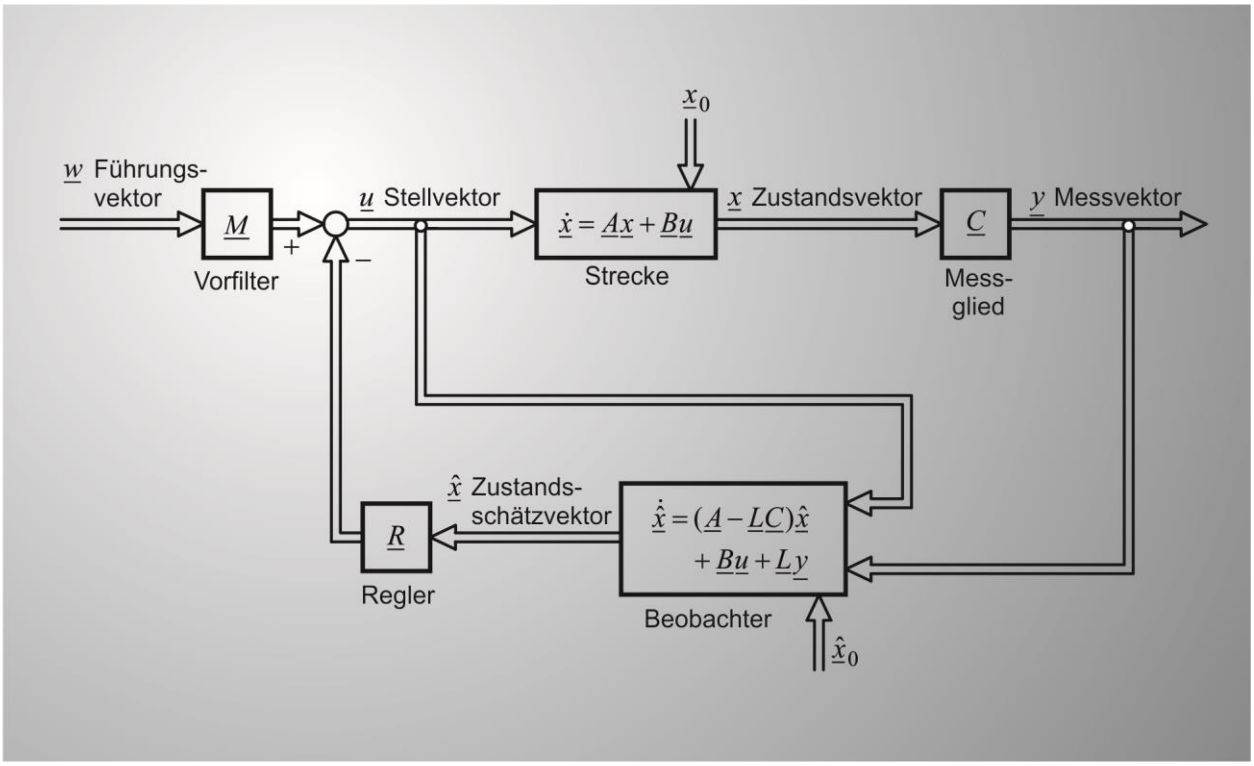
Beiblätter zur Vorlesung

Regelung linearer Mehrgrößensysteme

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



Wintersemester 2023 / 2024

http://www.irs.kit.edu

KIT 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 2023/2024 RLM III

Oktober 2023	November 2023	Dezember 2023	Januar 2024	Februar 2024
01	01	01 RLM 9	01	01
02	02	02	02	02 RLM-Übung 5
03	03 RLM 3	03	03	03
04	04	04 RLM 10	04	04
05	05	05	05	05 RLM 20
06	06 RLM 4	06	06	06
07	07	07	07	07
08	08	08 RLM-Übung 2	08 RLM 14	08
09	09	09	09	09 RLM-Übung 6
10	10 RLM 5	10	10	10
11	11	11 RLM 11	11	11
12	12	12	12 RLM 15	12 RLM 21
13	13 RLM 6	13	13	13
14	14	14	14	14
15	15	15 RLM 12	15 RLM 16	15
16	16	16	16	16 RLM-Übung 7
17	17 RLM 7	17	17	17
18	18	18 RLM 13	18	18
19	19	19	19 RLM-Übung 4	19
20	20	20	20	20
21	21	21	21	21
22	22	22 RLM-Übung 3	22 RLM 17	22
23 RLM 1	23	23	23	23
24	24 RLM-Übung 1	24	24	24
25	25	25	25	25
26	26	26	26 RLM 18	26
27 RLM 2	27 RLM 8	27	27	27
28	28	28	28	28
29	29	29	29 RLM 19	
30	30	30	30	
31		31	31	

Klausurtermin: 16.03.2023, 09:00-11:00 Uhr

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

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

bestimmt werden kann, sofern die allgemein p **Eingangsgrößen** $u_1(t),\dots,u_p(t)$ und die Anfangswerte $x_1(t_0),\dots,x_n(t_0)$ 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

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

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**:

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

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

1.2.1 Zustandsdarstellung (zeitkontinuierlicher Fall)

Gleichungen des linearen und zeitinvarianten Zustandsraummodells:

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

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

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: