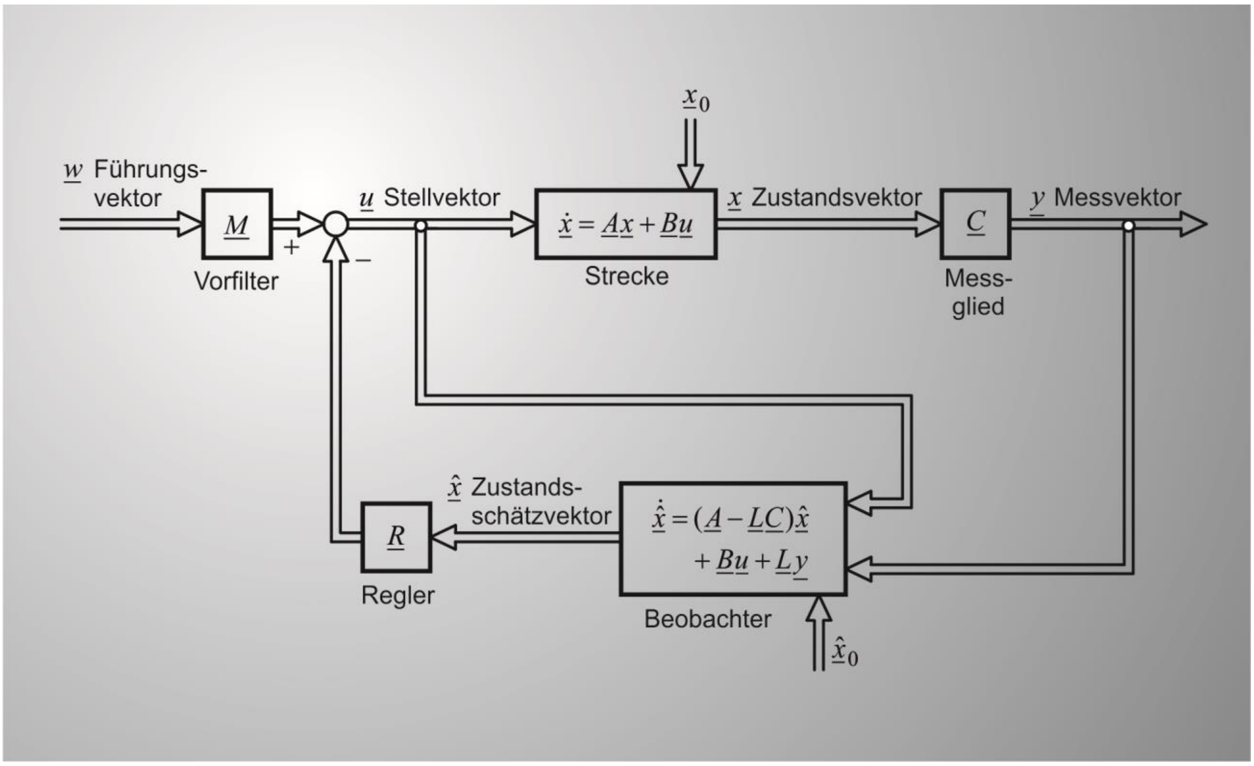
Beiblätter zur Vorlesung

Regelung linearer Mehrgrößensysteme

Prof. h.c. Dr.-Ing. Mathias Kluwe



Wintersemester 2024 / 2025

http://www.irs.kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie

IRS Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme
Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Sören Hohmann

1) Föllinger, O. Regelungstechnik:
Einführung in die Methoden und Ihre Anwendung.
VDE, Berlin,
13., überarbeitete Auflage, 2022.

2) Lunze, J. Regelungstechnik 2.
Mehrgrößensysteme. Digitale Regelung.
Springer, Berlin,
10. Auflage, 2020.

3) Roppenecker, G. Zeitbereichsentwurf linearer Regelungen.
R. Oldenbourg, München, 1990.

4) Ludyk, G. Theoretische Regelungstechnik
Band 1: Grundlagen, Synthese linearer Regelungssysteme.
Band 2: Zustandsrekonstruktion, optimale und nichtlineare Regelungssysteme.
Springer, Berlin, 1995.

5) Unbehauen, H. Regelungstechnik II: Zustandsregelungen,
digitale und nichtlineare Regelsysteme.
Vieweg, Braunschweig,
9. Auflage, 2007.

6) Franklin, G.F., Powell, J.D., Emami-Naeini, A. Feedback Control of Dynamic Systems.
Prentice Hall, New Jersey,
4. Auflage, 2002.

7) Ogata, K. Modern Control Engineering.
Prentice Hall, New Jersey,
4. Auflage, 2002.

Speziell für zeitdiskrete Systeme:

8) Föllinger, O. Lineare Abtastsysteme.
R. Oldenbourg, München,
5. Auflage, 1993.

9) Isermann, R. Digitale Regelsysteme.
Bd. I: Grundlagen, Deterministische Regelungen.
Springer, Berlin,
2. Auflage, 1987.

10) Ogata, K. Discrete-Time Control Systems.
Prentice Hall, New Jersey,
2. Auflage,1995.

11) Santina, M.S.; Stubberud, A.R.; Hostetter, G.H. — Digital Control System Design. Oxford University Press, New York. 2. Auflage, 1994.

12) Oppenheim, A.V.; Schafer, R.W. — Zeitdiskrete Signalverarbeitung. Addison-Wesley, München, 2. Auflage, 2004.

Als Standardnachschlagewerk für Matrizen:

13) Zurmühl, R., Falk, S. — Matrizen und ihre Anwendungen. Teil 1: Grundlagen. Springer, Berlin, 7. Auflage, 1997.

