

# Digitale Regelung

Vorlesung Sommersemester 2023



Dr.-Ing. Andreas Michalka

## ■ Dozenten

Vorlesung: Dr.-Ing. Andreas Michalka ([andreas.michalka@fau.de](mailto:andreas.michalka@fau.de), Cauerstr. 7, 3. OG, Raum 03.035)

Übung: Alexander Verhoolen, M.Sc. ([alexander.verhoolen@fau.de](mailto:alexander.verhoolen@fau.de), Cauerstr. 7, 4. Stock, Raum 04.029)

## ■ Termine und Ort

Vorlesung: Donnerstag, 8:15 - 9:45, H5

Übung: Freitag, 8:15 - 9:45, H5

## ■ Vorlesungsunterlagen

Werden in der Vorlesung ausgegeben und auf StudOn verfügbar gemacht.

## ■ Prüfungsmodalitäten

schriftlich (90 Min.), zulässige Hilfsmittel: **Vorlesungs- und Übungsunterlagen, eigene Zusammenfassung, Taschenrechner**

## ■ Voraussetzungen

Vorlesungen „Regelungstechnik A“ oder „Einführung in die RT“, sowie zusätzlich „Regelungstechnik B“

## 1. Struktur digital realisierter Regelungen

## 2. Beschreibung von zeitdiskreten Systemen

- Zustandsmodell
- z-Übertragungsfunktion

## 3. Analyse von zeitdiskreten Systemen

- Lösung der Zustandsgleichungen
- Stabilität, Steuer- und Beobachtbarkeit von Abtastsystemen
- Nullstellen von Abtastsystemen

## 4. ZFG-Regelung für Abtastsysteme: quasi-kontinuierlicher Entwurf

- Wiederholung zeitkontinuierlicher Entwurf
- Zeitdiskretisierung des Reglers und Integralapproximationen

## 5. ZFG-Regelung für Abtastsysteme: zeitdiskreter Entwurf

- Beobachterbasierter Zustandsregler
- Deadbeat-Regler
- „Inter-sampling“-Verhalten
- Wahl der Auflösungen von AD- und DA-Wandler

## 6. Zusammenfassendes Beispiel

## ▪ Deutschsprachige Literatur:

- J. Lunze: **Regelungstechnik 2**, Springer, 2005.

## ▪ Englischsprachige Literatur:

- V. Kucera: **Analysis and Design of Discrete Linear Control Systems**, Prentice Hall, 1991
- M. Fadali, A. Visioli: **Digital Control Engineering**, Academic Press, 2012
- G. Goodwin, S. Graebe, M. Salgado: **Control System Design**, Prentice Hall, 2000.
- A. Oppenheim, A. Willsky: **Signals and Systems**, Prentice-Hall, 1998.

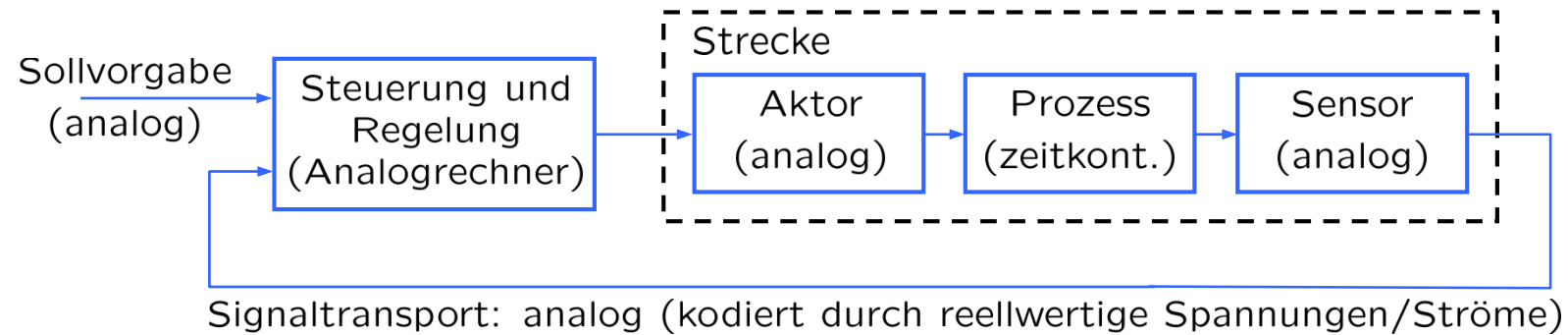
# 1. Struktur digital realisierter Regelungen

---

- 1.1 **Übergang von zeitkontinuierlichen zu zeitdiskreten Regelungen**
- 1.2 Übergang von lokalen zu örtlich verteilten Regelungen
- 1.3 Auswirkung der digitalen Reglerimplementierung
- 1.4 Prinzipielle Vorgehensweisen zum Reglerentwurf

## 1.1 Übergang von zeitkontinuierlichen zu zeitdiskreten Regelungen

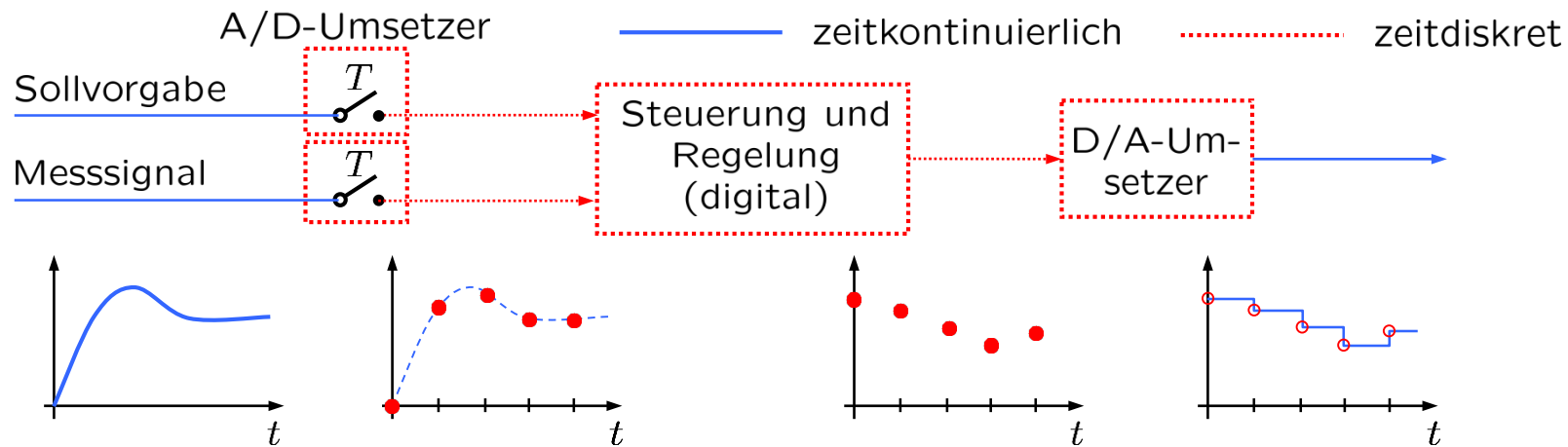
### Analoge Regelung (zeitkontinuierlich)



## Digitalisierung der Steuerung und Regelung

Steuerung und Regelung verarbeiten Eingangssignale in periodischen Zyklen statt zeitkontinuierlich

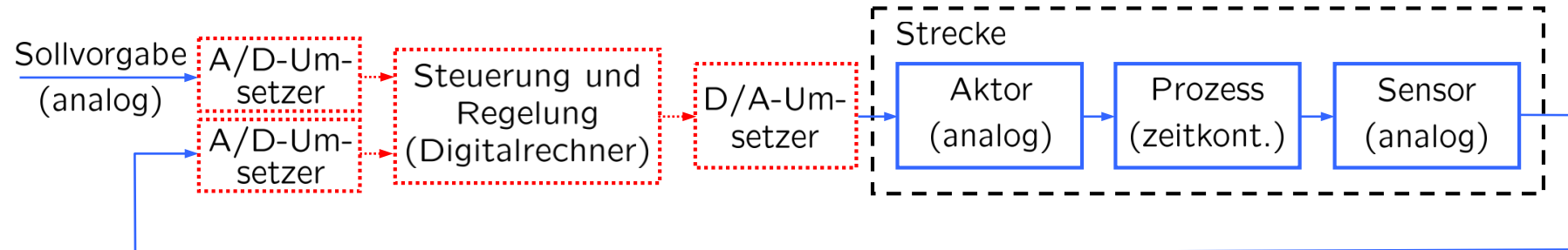
- ⇒
- A/D-Umsetzer: wandelt zeitkontinuierliches Signal in zeitdiskrete Folge
  - D/A-Umsetzer: wandelt zeitdiskrete Folge in zeitkontinuierliches Signal





