

# Vorlesung Systemdynamik PO2008, weitere

WiSe 2014/15

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Söffker

Ort: MD 162/MC 122

Zeit: Mo 11.00 - 14.00 Uhr

Betreuender wiss. Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Sandra Schiffer

Url: <http://www.uni-due.de/srs/v-sd.shtml>



**zusätzlich:** **Tutorium  
Pflichtpraktikum (für Maschinenbauer/innen)**

## Manuskript

**Hinweis 1:** Die Zusammenstellung der Lehrinformationen ist nur für den Gebrauch innerhalb dieser Veranstaltung bestimmt und außerhalb dieser Veranstaltung unzulässig. Es gilt das Urheberrecht.

**Hinweis 2:**

Die wiedergegebenen Abbildungen entstammen z. T. – wenn nicht anders angegeben - dem der Veranstaltung zugrundeliegenden Lehrbuch sowie dem ehemaligen Vorlesungsmanuskript von Prof. Schwarz und deren Urheberrechtsansprüchen. Die Verwendung ist daher ausschließlich für den Gebrauch innerhalb dieses Lehrzweckes bestimmt.

1/34



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien





<b>Veranstaltung</b>	<b>Systemdynamik (1V, 1Ü, 1P)</b>
<b>Zielgruppe</b>	<b>Studierende Maschinenbau (Bachelor) PO08</b> <b>Studierende Wirtschaftsingenieurwesen PO04, PO08</b> Studierende der Bachelorstudiengänge Wirtschaftsingenieurwesen Studierende Schiffstechnik aller Prüfungsordnungen Studierende Lehrämter (Maschinenbau etc.), (in Kombination mit Systemdynamik als Ersatz für Regelungstechnik_alt, mit Studienbeginn seit WiSe 2001/02)
<b>URL der Veranstaltung</b>	<a href="http://www.uni-due.de/srs/v-sd.shtml">http://www.uni-due.de/srs/v-sd.shtml</a>
<b>Dozent/innen</b>	Prof. Söffker
<b>Betreuende/r wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in</b>	Dipl.-Ing. Sandra Schiffer
<b>Ort</b>	MC 122 und MD 162 (mit Videoübertragung)
<b>Tag</b>	Montag
<b>Zeit</b>	Montag: 11.00– 14.00 Uhr
<b>Erste Veranstaltung</b>	13.10.2014
<b>Letzte Veranstaltung</b>	8.12.2014
<b>Sprechstunde</b>	siehe gesonderte Übersicht
<b>Zugrundeliegendes Lehrbuch (als Textbook)</b>	Lunze, J.: Regelungstechnik 1, Springer, 3. Auflage, 2001 (Lehrbuch) oder neuer > <b>L</b> <b>(online verfügbar)</b>
<b>Weitere Literaturempfehlung</b>	Franklin, G.F.; Powell, J.D.; Emami-Naeini, A.: Feedback Control of Dynamic Systems, Prentice Hall 2002 Dorf, R.C.; Bishop, R.H.: Modern Control Systems, Pearson, 2005. Unbehauen, H.: Regelungstechnik I, Vieweg, 2000. Lunze, J.: Automatisierungstechnik, Oldenbourg, 2003