Terminplan RLM Wintersemester 2024/2025 RLM III

Oktober 2024	November 2024	Dezember 2024	Januar 2025	Februar 2025
01	01	01	01	01
02	02	02 RLM 10	02	02
03	03	03	03	03 RLM 20
04	04 RLM 4	04	04	04
05	05	05	05	05
06	06	06 RLM-Übung 2	06	06
07	07	07	07 RLM 14 (NTI HS)	07 RLM-Übung 6
08	08 RLM 5	08	08	08
09	09	09 RLM 11	09	09
10	10	10	10 RLM 15	10 RLM 21
11	11	11	11	11
12	12	12	12	12
13	13	13 RLM 12	13 RLM 16	13
14	14	14	14	14 RLM-Übung 7
15	15 RLM 6	15	15	15
16	16	16 RLM 13	16	16
17	17	17	17 RLM-Übung 4	17
18	18 RLM-Übung 1	18	18	18
19	19	19	19	19
20	20	20 RLM-Übung 3	20 RLM 17	20
21 RLM 1	21	21	21	21
22	22 RLM 7	22	22	22
23	23	23	23	23
24	24	24	24 RLM 18	24
25 RLM 2	25 RLM 8	25	25	25
26	26	26	26	26
27	27	27	27 RLM 19	27
28 RLM 3	28	28	28	28
29	29 RLM 9	29	29	
30	30	30	30	
31		31	31 RLM-Übung 5	

Klausurtermin: 15.03.2025, 9:00 – 11:00 h

Ein dynamisches **System in Zustandsdarstellung** besteht zunächst aus den allgemein n **Zustandsgrößen** $x_1(t),\dots,x_n(t)$ als innere Systemgrößen, deren zeitlicher Verlauf für $t > t_0$ eindeutig durch die zugehörigen gewöhnlichen Differentialgleichungen 1. Ordnung

$$\dot{x}_i\left(t\right) = f_i\left(x_1(t),\dots,x_n\left(t\right);u_1(t),\dots,u_p\left(t\right);t\right),\ i=1,\dots,n \quad (1)$$

bestimmt werden kann, sofern die allgemein p **Eingangsgrößen** $u_1(t),\dots,u_p(t)$ und die Anfangswerte $x_1\left(t_0\right),\dots,x_n\left(t_0\right)$ der Zustandsgrößen bekannt sind.

Aus dem aktuellen Zustand (und den aktuellen Eingangsgrößen) ergeben sich dann die allgemein q **Ausgangsgrößen** $y_1(t),\dots,y_q(t)$ in Form gewöhnlicher Gleichungen

$$y_i\left(t\right) = g_i\left(x_1(t),\dots,x_n\left(t\right);u_1(t),\dots,u_p\left(t\right);t\right),\ i=1,\dots,q\,. \quad (2)$$

Den Wert der Zustandsgrößen zu einem bestimmten Zeitpunkt t nennt man den **Zustand des Systems** zu diesem Zeitpunkt und fasst ihn mit dem Vektor $\underline{x}(t)$ zusammen. Als geometrische Deutung beschreibt er die Bewegung des Zustandspunkts im n-dimensionalen Raum, dem **Zustandsraum**, in Anhängigkeit von der Zeit als eine Kurve, die als **Zustandstrajektorie** bezeichnet wird.

Üblicherweise fasst man neben dem Zustand auch die Ein- und Ausgangsgrößen mit den entsprechenden Vektoren $\underline{u}(t)$ und $\underline{y}(t)$ zusammen und erhält dann die Gleichungen (1) und (2) in der Vektor-Matrix-Notation als die sogenannten **Zustandsgleichungen**:

$$\dot{\underline{x}}\left(t\right) = \underline{f}\left(\underline{x}\left(t\right);\underline{u}\left(t\right);t\right), \quad (1)$$
$$\underline{y}\left(t\right) = \underline{g}\left(\underline{x}\left(t\right);\underline{u}\left(t\right);t\right). \quad (2)$$

Diese bestehen folglich stets aus der **Zustandsdifferentialgleichung** (1) und der **Ausgangsgleichung** (2).

1.2.1 Zustandsdarstellung (zeitkontinuierlicher Fall)

Gleichungen des linearen und zeitinvarianten Zustandsraummodells:

$$\underline{x}(t_0) = \underline{x}_0$$

$$\underline{u}(t) \longrightarrow \qquad \begin{aligned} \dot{\underline{x}}(t) &= \underset{(n,n)}{\underline{A}} \cdot \underline{x}(t) + \underset{(n,p)}{\underline{B}} \cdot \underline{u}(t) \qquad (1) \\ \underline{y}(t) &= \underset{(q,n)}{\underline{C}} \cdot \underline{x}(t) + \underset{(q,p)}{\underline{D}} \cdot \underline{u}(t) \qquad (2) \end{aligned} \qquad \longrightarrow \underline{y}(t)$$

mit: $\underset{(n,1)}{\underline{x}}$: Zustandsvektor ($\Rightarrow$ n = Systemordnung)

$\underset{(p,1)}{\underline{u}(t)}$: Eingangs- (Steuer-) Vektor

$\underset{(q,1)}{\underline{y}(t)}$: Ausgangsvektor

$\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$ sind konstante Matrizen:

$\underline{A}$: Dynamik- (System-) Matrix

$\underline{B}$: Eingangsmatrix

$\underline{C}$: Ausgangsmatrix

$\underline{D}$: Durchgangsmatrix (meist $= \underline{0}$)

$$\left.\begin{array}{ll} (1) : & \text{Zustandsdifferentialgleichung} \\ (2) : & \text{Ausgangsgleichung} \end{array}\right\} \text{Zustandsgleichungen}$$

Blockschaltbild: