

Systemdynamik und Regelungstechnik

Übung 9: Fast Sampling Design, Zeitdiskreter Reglerentwurf

Lukas Kölsch, M. Sc.

INSTITUT FÜR REGELUNGS- UND STEUERUNGSSYSTEME (IRS)



Übung/Tutorium 9: Themen

Übung

Tutorium

Fast Sampling
Design

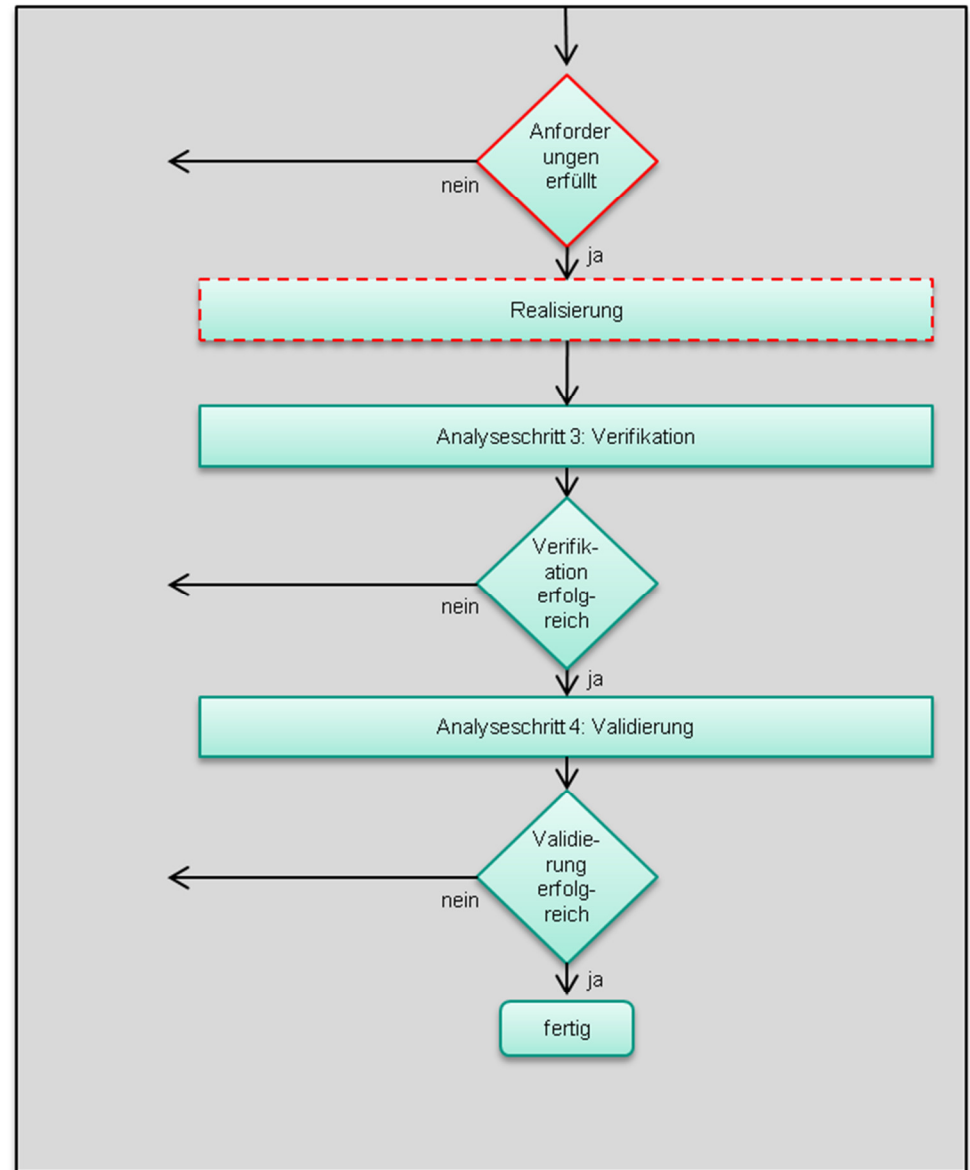
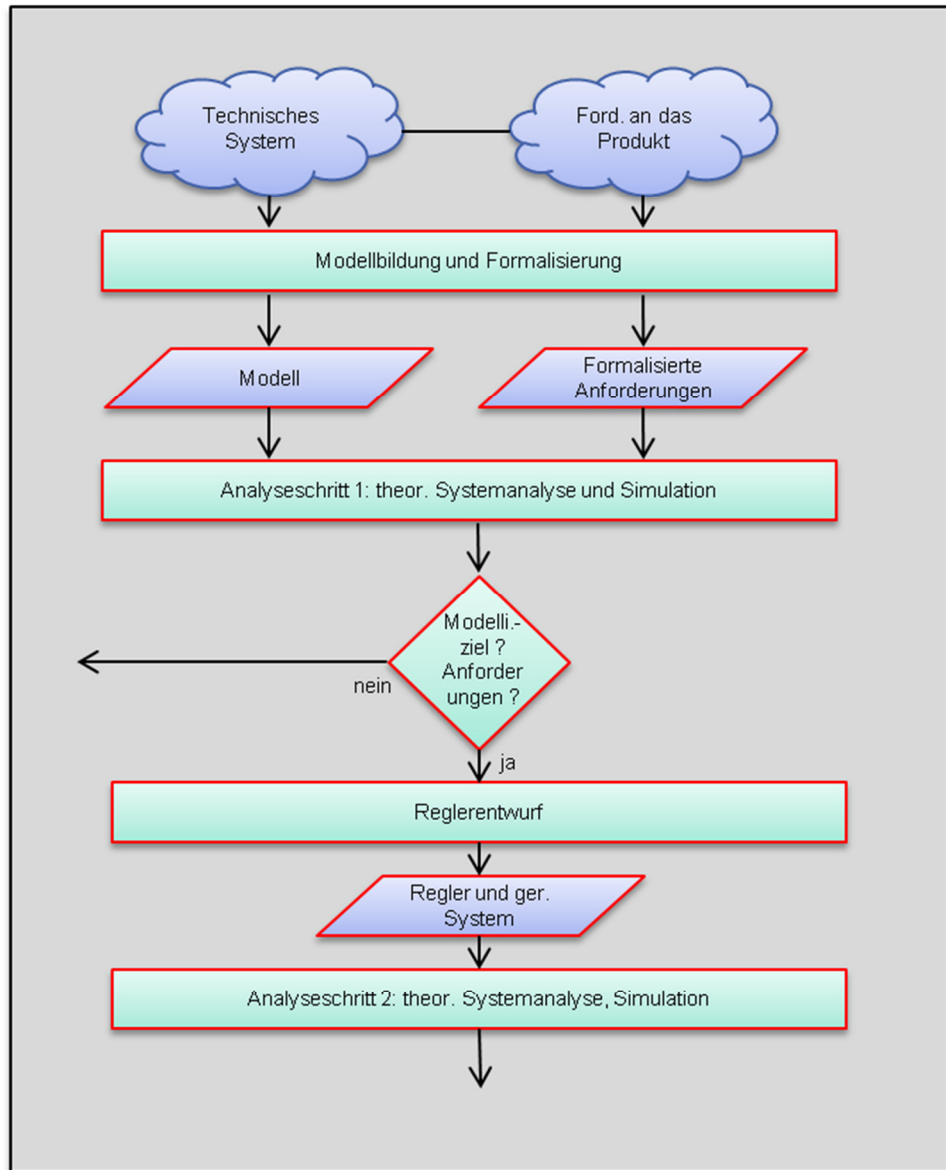
Zeitdiskretisierung

Deadbeat-Regler

Regleralgorithmus

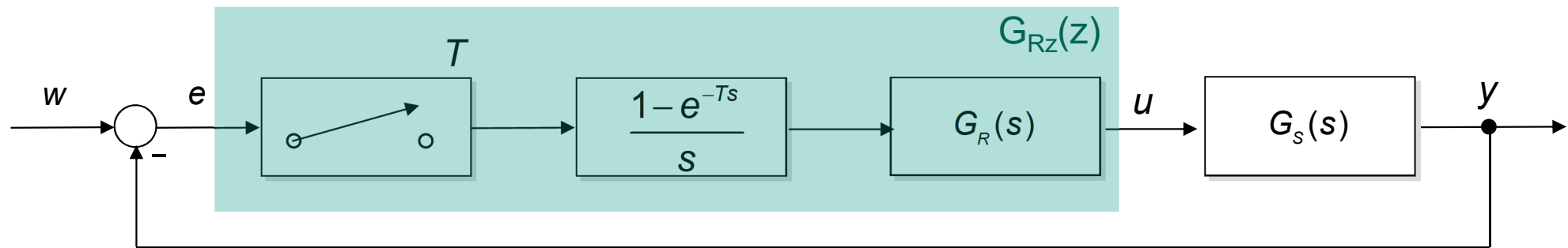
Hinweise zur Klausur

Entwicklungsablauf für Regelungssysteme

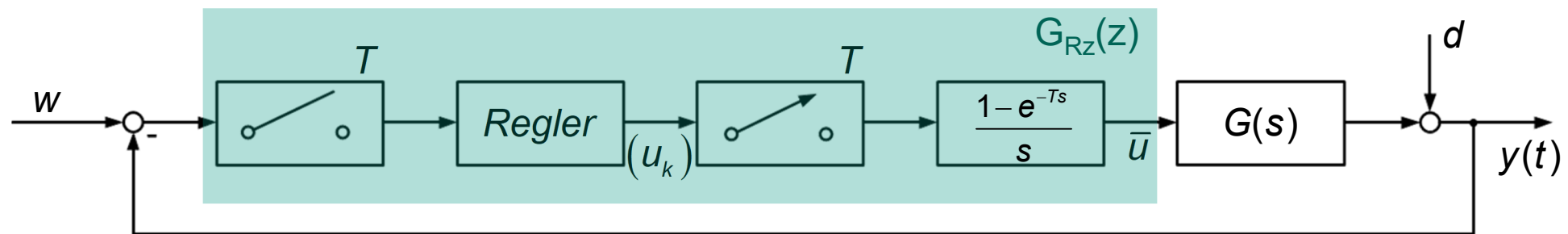


Zeitdiskrete Regler für kontinuierliche Strecken

- Weg 1: Zeitdiskretisierung eines im Zeitkontinuierlichen Bereich entworfenen Reglers → „Fast-Sampling-Design“



- Weg 2: zeitdiskreter Reglerentwurf für zeitdiskretisierte Strecke





Zeitdiskretisierung kontinuierl. Systeme

- $\mathfrak{z}$ -Transformation:
$$G_{Rz}(z) = \frac{z-1}{z} \mathfrak{z} \left\{ \frac{G_R(s)}{s} \right\}$$
 - Umweg über Zeitbereich und Abtastung $\rightarrow$ nicht sinnvoll für differenzierende Systeme
 - Vorgehen: PBZ von $\frac{G_R(s)}{s} \rightarrow$ Korrespondenztabelle $\rightarrow$ Multiplikation mit $\frac{z-1}{z}$
- Euler-Approximation:
 - Approximation des Verlaufs der Ableitung $\dot{y} = f(t)$ durch „untere Treppe“ $y_k = y_{k-1} + T f(k-1)$
 - Vorgehen: Ersetzen von $s = \frac{z-1}{T}$ in der Übertragungsfunktion
- Tustin-Approximation:
 - Approximation des Verlaufs der Ableitung $\dot{y} = f(t)$ durch Trapez/„gemittelte“ Treppe
$$y_k = y_{k-1} + \frac{T}{2} (f(k) + f(k-1))$$
 - Vorgehen: Ersetzen von $s = \frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1}$ in der Übertragungsfunktion

Aufgabe 53 (TR)

■ c) kontinuierlicher PI-Regler $G_{R3}(s) = \frac{4(1+s)}{s}$ soll diskretisiert werden

■ Euler: $G_{R3z}(z) \big|_{\text{Euler}} = 4 \frac{z+T-1}{z-1}$

■ Tustin: $G_{R3z}(z) \big|_{\text{Tustin}} = 2 \frac{(T+2)z+(T-2)}{z-1}$

■ z-Trafo: $G_{R3z}(z) \big|_{\text{z-Trafo}} = 4 \frac{z+T-1}{z-1}$

Zeitdiskreter Entwurf: Kompensationsregler

- Für Strecken der Form: $G_{Hz}(z) = \frac{Q(z)}{N(z)} z^{-d}$ wobei: $Q(z) = q_0 + q_1 z^{-1} + \dots + q_m z^{-m}$

$$N(z) = p_0 + p_1 z^{-1} + \dots + p_n z^{-n}$$

- Ansatz wie im Kontinuierlichen: $G_{Rz}(z) = \frac{1}{G_{Hz}(z)} \frac{F_{Wz}(z)}{1 - F_{Wz}(z)}$



- Voraussetzungen beachten:

- | | | |
|--------------------------|---|--|
| ■ G_{Hz} stabil | → | alle Pole im Einheitskreis |
| ■ G_{Hz} minimalphasig | → | keine Nullstelle außerhalb des Einheitskreises |
| ■ G_{Rz} kausal | → | F_{Wz} enthält z^{-d} |
| ■ Mitkopplung stabil | | |

→ A55 (TR)



Zeitdiskreter Entwurf: Deadbeat-Regler

- 2 Spezialfälle des Kompensationsreglers:
 - „Deadbeat-Regler“/“Regler mit endlicher Einstellzeit“:

Ansatz:
$$F_{Wz}(z) = \frac{Q(z)}{\sum_{i=0}^m q_i} z^{-d}$$

Regler:
$$G_{Rz}(z) = \frac{N(z)}{\sum_{i=0}^m q_i - Q(z)z^{-d}}$$

Verhalten: führt (auch kontinuierliche)
Regelgröße in endlicher Zeit auf
konstanten Endwert, auch Stellgröße
eingeschwungen

- „schneller Deadbeat-Regler“/“Deadbeat-Regler mit maximaler Geschwindigkeit“:

Ansatz:
$$F_{Wz}(z) = z^{-d}$$

Regler:
$$G_{Rz}(z) = \frac{N(z)}{Q(z)} \frac{1}{1 - z^{-d}}$$

Verhalten: führt Regelgröße in kürzester Zeit
auf konstanten Endwert in den
Abtastpunkten, dazwischen
Schwingung, da Stellgröße schwingt

Zu implementierender Regleralgorithmus

- Aus gegebener Regler-Übertragungsfunktion $G_{Rz}(z) = \frac{U_z(z)}{E_z(z)}$
- Rücktransformation in den Zeitbereich $\rightarrow$ Differenzengleichung

$$f(u_k, u_{k-1}, \dots, e_k, e_{k-1}, \dots) = 0$$

- Rekursiver Regelalgorithmus
 $\rightarrow$ mit FIFO-Speichern, Additionen und Multiplikationen einfach realisierbar

Vorgehensweise:

- Regler auf die Form $G_{Rz}(z) = \frac{U_z(z)}{E_z(z)} = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + \dots}{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots}$ bringen
- Rücktransformation ($U_z(z)z^{-n} \rightarrow u_{k-n}$)
- Nach u_k auflösen



Aufgabe 54 (UE)

- Zeitdiskrete Regelung eines kontinuierlichen Totzeitsystems

$$G_S(s) = \frac{e^{-T_t s}}{s(s+1)}$$

- a) Wahl der Abtastzeit:

- Fast Sampling Design (FSD):
 - $T < \frac{\pi}{|s_{\max}| \cdot (10..40)}$
 - $T_t = d \cdot T, \quad d \in \mathbb{Z}$ empfohlen
- Zeitdiskreter Entwurf:
 - $T < \frac{\pi}{|s_{\max}| \cdot 4}$
 - $T_t = d \cdot T, \quad d \in \mathbb{Z}$ zwingend

größter Betrag eines
Streckenpols

- Je kleiner die Abtastzeit, desto näher am kontinuierlichen Regler ist ein FSD-Entwurf! (quasi-kontinuierliche zeitdiskrete Regelung)
- Mit steigender Abtastzeit wird FSD immer schlechter → zeitdiskreter Entwurf bis zu relativ großen Abtastzeiten möglich



Aufgabe 54 (2)

b) Realer PD-Regler, Kompensation des Streckenpols bei -1

→ Verstärkungsfaktor für geforderte Durchtrittsfrequenz 0,75
mit SISO-Tool ermittelt: $k_R=0,752$

$$\rightarrow G_R(s) = 0,752 \frac{s+1}{0,1s+1}$$

→ Diskretisierung mit z-Trafo und $T_A=T_t/9$:

$$\rightarrow G_{Rz}(z) = \frac{7,52z - 7,116}{z - 0,4629}$$

```
tf([...,a2,a1,a0],[...,b1,b0])
sys.outputd
sisotool(sys,con)
c2d(sys,T)
[num,den]=tfdata(sys)
```

c) Diskretisierung der Strecke mit z-Trafo und $T_A=T_t$:

$$\rightarrow G_{Sz}(z) = \frac{0,1931z^{-1} + 0,1534z^{-2}}{1 - 1,5z^{-1} + 0,5z^{-2}} z^{-1}$$

Deadbeat-Entwurf:

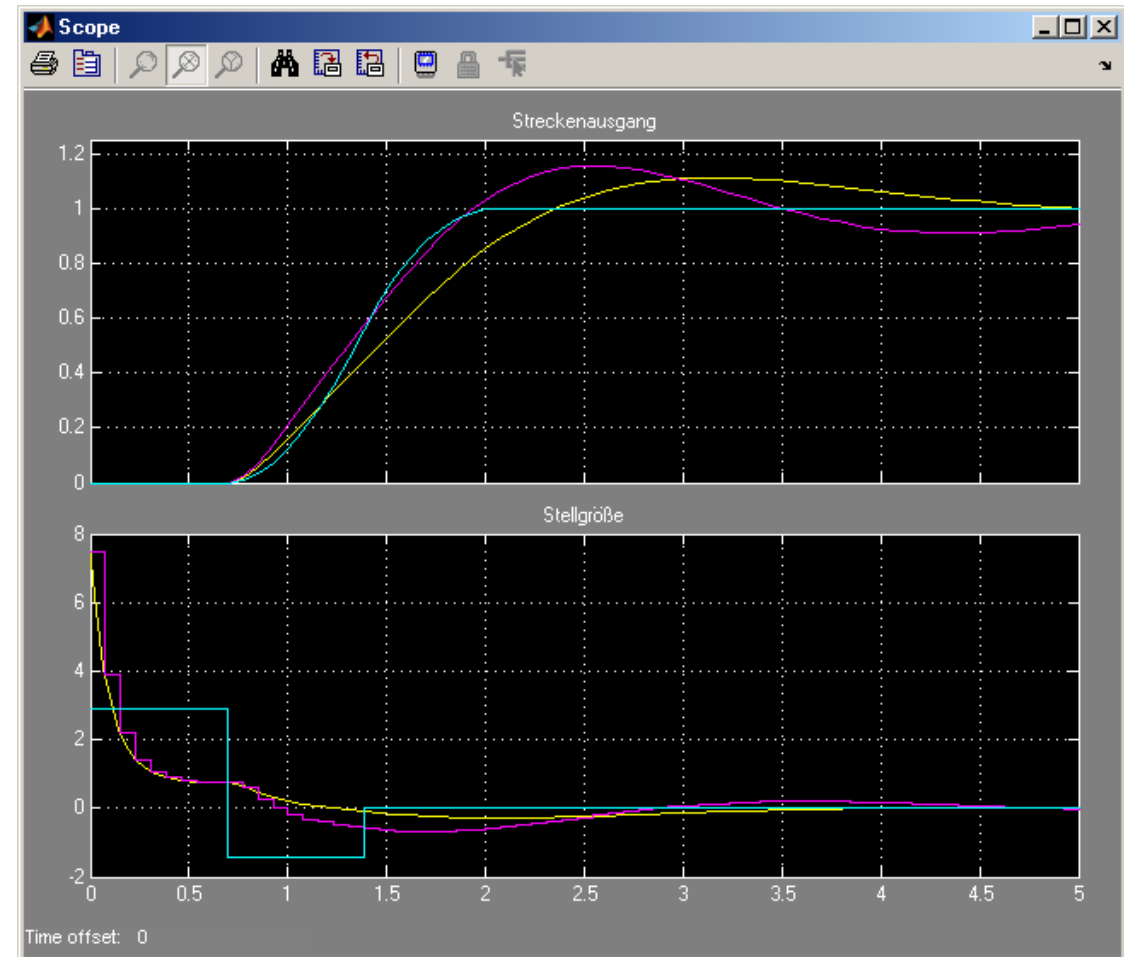
$$\rightarrow G_{R_DB}(z) = \frac{1 - 1,5z^{-1} + 0,5z^{-2}}{0,3465 - 0,1931z^{-2} - 0,1534z^{-3}}$$

