



Institute for Design and Control of Mechatrical Systems

Abschlusspräsentation: Aktive Schwingungsreduktion für mobile Hebehilfen

Bachelorarbeit in Zusammenarbeit
mit Fa. Hainzl Industriesysteme

Dominic Winkler

Betreuer: DI Schwarzgruber, DI Waschl



JOHANNES KEPLER
UNIVERSITÄT LINZ | JKU

Linz, 9.10.2014

HAINZL
TECHNOLOGIE FÜR HÖCHSTE ANSPRÜCHE.



- Problemstellung
- Modellbildung
- Der Mensch im Regelkreis
- Regelung
- Beobachter
- Ergebnisse - Fazit



- Mobiles Hebehilfesystem mit Lastaufnahme an einem Stahlseil
- Problem durch Schwingen der Last beim Manipulieren:
 - Unangenehm
 - Keine exakte Positionierung
 - Zeitverlust
 - Sicherheitsrisiko

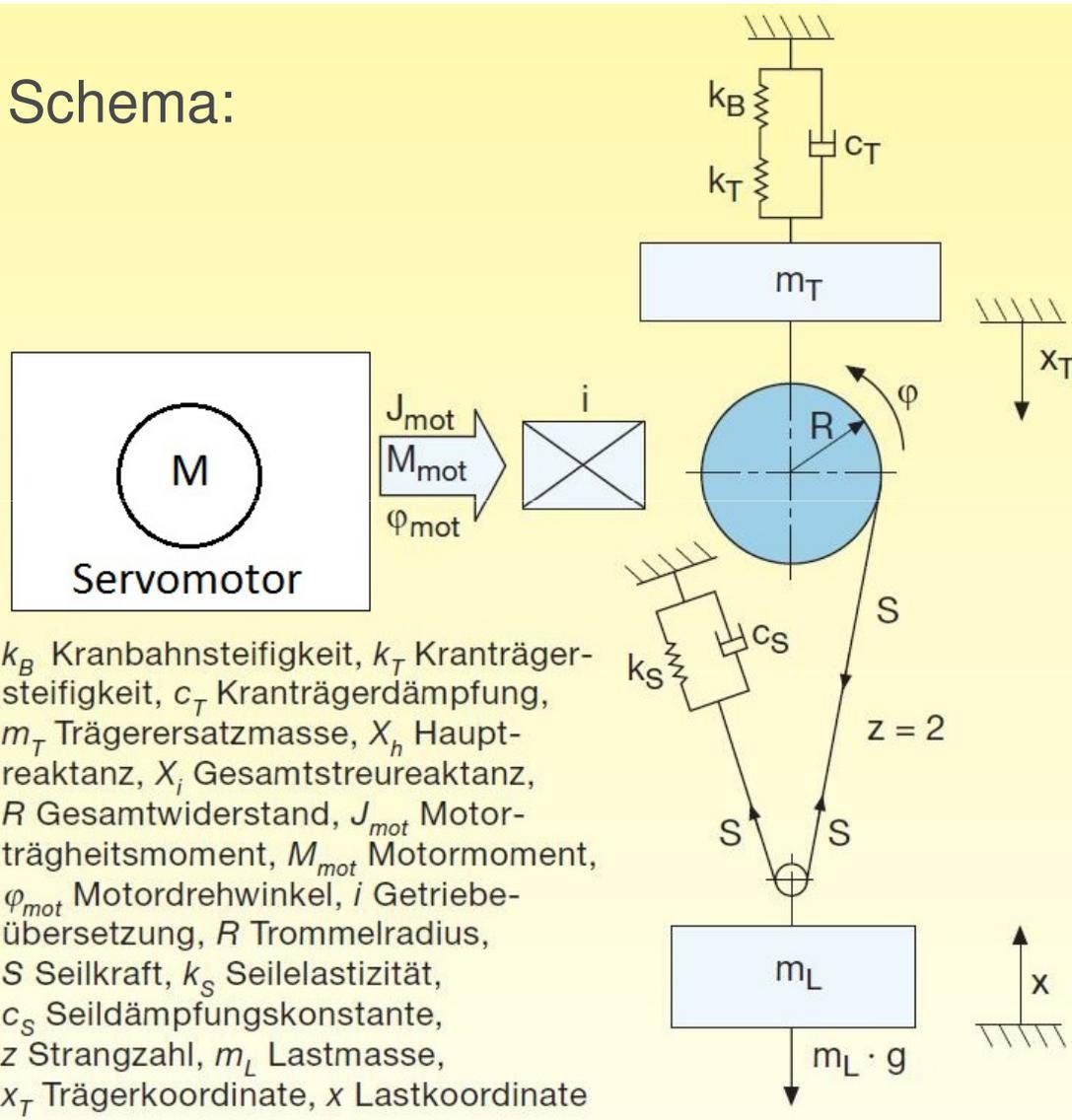




- Modellbildung wurde anhand eines mathematischen Modells eines doppelten Feder-Dämpfer-Masse-System aufgebaut und in MATLAB/SIMULINK implementiert
- Messungen wurden am Testsystem durchgeführt um das Modell validieren zu können
- Die Parameter (Federsteifigkeiten, Balkenmasse, Dämpfungskonstanten,...) wurden mit Least-Squares-Minimierungsalgorithmen möglichst gut angepasst



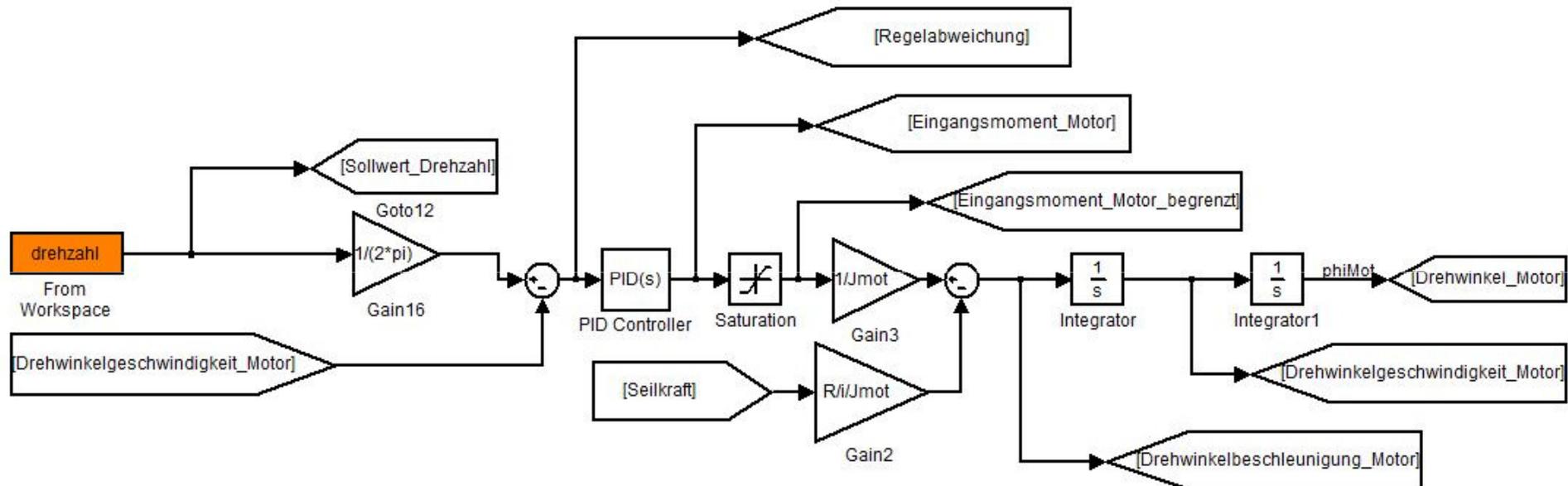
- Schema:



k_B Kranbahnsteifigkeit, k_T Kranträgersteifigkeit, c_T Kranträgerdämpfung, m_T Trägerersatzmasse, X_h Hauptreaktanz, X_i Gesamtstreureaktanz, R Gesamtwiderstand, J_{mot} Motorträgheitsmoment, M_{mot} Motormoment, φ_{mot} Motordrehwinkel, i Getriebeübersetzung, R Trommelradius, S Seilkraft, k_S Seilelastizität, c_S Seildämpfungskonstante, z Strangzahl, m_L Lastmasse, x_T Trägerkoordinate, x Lastkoordinate



- Motor:



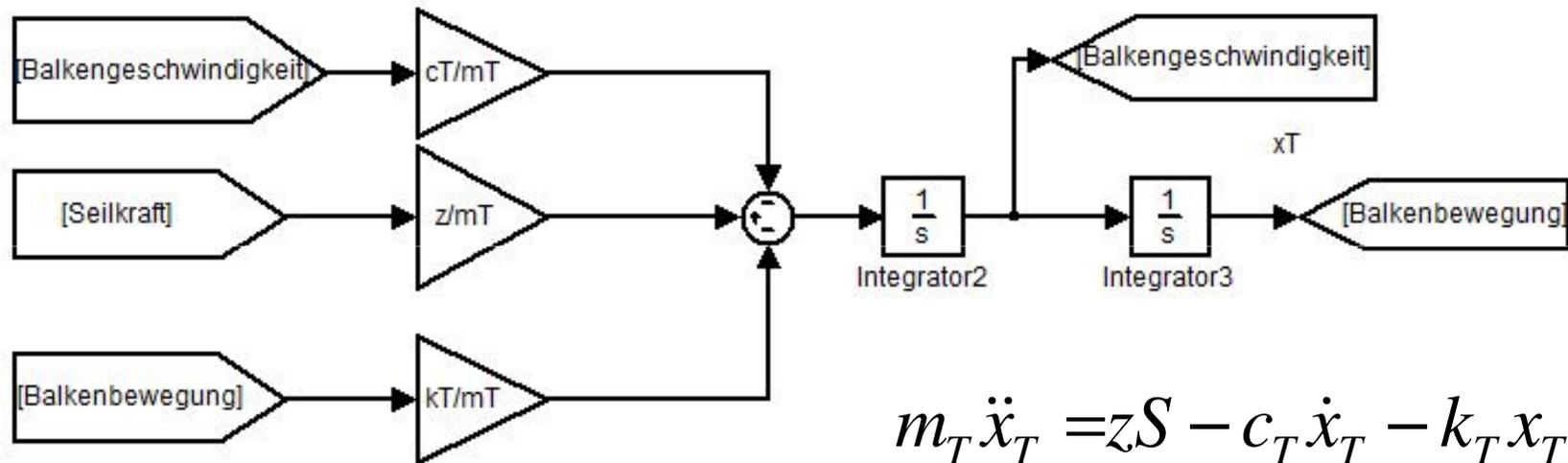
$$J_{Mot} \ddot{\varphi}_{Mot} = M_{Mot} - \frac{R}{i} S$$

Jmot...Trägheitsmoment Motor, i...Getriebeübersetzung

R...Antriebswellenradius



- Balken:

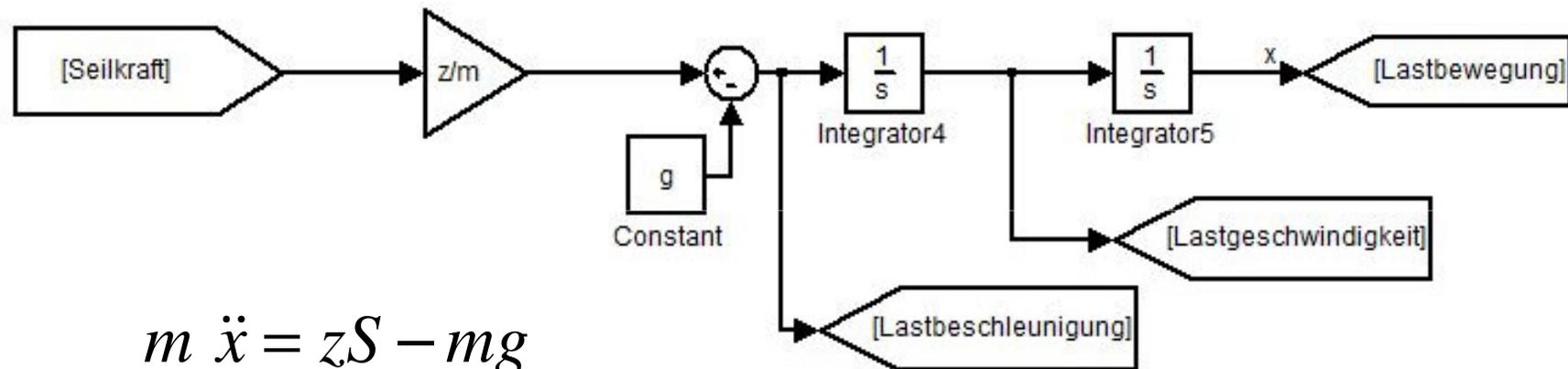


z....Strangzahl, kT...Federsteifigkeit Balken,

mT...Masse Balken, cT...Dämpferkonstante Balken



- Last:

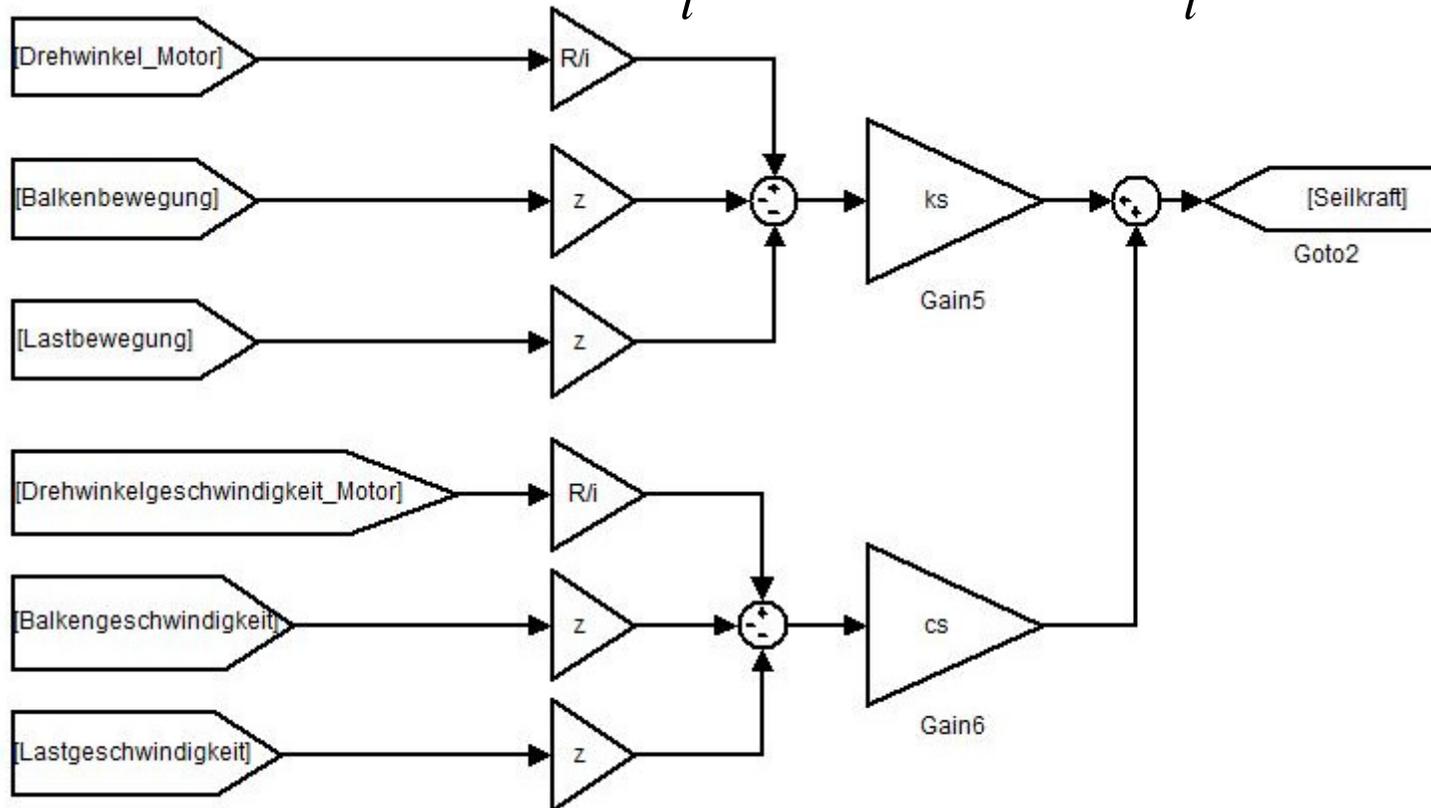


z...Strangzahl, m...Masse der Last, g...Erdbeschleunigung



- Seilkraft:

$$S = k_S \left(\frac{R}{i} \varphi_{Mot} - z x - z x_T \right) + c_S \left(\frac{R}{i} \dot{\varphi}_{Mot} - z \dot{x} - z \dot{x}_T \right)$$

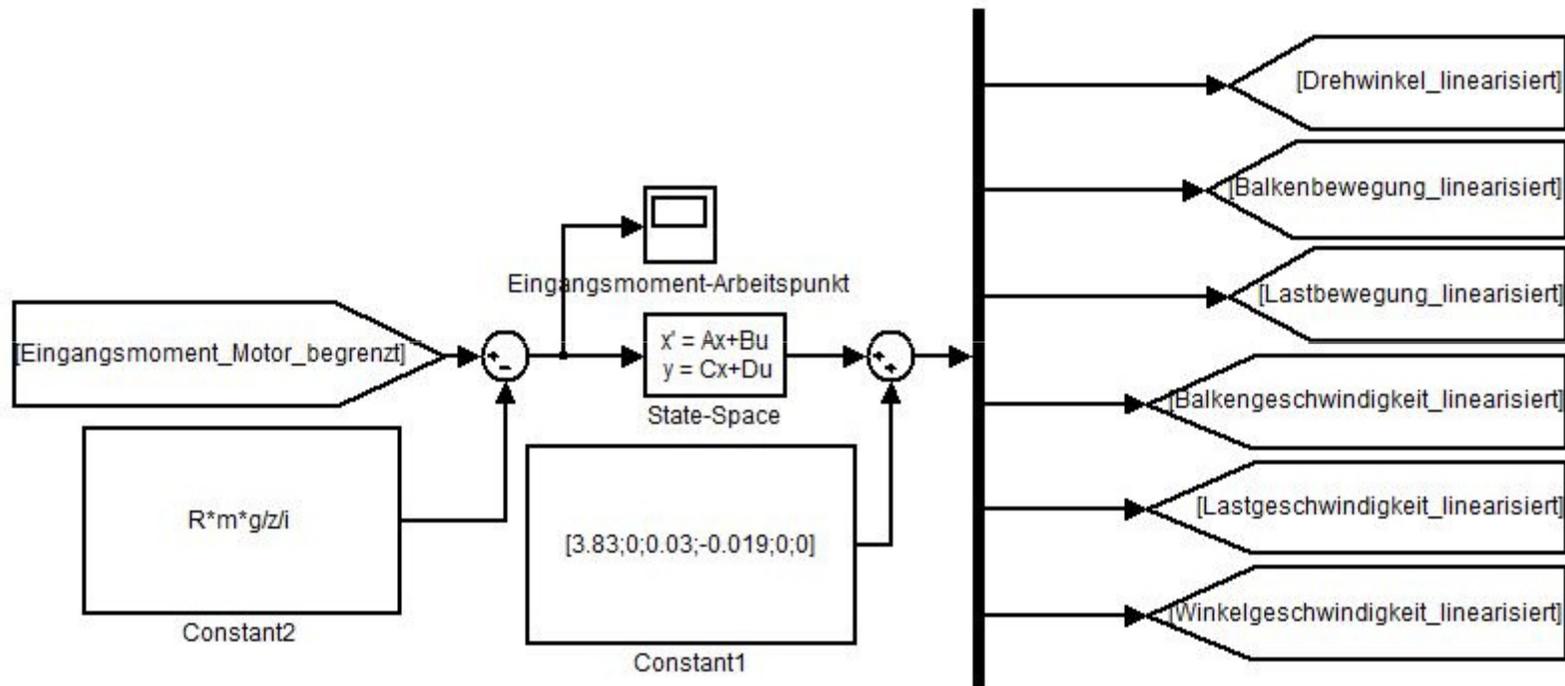


R...Radius Antriebswelle, i...Übersetzung Getriebe

ks...Federkonstante Seil, cs...Dämpferkonstante Seil

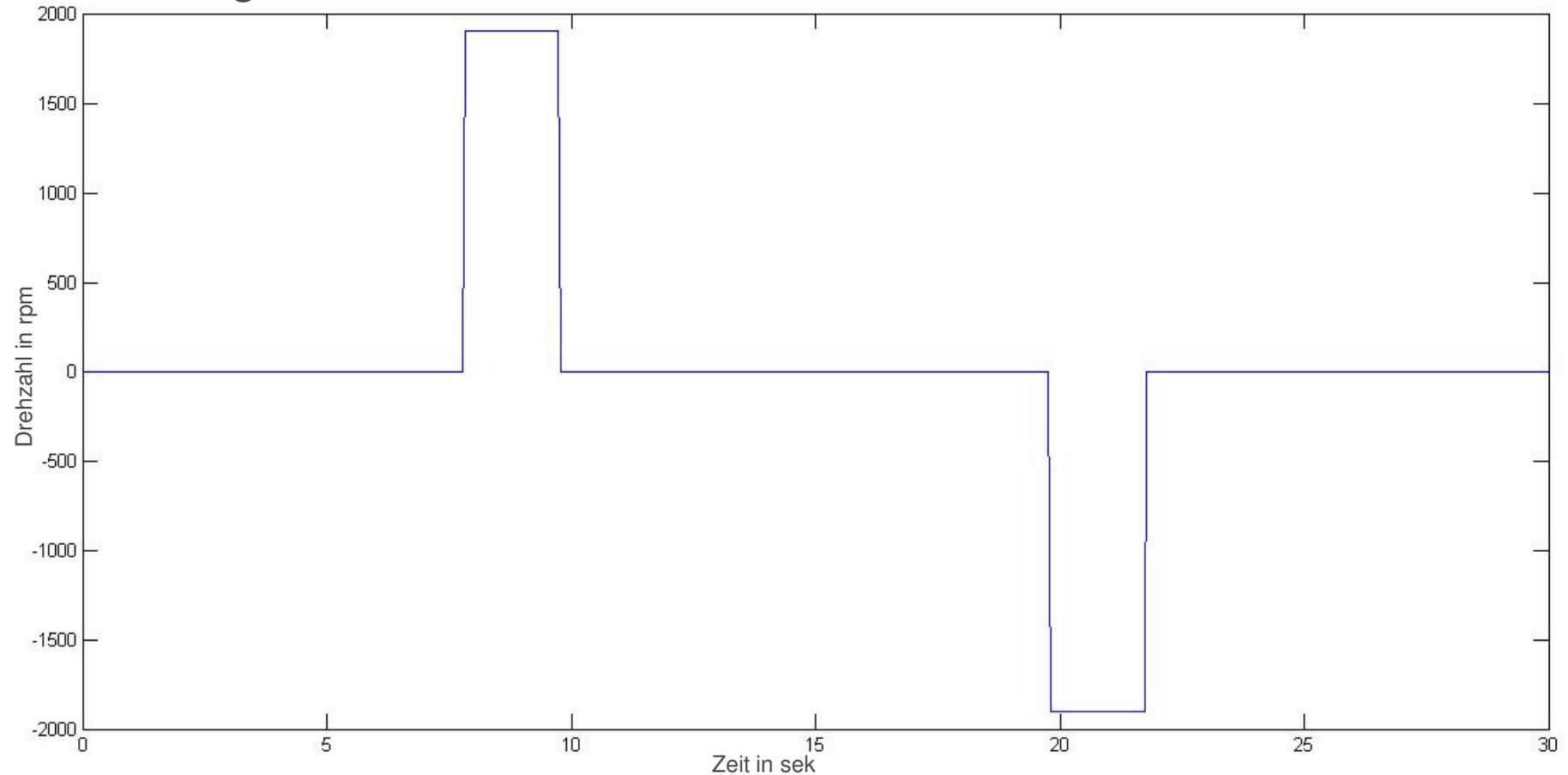


- Linearisiertes System:

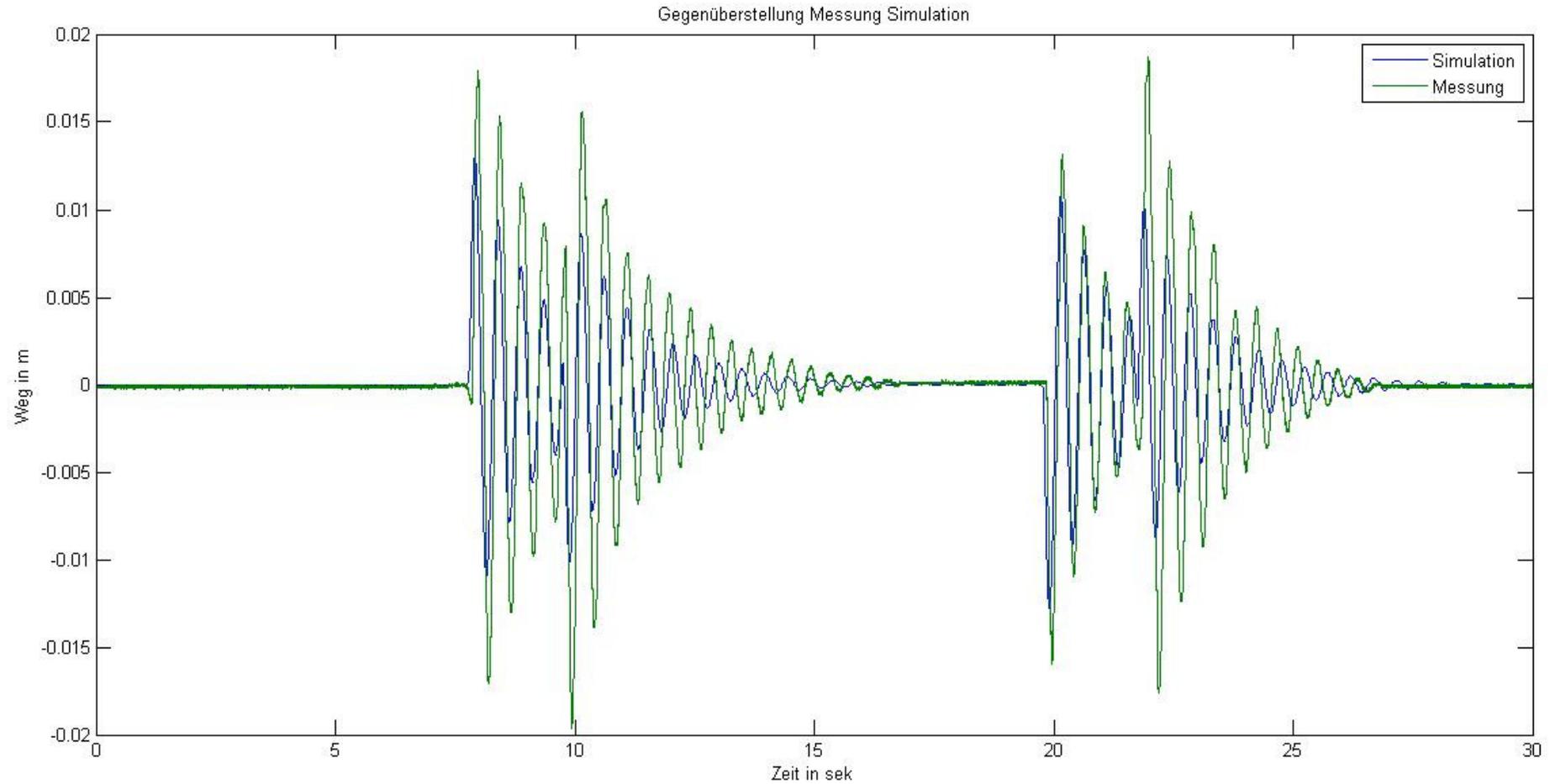




■ Programmierter Drehzahlverlauf:



Modellbildung - Validierung



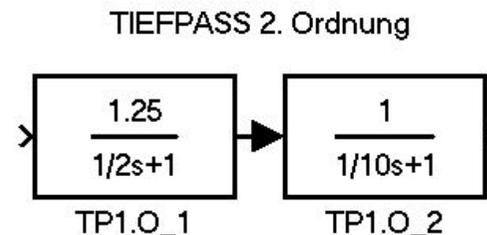


- Rückkopplung durch den Mensch als Regler
 - Übertragungsfunktion:

$$H(s) = k \cdot \frac{1 + T_1 s}{1 + T_2 s} \cdot \frac{1}{1 + T_n s} \cdot e^{s\tau}$$

Aus „Elektrotechnik Lernkarten , Thomas Schlebusch 2009“

- Mensch bewirkt im schlechtesten Fall eine Mitkopplung der Schwingung
- Abhilfe durch TP 2. Ordnung



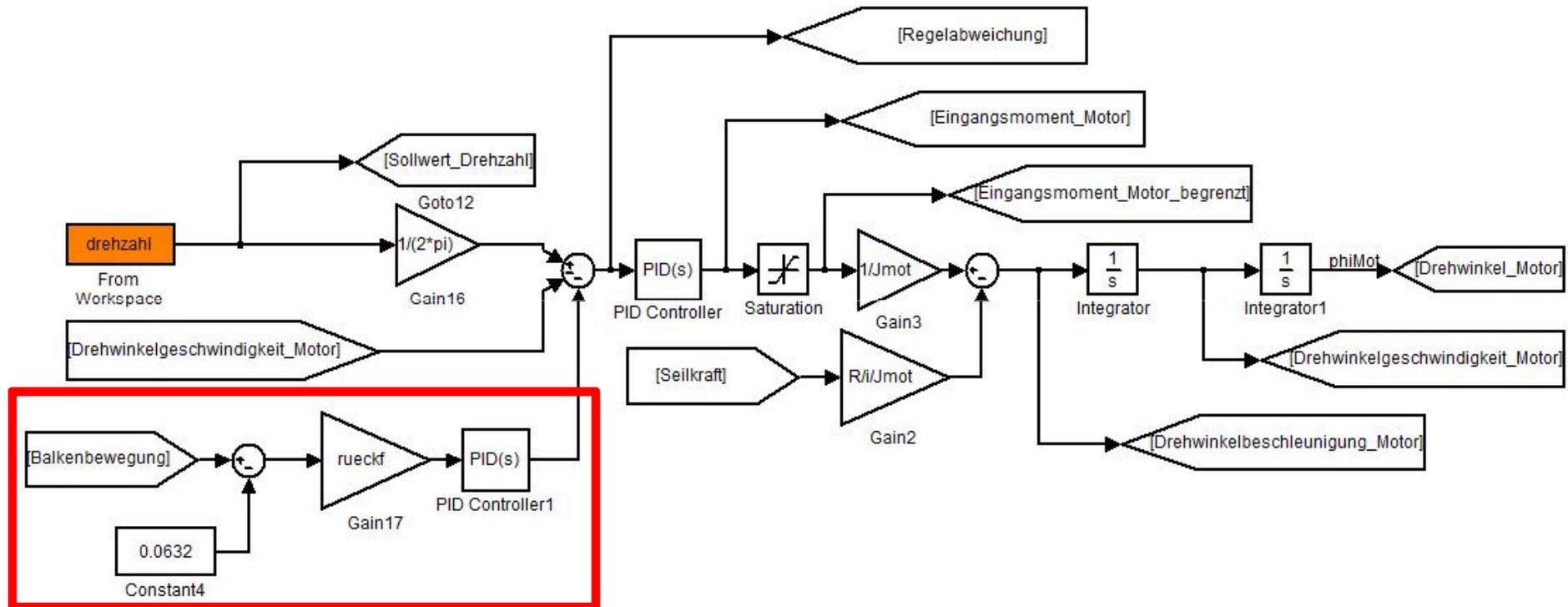


- Implementierung verschiedener Regler:
 - Feedback-PID-Regler
 - LQR
 - FKL-Entwurf

Regelung – PID

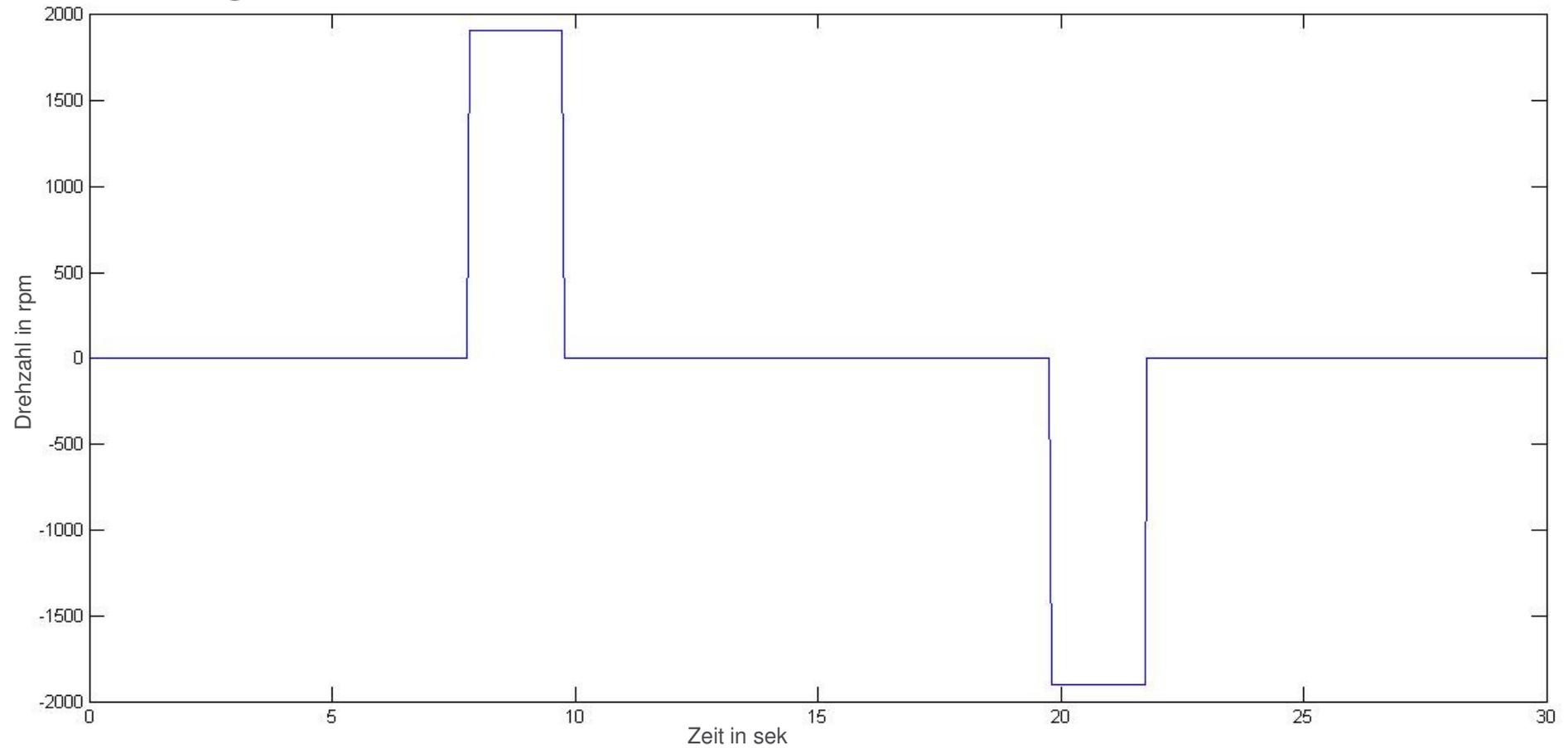


- Erstes einfaches Regelungskonzept:

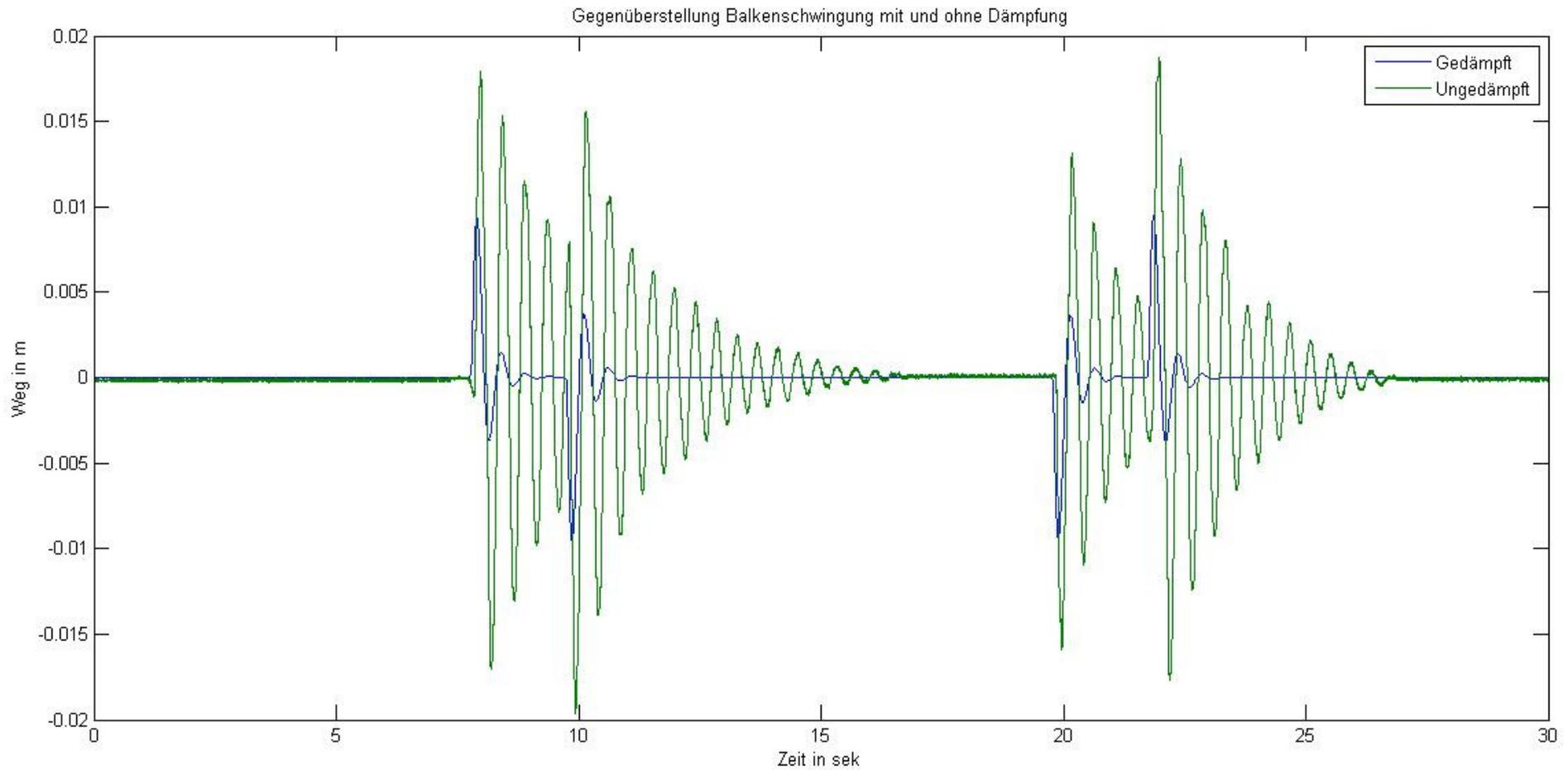




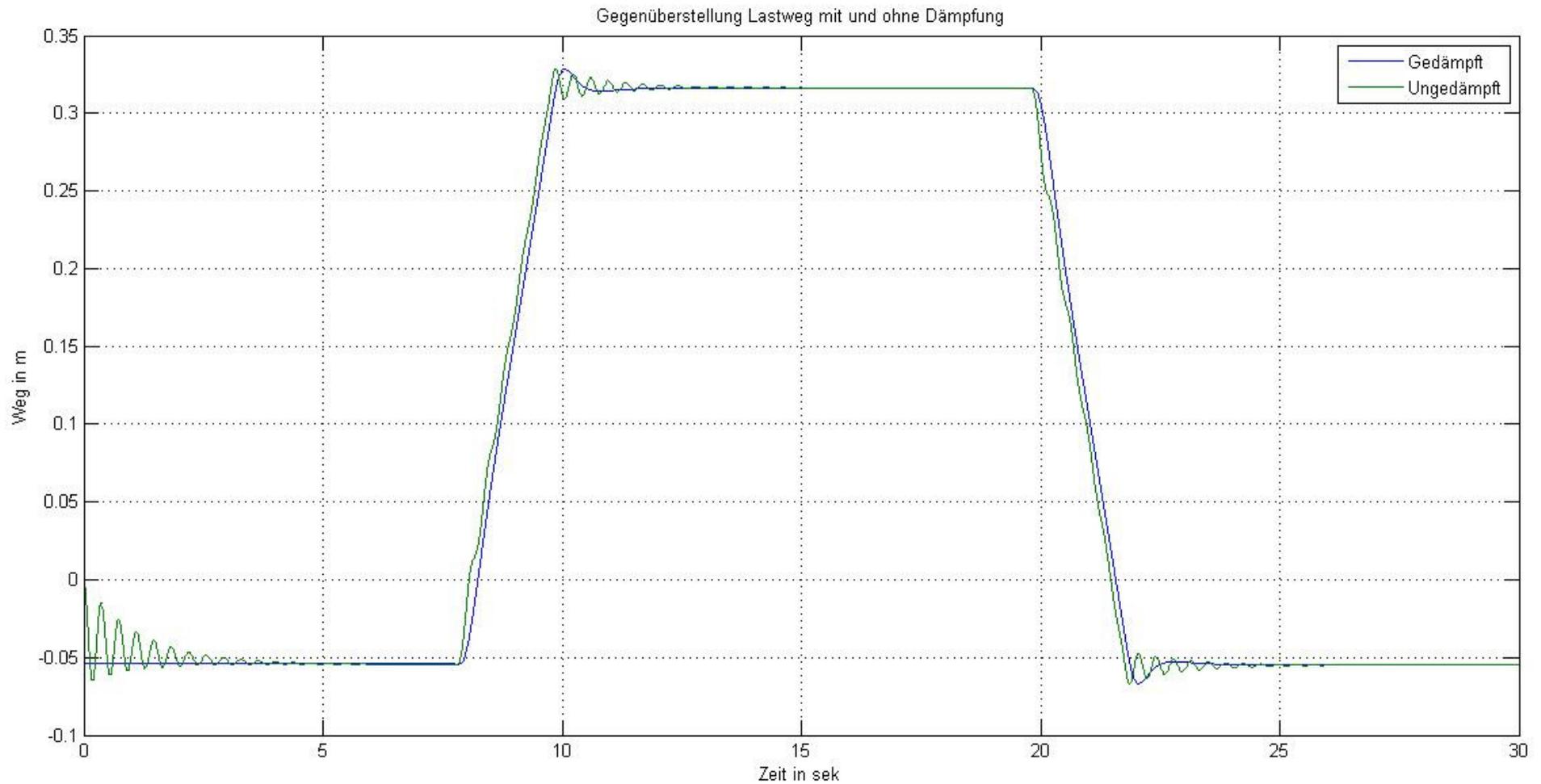
■ Programmierter Drehzahlverlauf:



Regelung – PID



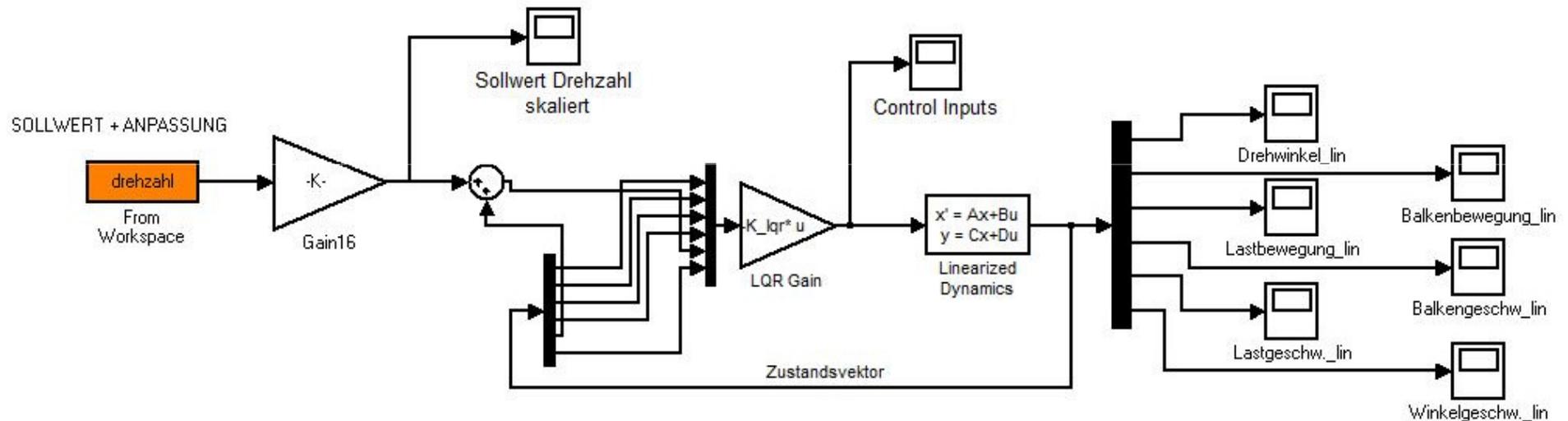
Regelung – PID



Regelung – LQR

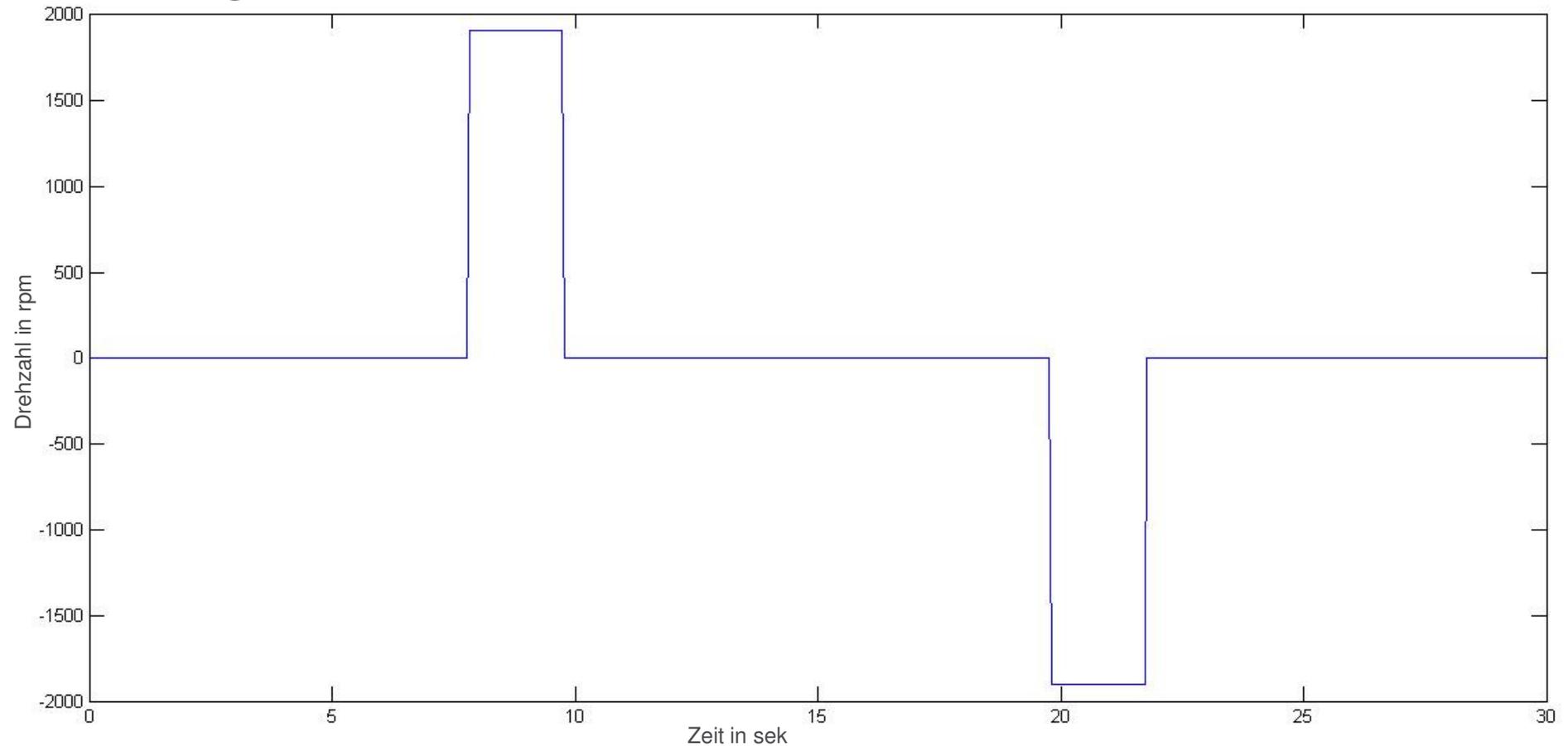


- Regelungskonzept:

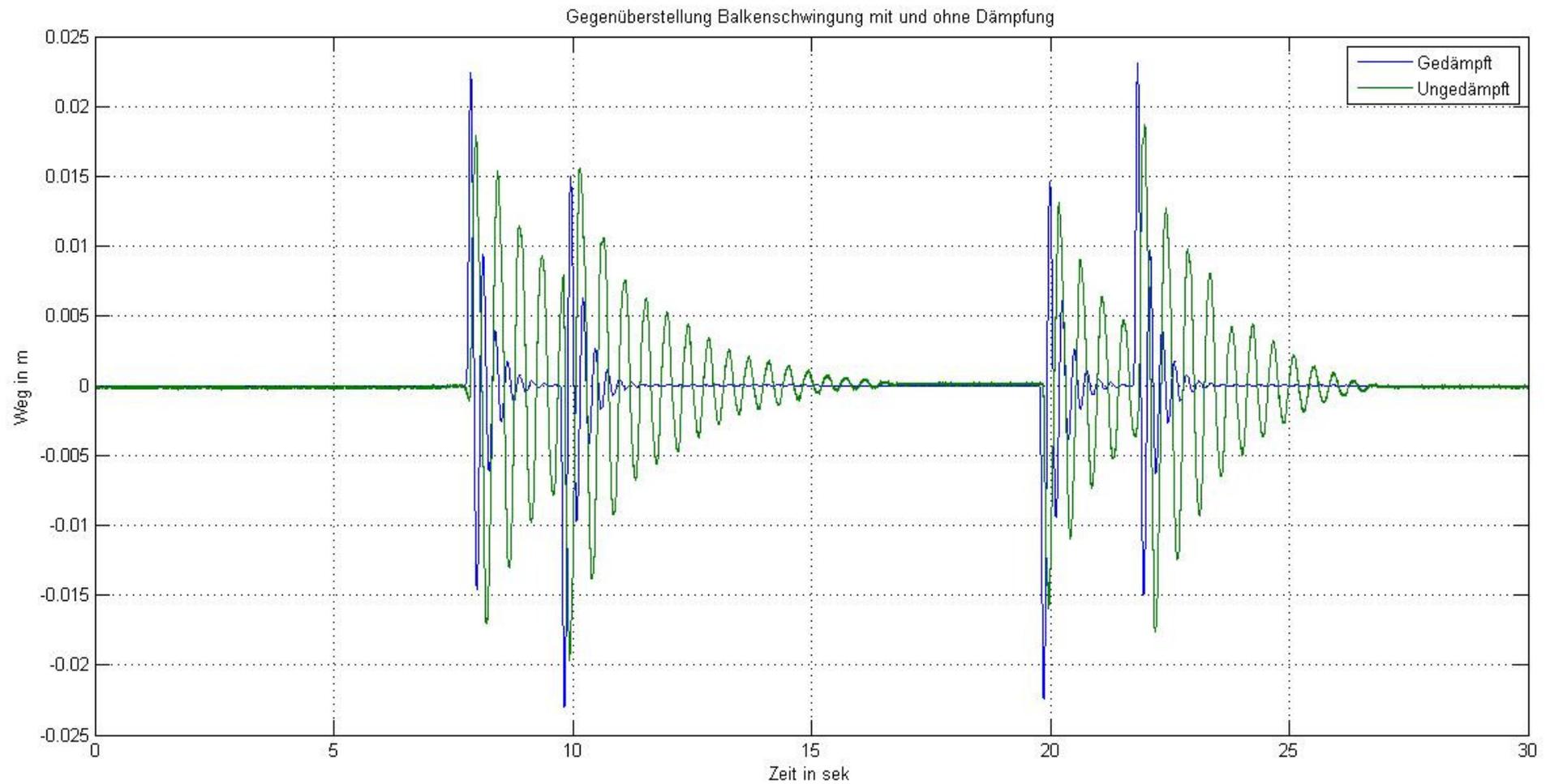




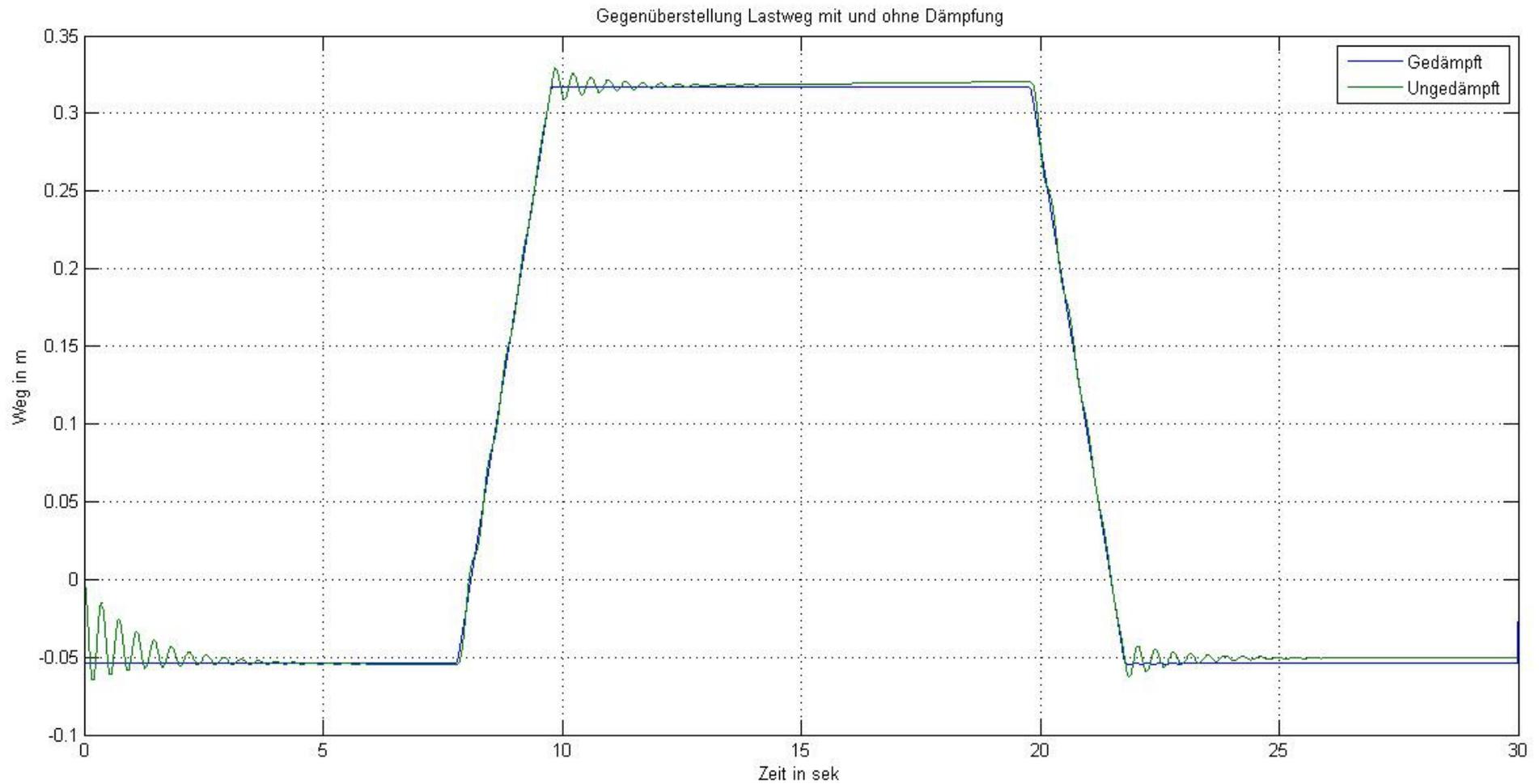
- Programmierter Drehzahlverlauf:



Regelung – LQR



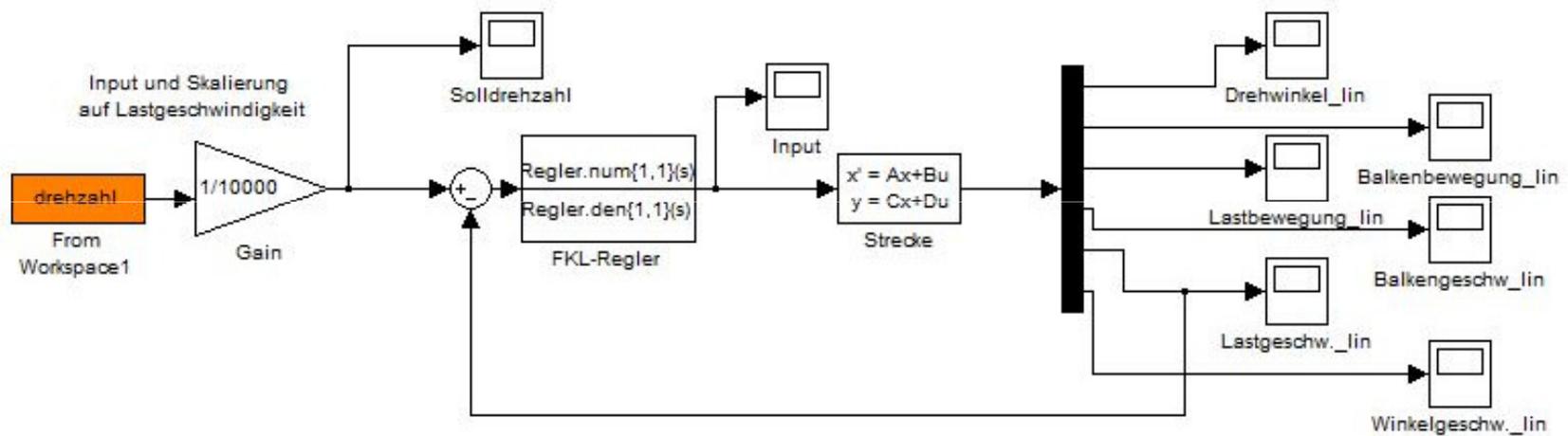
Regelung – LQR



Regelung – FKL-Entwurf

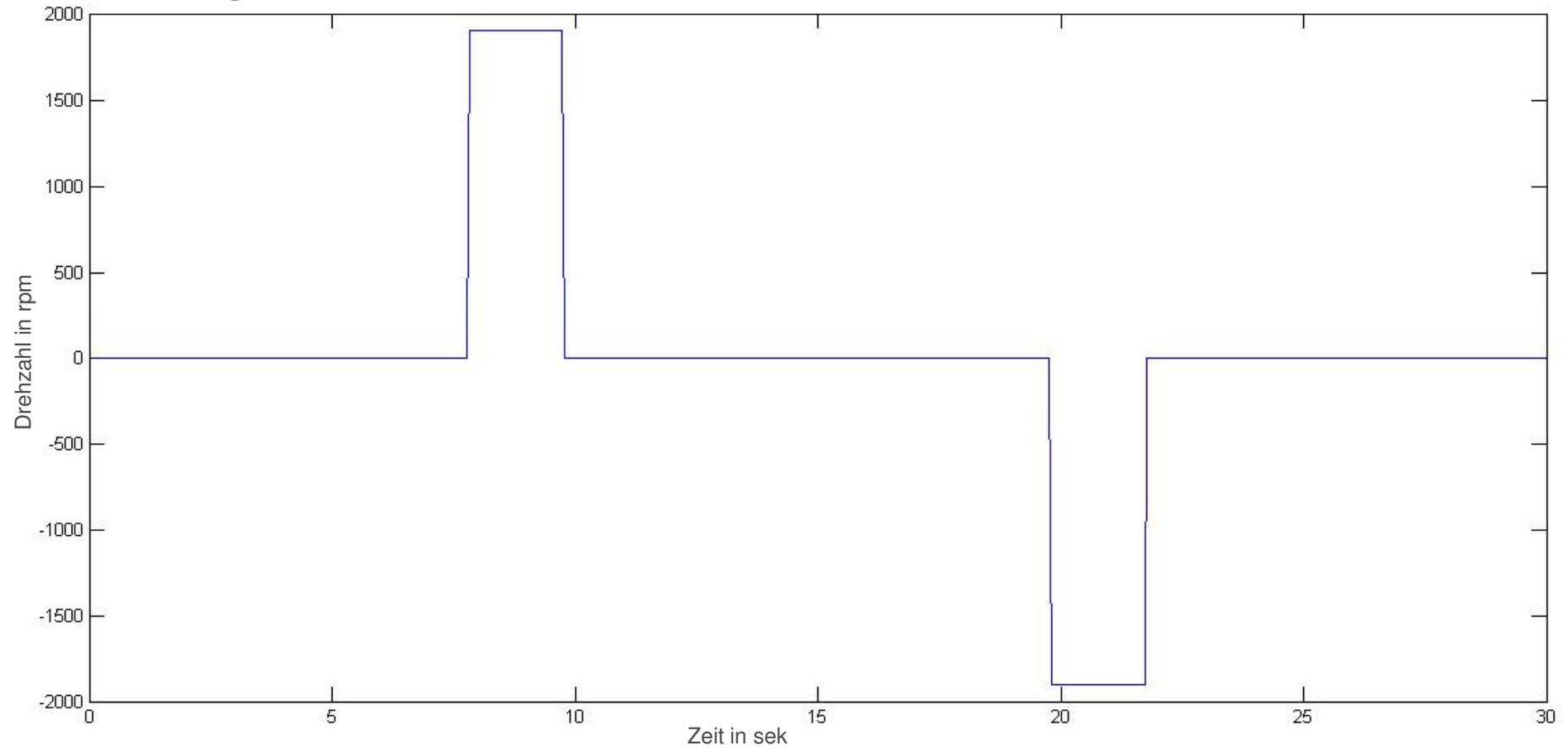


- Regelungskonzept:

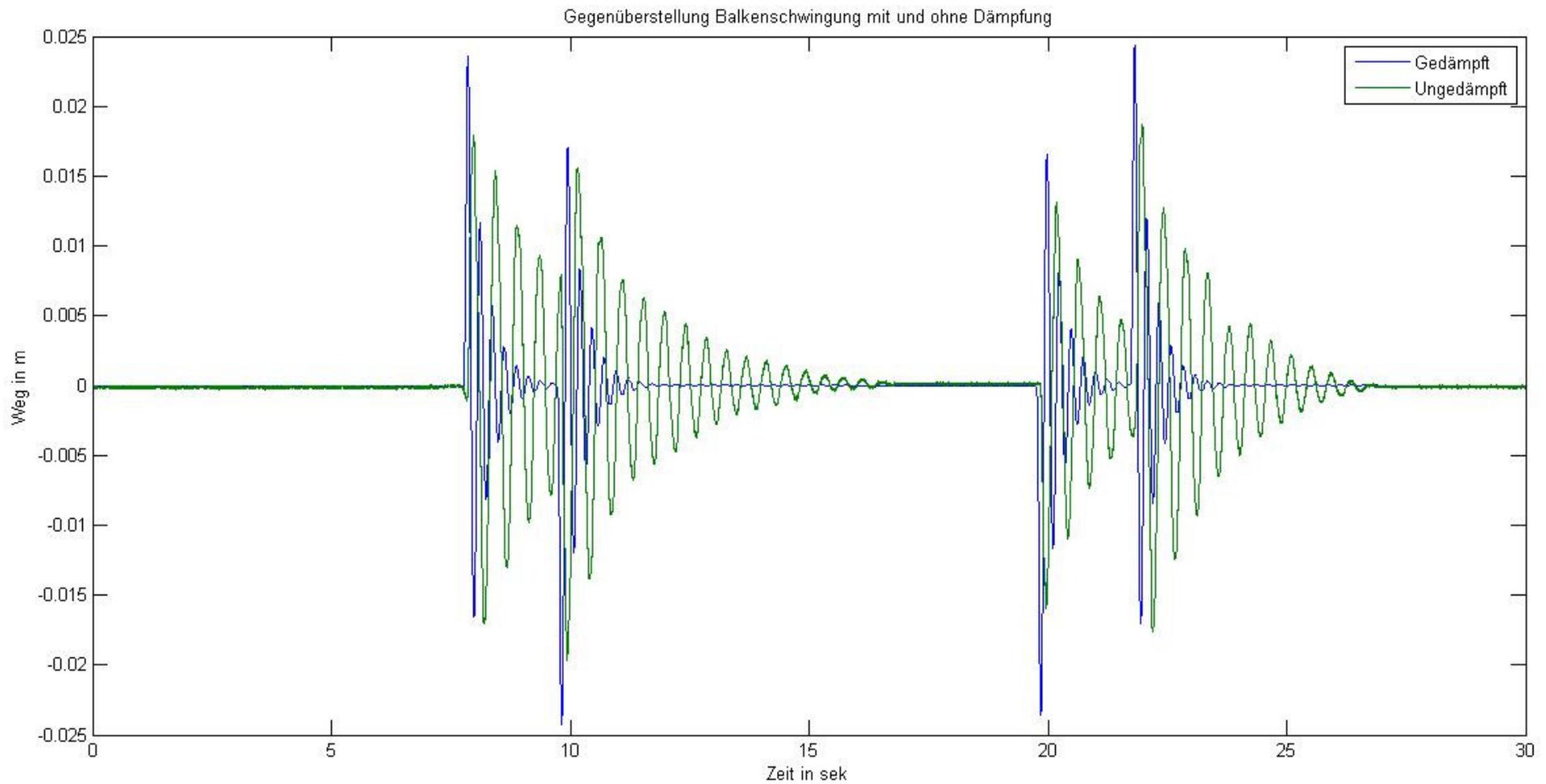




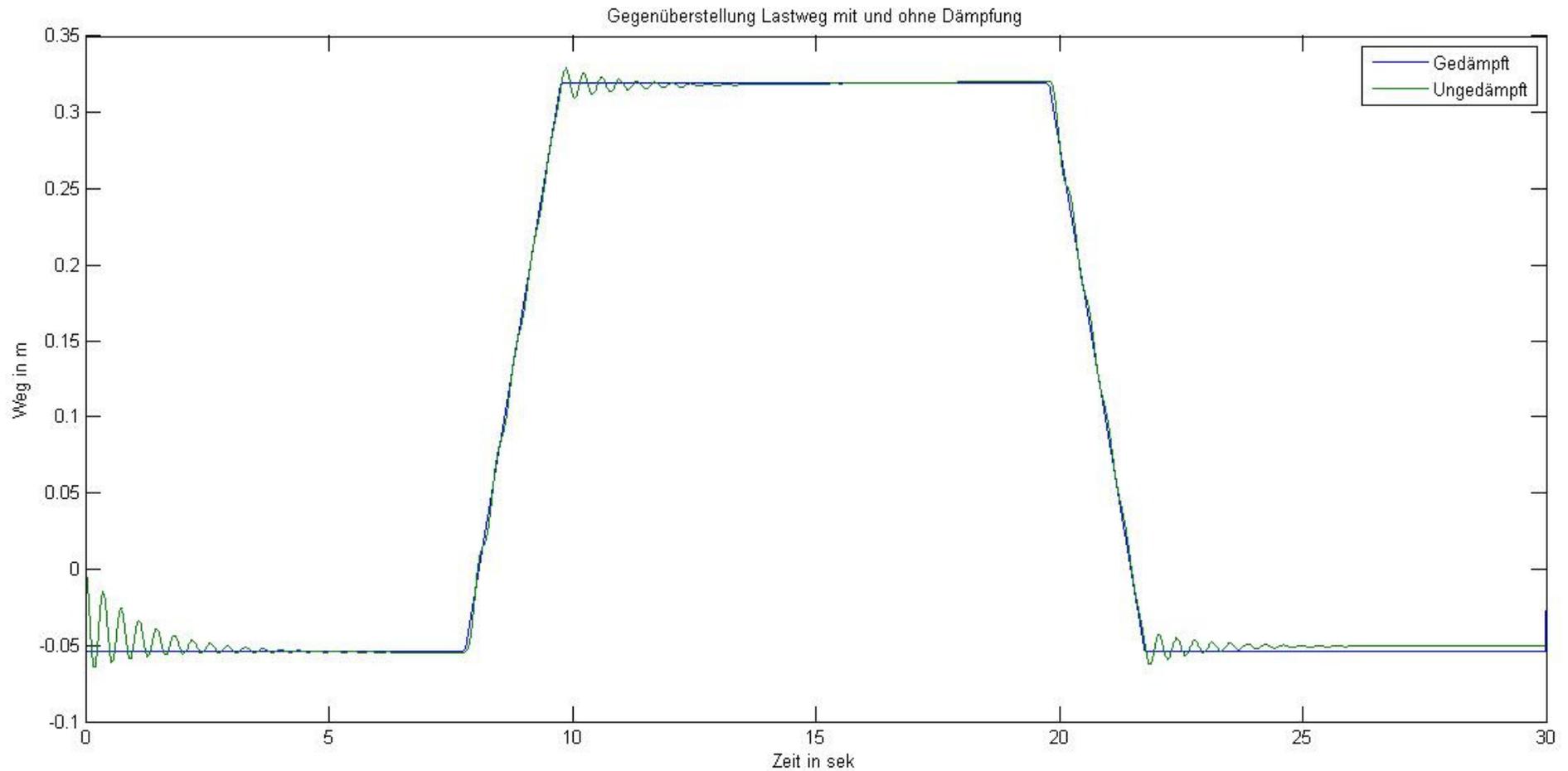
■ Programmierter Drehzahlverlauf:



Regelung – FKL-Entwurf



Regelung – FKL-Entwurf





- LQR aufgrund geringer Stellgrößen und sehr gutem Schwingverhalten gewählt
- Beobachter notwendig
- Implementierung von Beobachter und Regler teilweise schwierig im C-Code



- Kalman-Beobachter schätzt mittels Stellgröße und Sensorausgängen den aktuellen Zustandsvektor

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + L(y - Cx(t) - Du(t))$$

$$\begin{bmatrix} y(t) \\ x(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ I \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix} u(t)$$

Q...Kovarianzmatrix Prozessrauschen

R...Kovarianzmatrix Messrauschen

N...Kreuzkorrelation

G...Einfluss des Prozessrauschen auf die Zustände

H...Einfluss des Prozessrauschen auf die Ausgänge

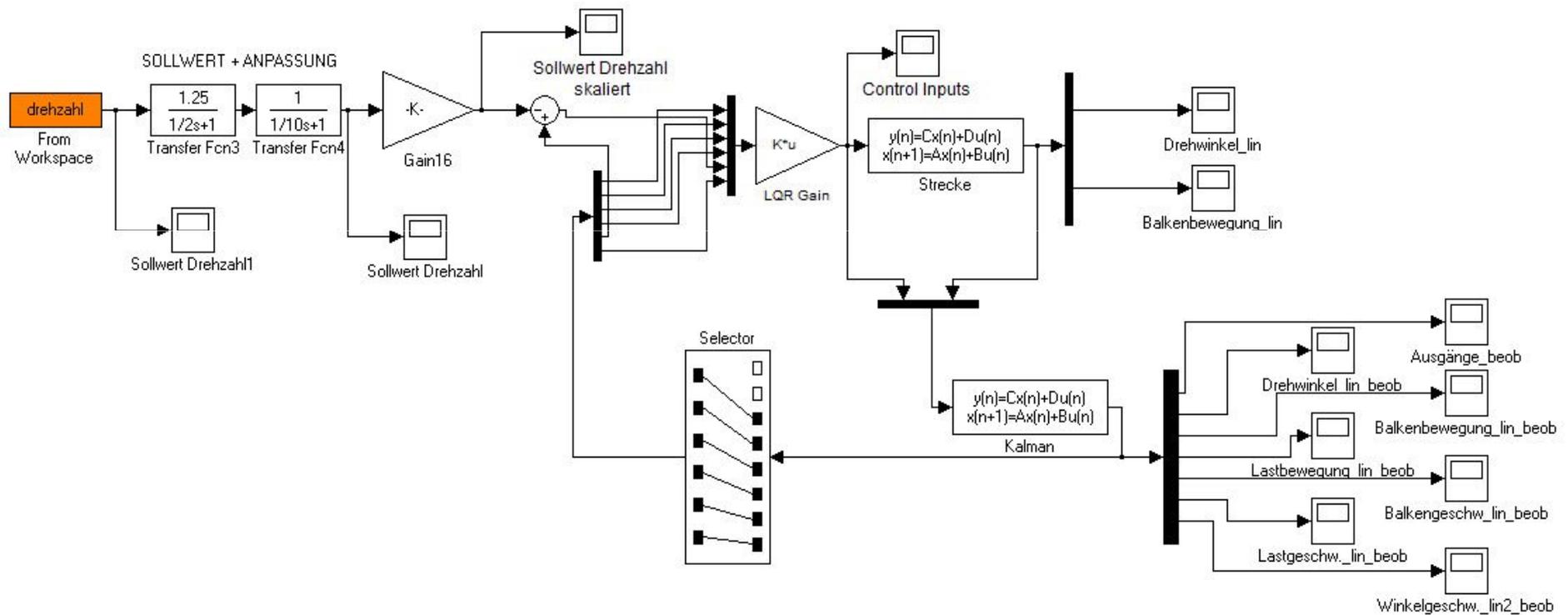
$$L = (PC^T + \bar{N})\bar{R}^{-1}$$

$$\text{mit } \bar{R} = R + HN + N^T H^T + HQH^T$$

$$\text{und } \bar{N} = G(QH^T + N)$$



- Struktur mit LQR und Beobachter (zeitdiskret)





- Schwingverhalten deutlich verbessert
- Mögl. Mitkopplung durch den Bediener vollständig verhindert
- Schnellere Taktzeiten bei Manipulationsvorgängen möglich
- Arbeits- und Warensicherheit deutlich erhöht
- Exaktes Positionieren der Last vereinfacht

Ergebnisse und Fazit

