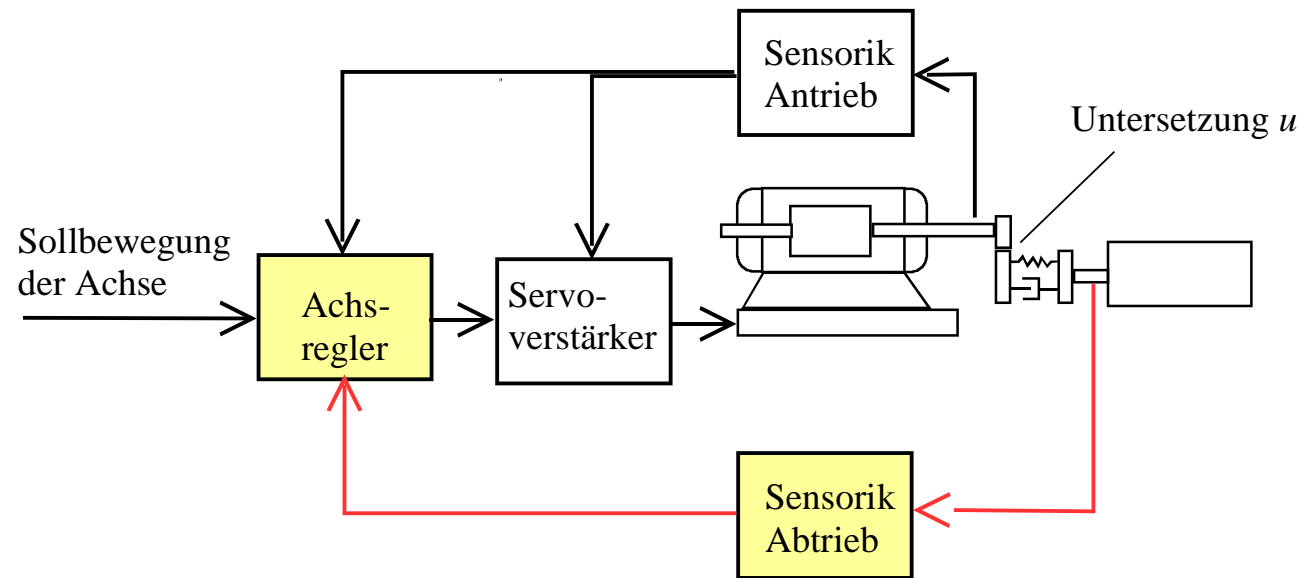
Nachteile: Beschränkte Leistungsfähigkeit

- Stationäre Ungenauigkeiten: Gelenklage $q \neq u \times$ Motorwinkel φ
- Bei Belastungen und/oder schnellen Bewegungen gilt ebenfalls: Gelenklage $q \neq u \times$ Motorwinkel $\varphi \rightarrow$ Bahnabweichungen
- Schwingungen des Masse-Feder-Dämpfer-Systems werden nicht vollständig erfasst und können nicht ausgeglet werden

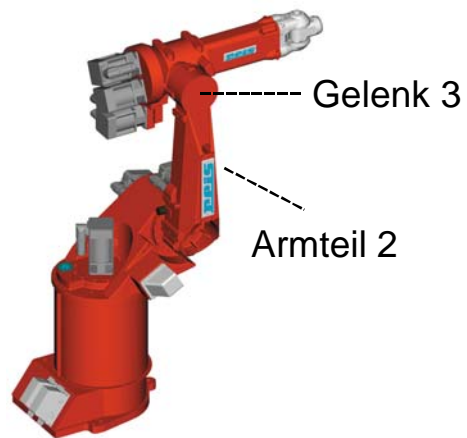
Ziele bei zusätzlicher Sensorik am Abtrieb

- Verbesserung der Genauigkeit im stationären und bewegten Zustand durch Messung und Einbeziehung von Bewegungsgrößen am Gelenk (direkte Messung)
- Die bekannte Kaskadenstruktur soll so wenig wie möglich verändert werden.
- Insbesondere der P-Lageregler mit Geschwindigkeitsvorsteuerung soll wegen der einfachen Parametrierbarkeit beibehalten werden.

Verbesserung der Genauigkeit im stationären und bewegten Zustand durch Messung und Einbeziehung von Bewegungsgrößen am Gelenk (direkte Messung)



Teststand zur Erprobung neuer Regelungskonzepte



Leistungsverstärker

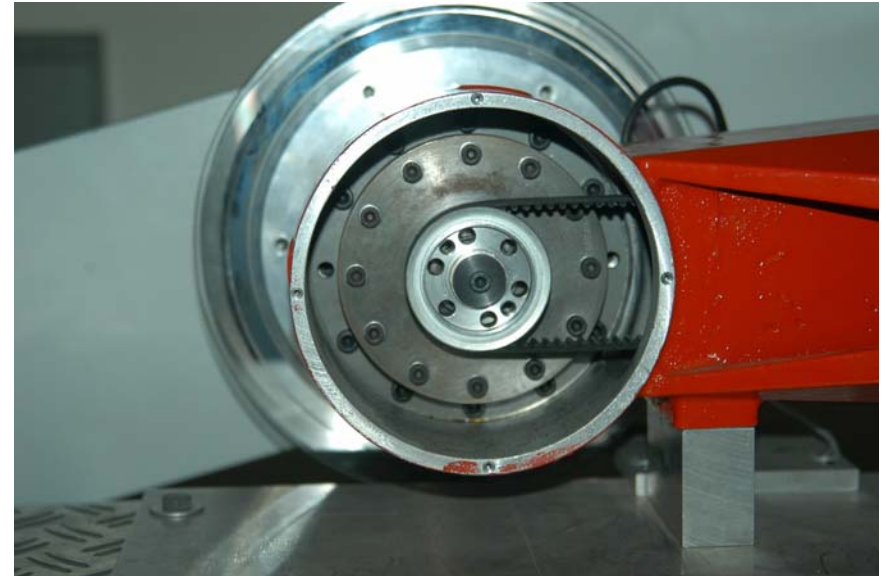
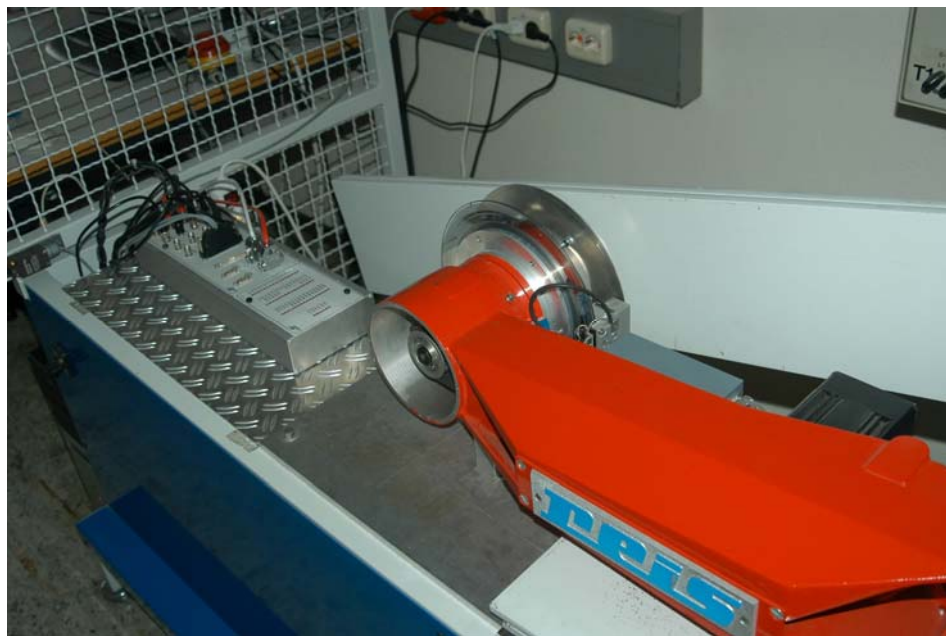
Abtriebsseitiger
Winkelsensor

Last am Abtrieb
Gelenkachse 3

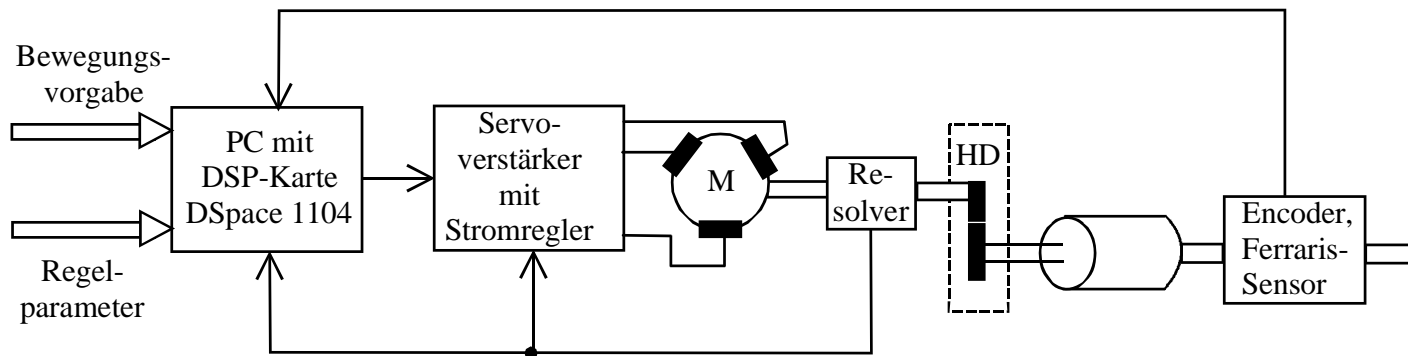
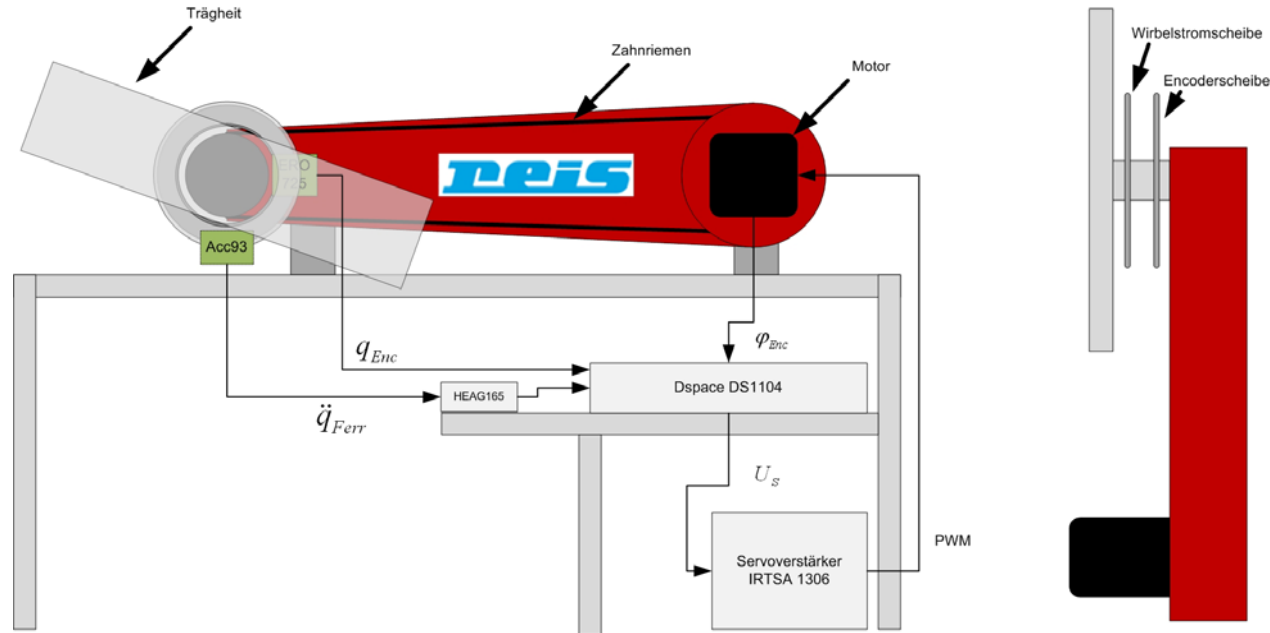
Armteil 2 RV6

Antrieb Gelenk 3

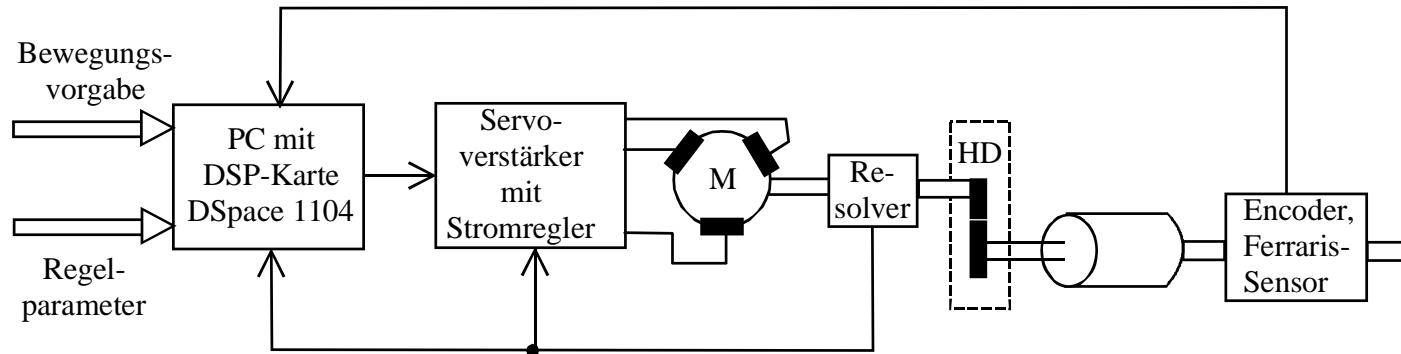




Teststand zur Erprobung neuer Regelungskonzepte



Teststand zur Erprobung neuer Regelungskonzepte



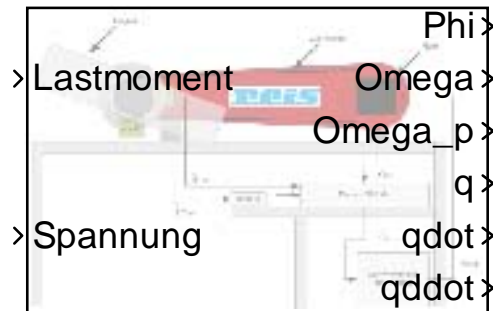
- Bürstenloser Gleichstrommotor (Baumüller, DSG 45 S)
- Servoverstärker (IRTSA 1306)
- PC mit DSP-Karte und Entwicklungsumgebung (DSPACE 1104)
- Antriebssystem mit Harmonic Drive Getriebe HFUC32-160 und Zahnriementrieb
- Encoder am Gelenk (ERO 725 von Heidenhain, 18000 Striche)
- Ferraris-Beschleunigungssensor Acc93 (Fa. Hübner, Berlin)



Verwendete Modelle zwischen Servoeingangsspannung und Gelenkwinkelgeschwindigkeit

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1 + b_1 \cdot s}{a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0}$$

Lineares Modell 3. Ordnung
zum Regelungsentwurf

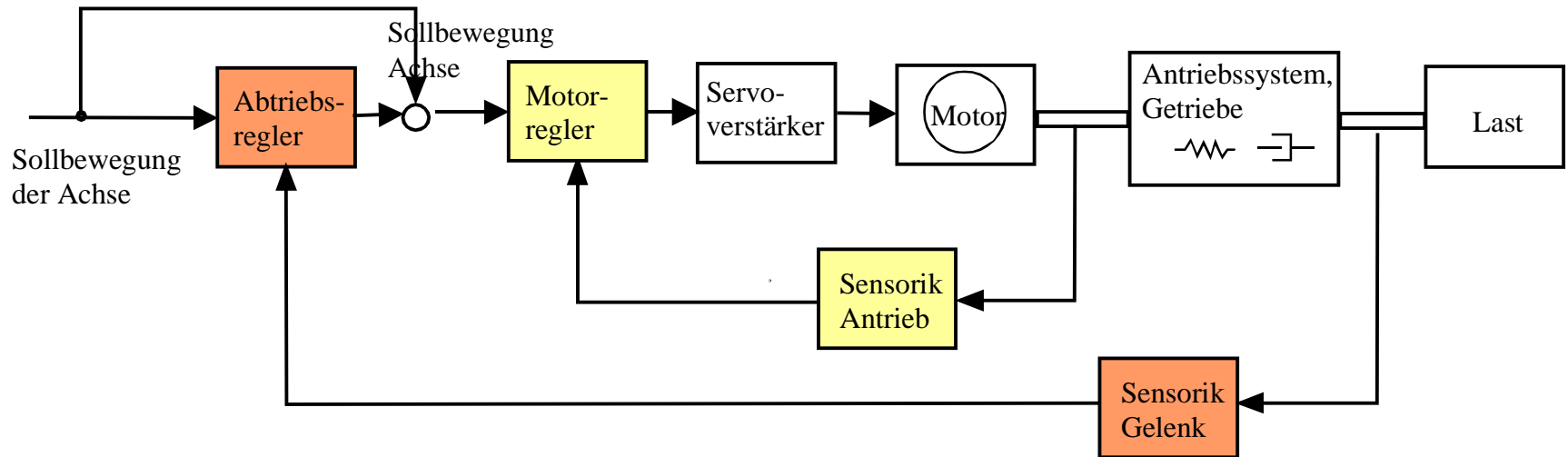


Strecke mit allen Einschränkungen
(Getriebe und Antriebseinschränkungen)

Nichtlineares, genaues Modell
zur Simulation mit
Matlab/Simulink

Übergeordneter direkter Lageregler

Prinzip: Der Kaskadenregelung auf Motorseite wird zusätzlich eine abtriebsseitige Lageregelung übergeordnet.



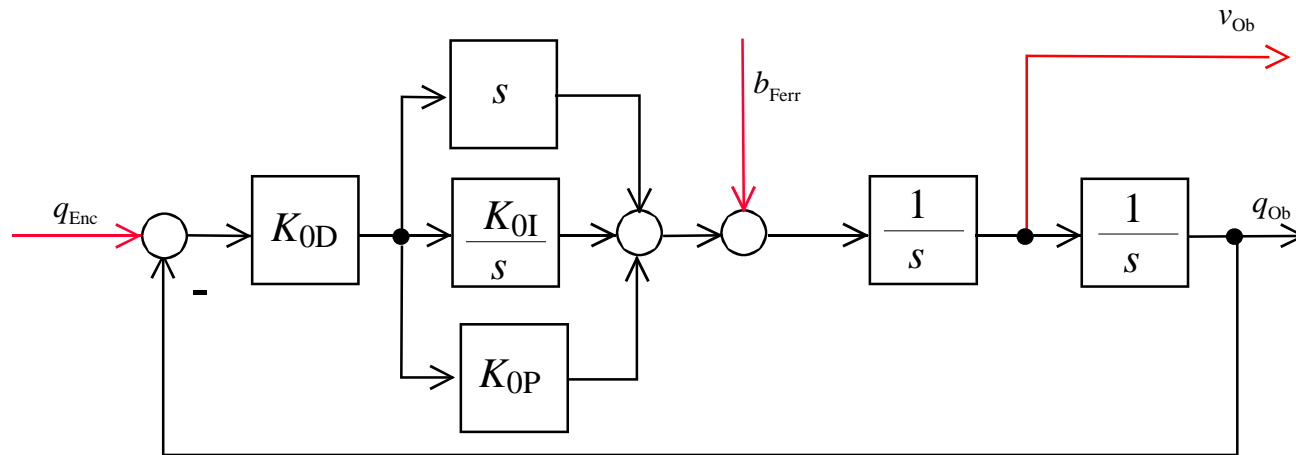
- Abtriebsregler korrigiert dynamisch den Lagesollwert der Antriebsregelung
- Antriebsregelung kann wie gewöhnlich entworfen werden
- Direkte Regelung kann als Zusatz realisiert werden
- Schon ein P-Regler reduziert den stationären Fehler



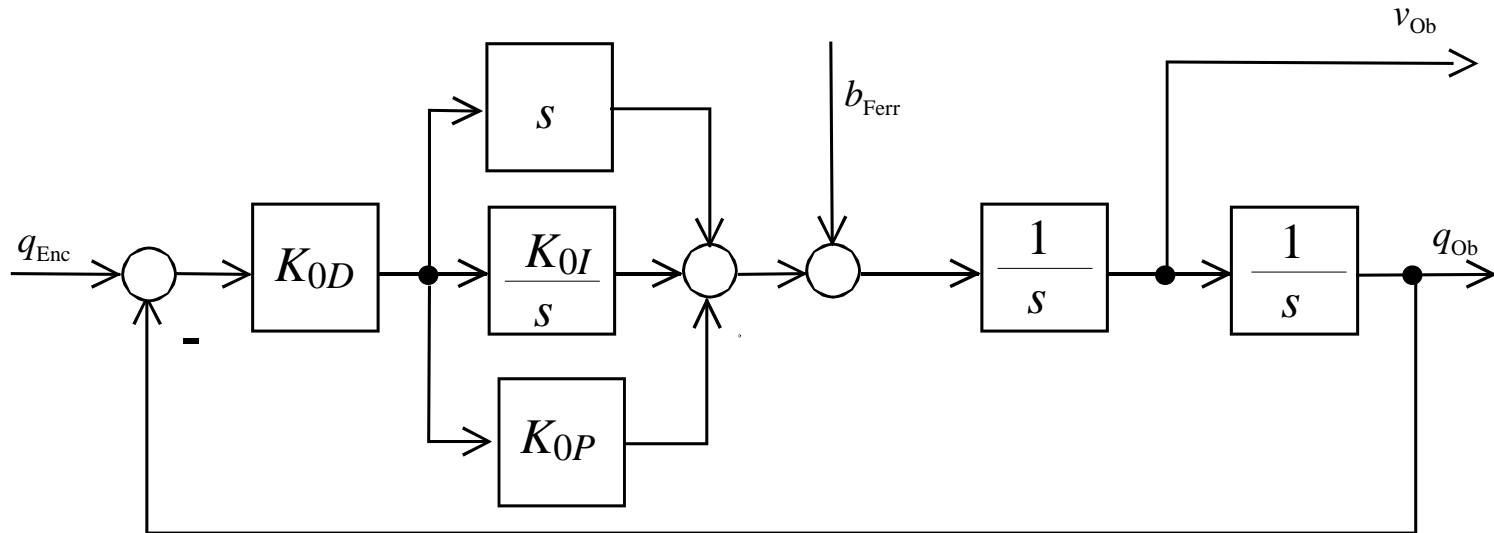
Beobachtung der Geschwindigkeit

- Wesentlich für die Leistungsfähigkeit einer Achsregelung sind Geschwindigkeitssignale hoher Güte
- Der Rigid Body Observer beobachtet die (Winkel-) Geschwindigkeit auf Gelenkseite auf der Basis der Mess-Signale Encoderwinkel q_{Enc} und Beschleunigungssignal b_{Ferr}

Prinzip: gewichtete Summe aus dem mit einem Hochpass gefilterten Beschleunigungssignal und einem über einen Tiefpass gefiltertes Encodersignal q_{Enc}



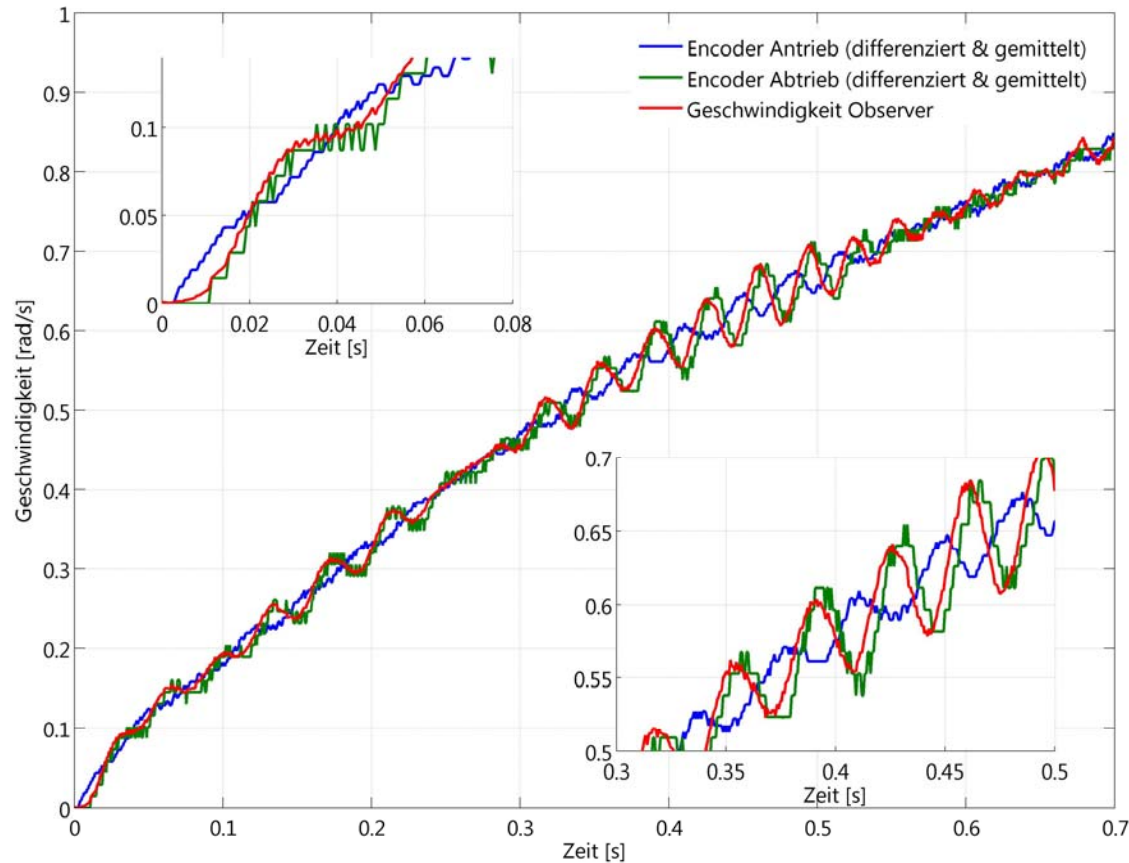
Ellis, G.; Krah, J.O.: *Observer-Based Resolver Conversion in Industrial Servo Systems.*, PCIM Power Conversion Intelligent Motion, Nürnberg, 2001, S. 311-316



$$V_{Ob}(s) = \frac{s^2}{s^3 + K_{0D} \cdot s^2 + K_{0D} \cdot K_{0P} \cdot s + K_{0D} \cdot K_{0I}} \cdot B_{Ferr}(s) + \frac{K_{0D} \cdot s^2 + K_{0D} \cdot K_{0P} \cdot s + K_{0D} \cdot K_{0I}}{s^3 + K_{0D} \cdot s^2 + K_{0D} \cdot K_{0P} \cdot s + K_{0D} \cdot K_{0I}} \cdot s \cdot Q_{Enc}(s)$$

Experimentelles Ergebnis des RBO bei Rampenbahn

Versuch zur Bestätigung der durch den Observer (Rigid-Body-Observer) ermittelten Geschwindigkeit.
Streckensprung 0.7V und Vergleich mit abtriebsseitig differenziert und gemitteltem Positionssignal



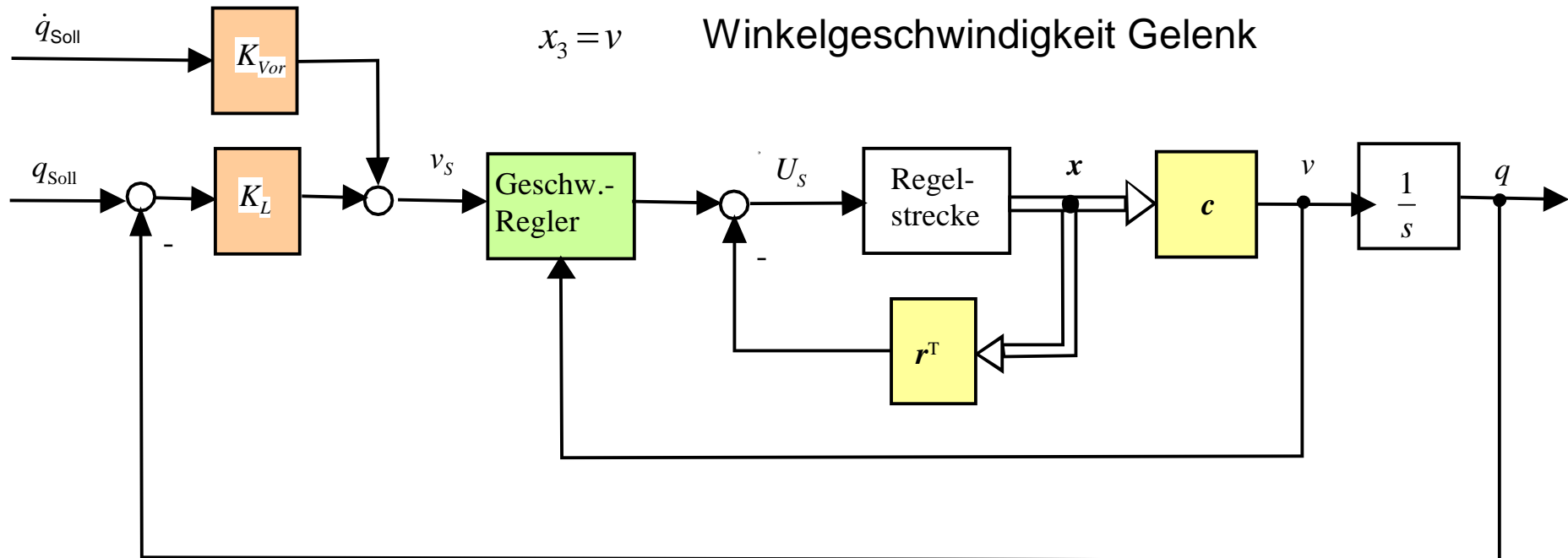
Kaskadenregelung mit Zustandsregler

Zustandsgrößen:

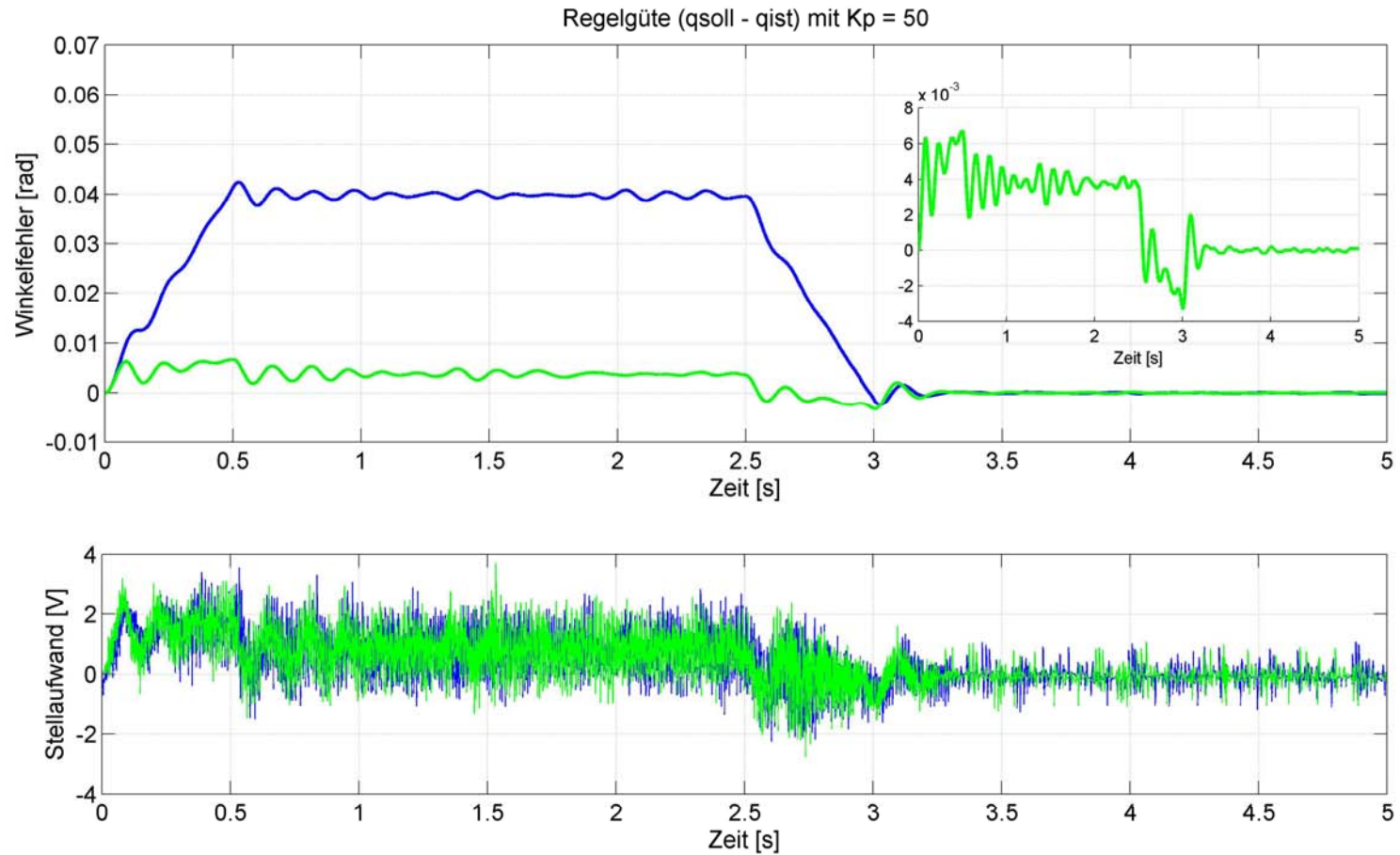
$x_1 = v_{Mot}$ Winkelgeschwindigkeit Motor

$x_2 = \Delta q = \frac{\varphi}{u} - q$ Differenzwinkel

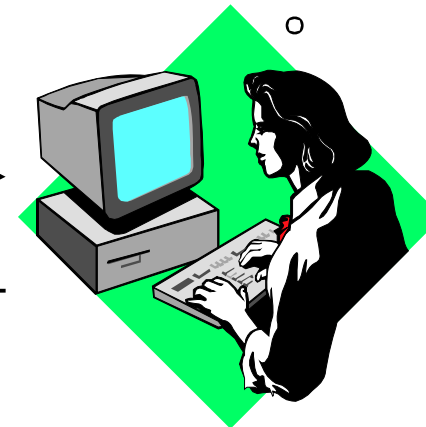
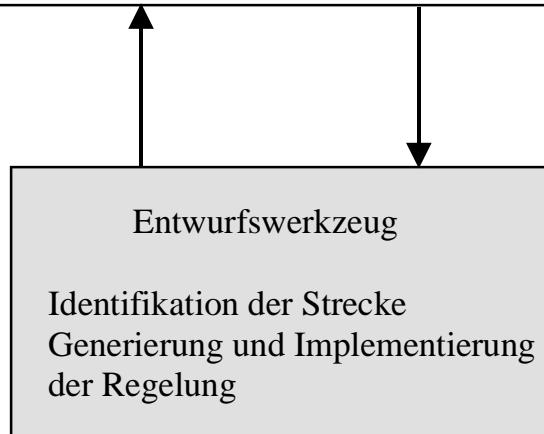
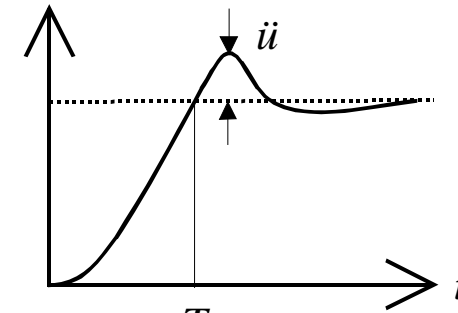
$x_3 = v$ Winkelgeschwindigkeit Gelenk



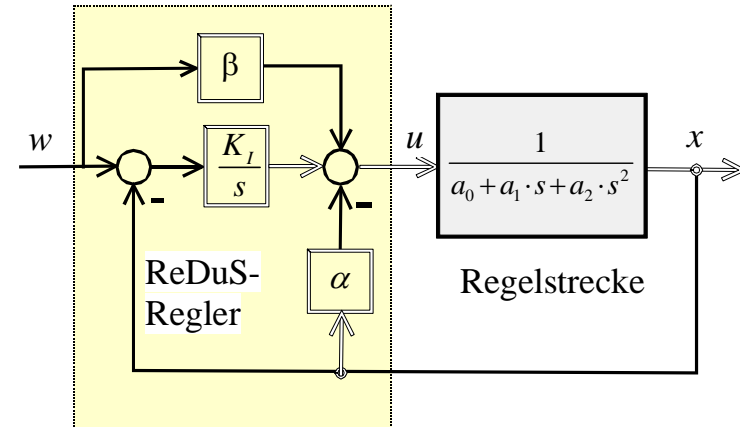
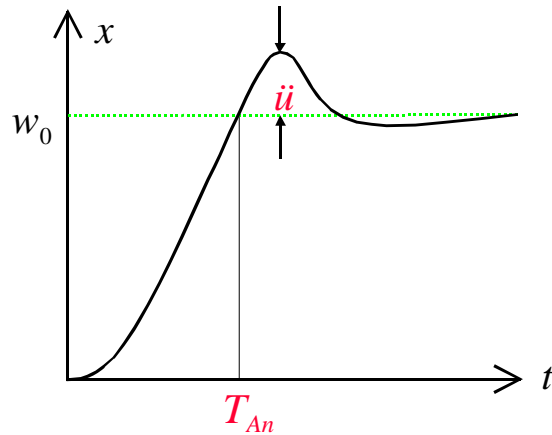
Experimentergebnis bei Rampenbahn mit 2 rad/sec



Vision ReDuS: Anwendungsorientierter vollautomatischer Entwurf

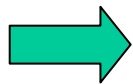


Gewünschtes Ein-/Ausgangsverhalten = Ein-/Ausgangsverhalten mit ReDuS-Regler



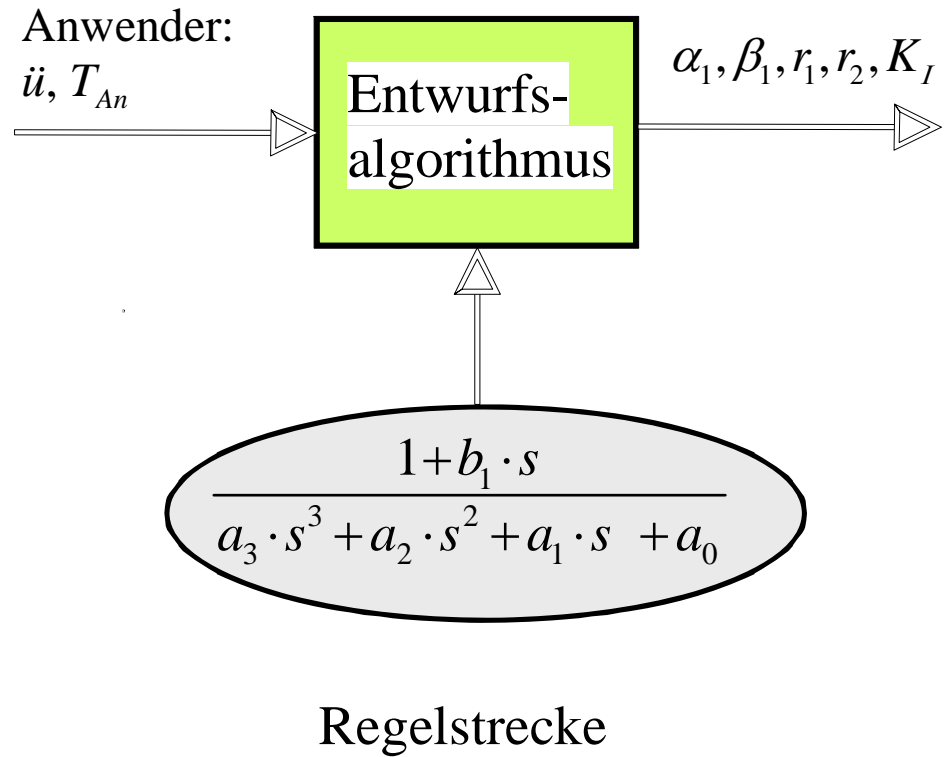
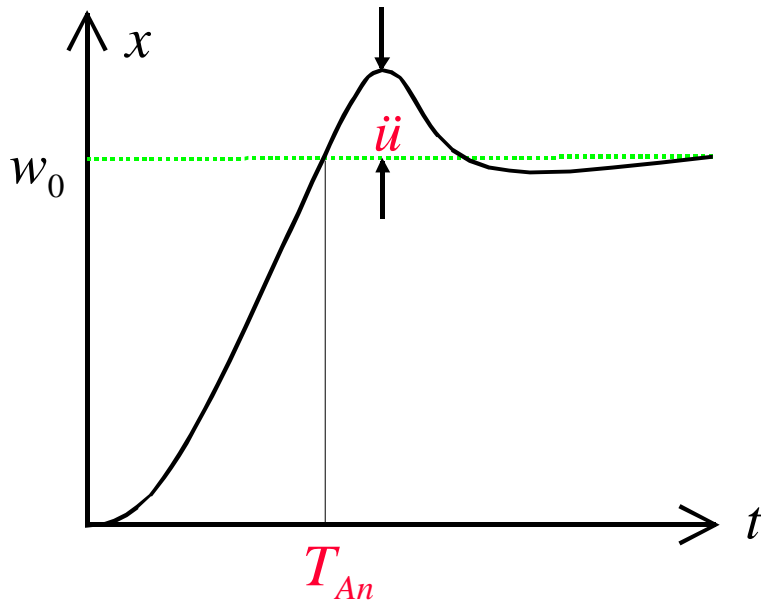
$$X(s) = \frac{1}{1 + 2 \cdot d_R \cdot T_R \cdot s + T_R^2 \cdot s^2} \cdot W(s)$$

$$X(s) = \frac{K_I + \beta \cdot s}{K_I + (\alpha + a_0) \cdot s + a_1 \cdot s^2 + a_2 \cdot s^3} \cdot W(s)$$



$$\beta = \frac{a_2}{T_R^2}, \quad K_I = \frac{a_1 - 2 \cdot d_R \cdot T_R \cdot \beta}{T_R^2}, \quad \alpha = 2 \cdot d_R \cdot T_R \cdot K_I + \beta - a_0$$

ReDuS+



Zusammenfassung

Es wurden Erweiterungen der antriebsseitigen Lageregelung vorgestellt, die grundsätzlich die Kaskadenstruktur mit einem P-Lageregler und Vorsteuerung beibehalten.

Durch eine Erweiterung der Antriebsregelung mit einer zusätzlichen Kaskade (direkte Lageregelung) gelingt eine Verbesserung insbesondere beim stationären Verhalten

Die Winkelgeschwindigkeiten lassen sich über Lage- und Beschleunigungssignal durch ein Rigid Body Observer beobachten

Ein Zustandsregler mit übergeordneter Geschwindigkeits- und Lageregelung verbessert die Regelungsgüte wesentlich.

Durch ein ReDuS+-Geschwindigkeitsregler kann ein transparenter, anwenderorientierter Entwurf realisiert werden.