Aufgabe 54 (3)

- d) Simulationsergebnis:
 - Regelkreise aus kontinuierlicher Strecke und
 - kontinuierlichem Regler (gelb)
 - Diskretisiertem Regler (violett)
 - Deadbeat-Regler (cyan)

- Ergebnis:
 - obwohl die Abtastzeit beim Deadbeat-Regler 9 mal so groß ist, wie beim diskretisierten Regler:
 - Regelgüte bei Deadbeat besser

 - Für deutlich kleinere Abtastzeiten geht violette Kurve zunehmend in gelbe Kurve über
 - „quasikontinuierlicher“ Regler



SRT – Was sollten Sie mitnehmen?

Systembeschreibung:

- Aufstellen von Modellgleichungen, Übertragungsfunktionen
- Transformieren von Signalen/Systemen in Zeit-/Frequenzbereich
- Signalflossbildumformungen
- Regelkreisstrukturen
- Verhalten elementarer Regelkreisglieder
- Realisierbarkeit von Regelkreisgliedern
- Erkennen von Nichtlinearitäten
- Linearisierung dynamischer Systeme
- Nutzen und Risiken von Simulationen
- Aufbau von Simulationen mit SIMULINK
- Zeitdiskrete Systeme, digitaler Regelkreis, Diskretisierungsverfahren

SRT – Was sollten Sie mitnehmen?

Analyse:

- Zeichnen/Interpretieren von Frequenzbereichsdarstellungen
 - Nyquist-Ortskurve (NOK)
 - Bode-Diagramm/Frequenzkennlinien (FKL)
 - Pol-/Nullstellen-Plan
- Erkennen von Systemeigenschaften
 - Stabilität
 - Stationäres Verhalten
- Anwenden der Stabilitätskriterien
 - Hurwitz (algebraisch)
 - Nyquist (graphisch)
- Zeichnen/Auswerten von Darstellungen mit MATLAB
- Ableiten von Spezifikationen für den Reglerentwurf aus Systemanalyse und Anforderungen

SRT – Was sollten Sie mitnehmen?

Reglerentwurf:

- Einstellregeln nach Ziegler-Nichols
 - Identifikation der Parameter an der Stabilitätsgrenze und Ableitung der Reglerparam.
- Vollständige Kompensation
- Einfache Einstellregeln (teilweise Kompensation)
 - Wahl des Reglertyps
 - Identifikation/Wahl der zu kompensierenden Zeitkonstanten
- Frequenzkennlinienverfahren
 - Wahl des Verstärkungsfaktors für geforderte Phasenreserve
- Wurzelortskurvenverfahren
 - Konstruktionsregeln, Wahl zusätzlicher Dynamik
- Parameteroptimierung
 - Betragsoptimum, Minimale quadratische Regefläche
 - Symmetrisches Optimum
- Vermaschte Regelkreisstrukturen
 - Kaskadenregelung, Störgrößenaufschaltung, Vorsteuerung
- Verwendung des SISO-Tools in MATLAB
- Fast-Sampling-Design, Zeitdiskreter Reglerentwurf, Deadbeat-Regler

Klausur - Organisatorisches

- Termin:
 - Di, 31.07.2018, 14.30-16.30 Uhr
- Ort:
 - Hörsaalverteilung wird noch bekannt gegeben (www.irs.kit.edu)
- Dauer/Umfang:
 - 120 Minuten für 4 Aufgaben
- Relevante Inhalte
 - Vorlesungsstoff
 - Übungsaufgaben
 - Fragen auch zu MATLAB/SIMULINK
- Zugelassene Hilfsmittel
 - Schreibzeug (Geodreieck für WOK mitnehmen!)
 - Formelsammlung, Aufgabenblätter und Lösungsblätter werden ausgeteilt

Klausur - Vorbereitung

- Verständnis (Vorlesungsunterlagen, Übungsfolien)
- Rechenpraxis
(TR-Aufgaben → UE-/TU-Aufgaben → alte Klausuraufgaben)
- bei Fragen:
 - Forum
 - Tutoren
 - Sprechstunde Übungsleiter:
 - vorher per E-Mail Termin ausmachen und Problemstellung grob schildern