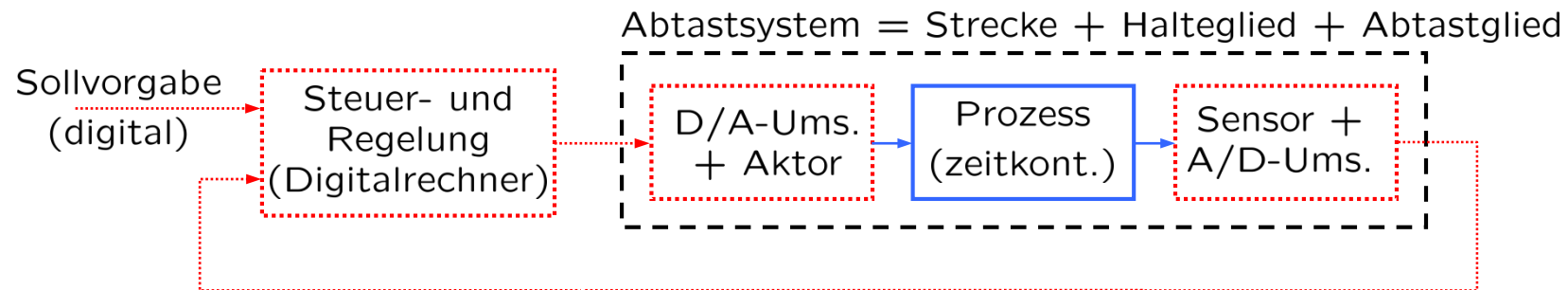
# 1.1 Übergang von zeitkontinuierlichen zu zeitdiskreten Regelungen

## Digitale Regelung (zeitdiskret)



Signaltransport: analog (kodierte durch reellwertige Spannungen/Ströme)

⇓ Digitalisierung von Sensor, Aktor, Sollvorgabe und Signaltransport



Signaltransport: digital (binär kodierte serielles/paralleles Bussystem)

— zeitkontinuierlich    ..... zeitdiskret

# 1. Struktur digital realisierter Regelungen

---

- 1.1 Übergang von zeitkontinuierlichen zu zeitdiskreten Regelungen
- 1.2 Übergang von lokalen zu örtlich verteilten Regelungen**
- 1.3 Auswirkung der digitalen Reglerimplementierung
- 1.4 Prinzipielle Vorgehensweisen zum Reglerentwurf

### Motivation:

Digitale Technologien erlauben

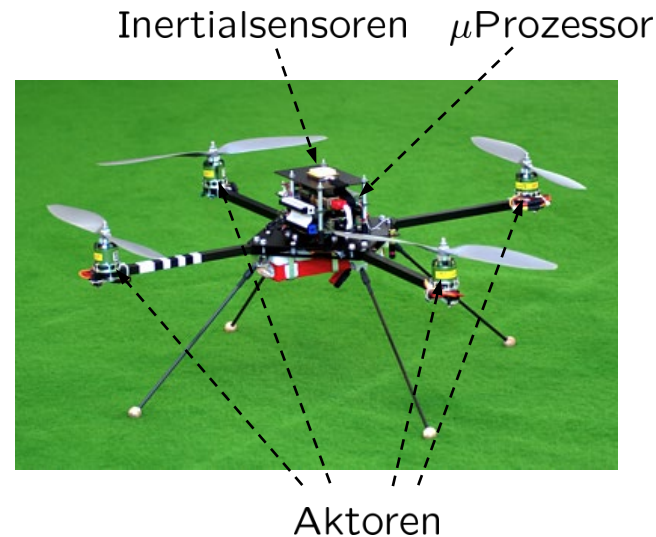
- sichere Verbindungen auf weiten Distanzen
- Integration von Signal-Vorverarbeitung auf Sensorbaustein (“smart sensors”)
- Realisierung komplexer Sensorsysteme  
(z.B. Positionserfassung mittels “motion tracking”-Kameras oder GPS)
- Handhabung von Redundanzen in der Steuerung und Regelung  
zur Erhöhung der Sicherheit
- Bearbeitung mehrerer Anwendungen auf einem zentralen Rechner  
(z.B. Regelungsanwendung + Monitoring-Software + Fehlerbehandlung  
+ Kommunikation mit übergeordneter Steuerungsebene)

⇒ *zunehmende Komplexität von digitalen Regelungen*

## 1.2 Übergang von lokalen zu örtlich verteilten Regelungen

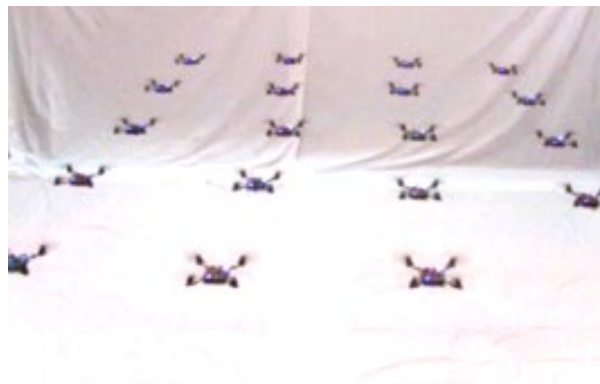
### Beispiel

#### lokale Regelung



- Steuerung und Regelung, Aktor und Sensor in unmittelbarer Nähe zum Prozess
- “einfache” Verbindungsarten, z.B. Analogleitung, 8-Bit Parallelleitung, I<sup>2</sup>C-Bus

#### verteilte Regelung



Bildverarbeitung

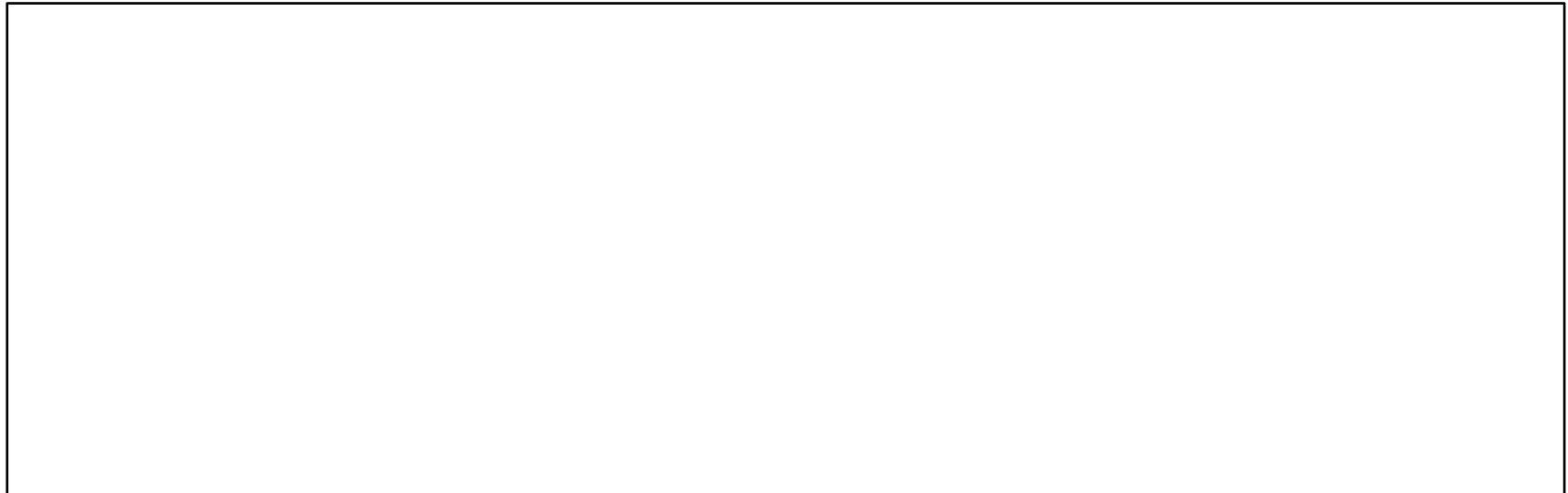


Steuerung + Regelung

- Steuerung und Regelung, Aktoren und Sensor räumlich getrennt
- komplexere Datenverbindungen
- komplexes Sensorsystem

### Probleme:

- Bei komplexen Signalwegen und Sensorsystemen können signifikante Totzeiten (konstant oder variabel) und Datenausfälle auftreten
- Abtastraten bei komplexen Sensorsystemen meist gering
- Synchronisierung aller Teile der Regelung u.U. schwierig
- Periodische Ausführung des Regelalgorithmus durch Drittanwendungen auf Zentralrechner gefährdet



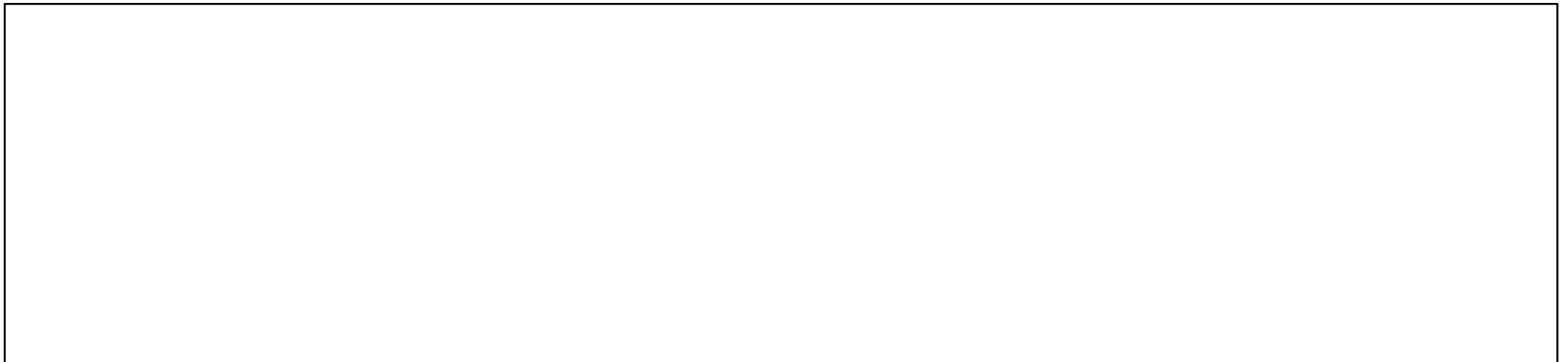
# 1. Struktur digital realisierter Regelungen

---

- 1.1 Übergang von zeitkontinuierlichen zu zeitdiskreten Regelungen
- 1.2 Übergang von lokalen zu örtlich verteilten Regelungen
- 1.3 **Auswirkung der digitalen Reglerimplementierung**
- 1.4 Prinzipielle Vorgehensweisen zum Reglerentwurf

### Konsequenzen der digitalen Reglerimplementierung:

- Verarbeitung von Datenfolgen  $\Rightarrow$  Diskretisierung der Zeitvariable
  - $\Rightarrow$  – zeitkontinuierliche Stellgesetze nicht unmittelbar realisierbar
  - Störeinflüsse bleiben vorübergehend unbemerkt
- Datenrepräsentation mit endlicher Wortbreite  $\Rightarrow$  Diskretisierung der Signalwerte
  - $\Rightarrow$  – Quantisierungsfehler
  - numerische Rechenfehler
- Totzeiten bei Signaltransport oder in Recheneinheit (veränderliche Totzeit = *Jitter*)
  - $\Rightarrow$  inkonsistente Mess- und Stelldaten



### in dieser Vorlesung:

- Berücksichtigung von
  - Zeitdiskretisierung bei konstanter Abtastperiode  $\Rightarrow$  angepasste Reglerentwurfsverfahren
  - konstante Totzeiten  $\Rightarrow$  Erweiterung des Streckenmodells
- Vernachlässigung von
  - Quantisierungsfehlern
  - Jitter
  - numerischen Rechenfehlern



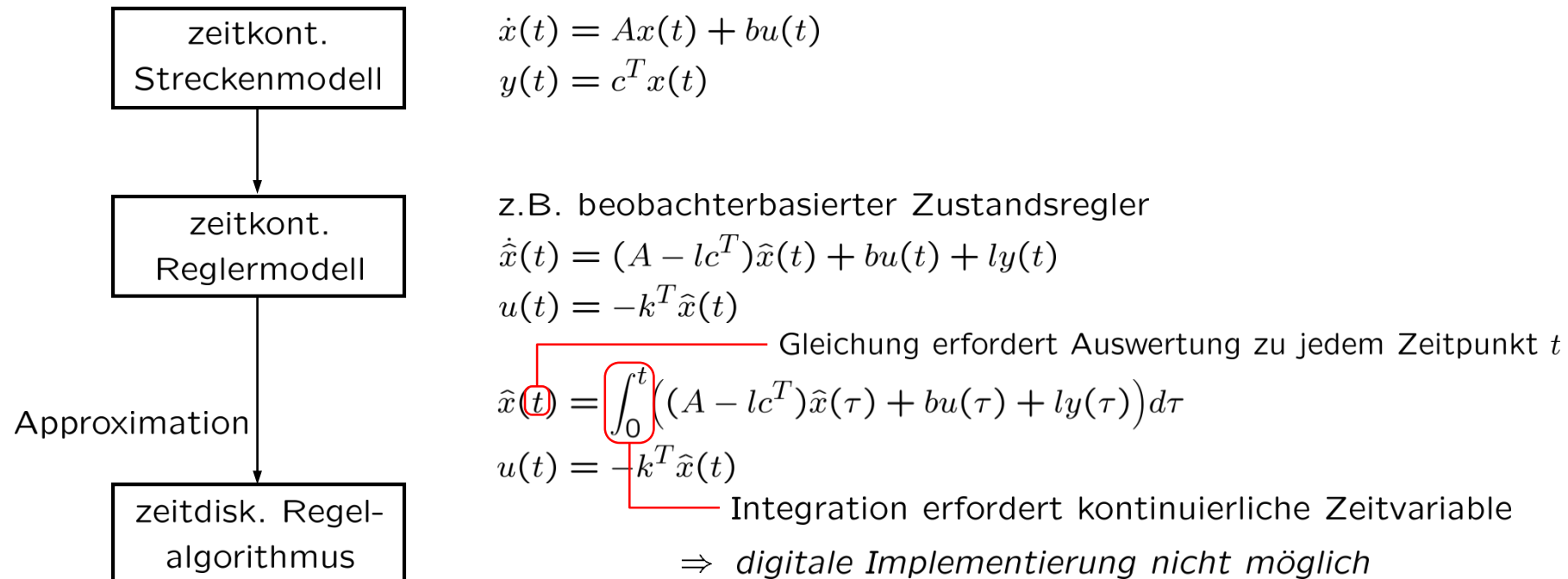
# 1. Struktur digital realisierter Regelungen

---

- 1.1 Übergang von zeitkontinuierlichen zu zeitdiskreten Regelungen
- 1.2 Übergang von lokalen zu örtlich verteilten Regelungen
- 1.3 Auswirkung der digitalen Reglerimplementierung
- 1.4 Prinzipielle Vorgehensweisen zum Reglerentwurf**

### Betrachtete Ansätze zum Entwurf digital implementierter Regler

- quasi-kontinuierlicher Entwurf



- zeitdiskreter Entwurf