<p><b>Vorlesungseinteilung</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Begrifflichkeiten, Rückkopplung, Technische Regelung (L 1 – 2.10)</li> <li>2 Dynamische Systeme, Systemdynamik, Beschreibung dynamischer Systeme (L 3.1-3.2,4.1)</li> <li>3 Beschreibung linearer Systeme (L 4.1-4.3.3)</li> <li>4 Verhalten linearer Systeme (L 5.1.1, L 5.1.2-5.2)</li> <li>5 Zeitverhalten Regelkreiselemente und Regelkreise (L 5.6)</li> <li>6 Fragen / Klausurbesprechung / Übung</li> </ol>
<p><b>Zur Veranstaltung</b></p>	<p>Die Veranstaltung wird über 9 Wochen exakt in den angegebenen Zeiten angeboten. Die Veranstaltung beinhaltet zunächst nur Vorlesungen, zum Ende nur Übungen.</p> <p>Grundlage der Veranstaltung ist das angegebene Lehrbuch (&gt; in der Lehrbuchsammlung wie über die Bibliothek als pdf verfügbar). Die zentralen Lehrunterlagen sind als verschlüsselte PDF-Dokumente über die WEB-Seite der Veranstaltung verfügbar.</p> <p>Zu jeder Vorlesungseinheit wird ein Rohmanuskript herausgegeben, welches <b>ab Vorlesungsbeginn</b> unter der Adresse <a href="http://www.uni-due.de/srs/v-sd.shtml">http://www.uni-due.de/srs/v-sd.shtml</a> heruntergeladen werden kann. Dieses dient der Strukturierung der persönlichen/personalisierten Mitschrift. Das Passwort wird in der Vorlesung bekanntgegeben und kann ggf. im Sekretariat des Lehrstuhls persönlich nachgefragt werden.</p> <p>Zur Vorbereitung/Nachbereitung der Vorlesung wird dringend empfohlen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>den vorangegangenen Stoff aufzuarbeiten,</b></li> <li>➤ <b>an der Übung teilzunehmen</b></li> <li>➤ <b>sowie den kommenden Stoff in den angegebenen Kapiteln bereits vorab lesend (im angegebenen Lehrbuch/Textbook) zu erarbeiten.</b></li> </ul> <p>Bitte beachten Sie: Ab WiSe2012/13 ist die Kenntnis der Vorlesungsinhalte der Veranstaltung Systemdynamik Voraussetzung für den Besuch und die Klausur der Veranstaltung Regelungstechnik.</p>
<p><b>Praktikum für (PO02, Po08)</b></p>	<p>3 Versuche (ms, dr, hs) Das Praktikum ist eine eigenständige Prüfungsleistung und wird separat benotet.</p>
<p><b>Prüfung</b></p>	<p>Die schriftliche Prüfung der Veranstaltung findet im Prüfungszeitraum statt, eine entsprechende Anmeldung über das Prüfungsamt ist zwingend.</p>



<b>Veranstaltung</b>	<p><b>Praktikum Systemdynamik und Regelungstechnik (1P)</b></p> <p>bestehend aus 3 Versuchen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellbildung und Simulation (ms) (<b>WiSe</b>)</li> <li>• Druckregelung (dr) (<b>WiSe</b>)</li> <li>• Elektrohydraulisches Servosystem (hs) (<b>SoSe</b>)</li> </ul>
<b>Pflichtveranstaltung mit Anwesenheitspflicht für:</b>	<p>Studierende Maschinenbau (Bachelor) PO08, Studierende Mechanical Engineering (ISE) Bachelor PO08</p>
<b>Keine Pflicht für:</b>	<p>Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor) PO04/08 Studierende der Bachelorstudiengänge Wirtschaftsingenieurwesen Studierende Lehramter (Maschinenbau etc.) mit Studienbeginn seit WiSe 2001/02 → Für interessierte Kandidat/inn/en bieten wir eine explizit als solche ausgewiesene, begrenzte Anzahl an Plätzen an.</p>
<b>URL der Veranstaltung</b>	<a href="http://www.uni-due.de/srs/v-rt-an1-Praktikum.shtml">http://www.uni-due.de/srs/v-rt-an1-Praktikum.shtml</a>
<b>Dozent/innen</b>	Promovierende des Lehrstuhls SRS
<b>Koordination</b>	Friederike Kögler, <a href="mailto:friederike.koegler@uni-due.de">friederike.koegler@uni-due.de</a>
<b>Ort</b>	MB 325 (Versuch dr), MB 323 (Versuch ms), MB 028 (Versuch hs)
<b>Tag</b>	täglich
<b>Zeit</b>	Termine in der Zeit von 8.00-17.00 Uhr
<b>Erste Veranstaltung</b>	1.12.2014
<b>Letzte Veranstaltung</b>	13.02.2015
<b>Sprechstunde</b>	siehe gesonderte Übersicht

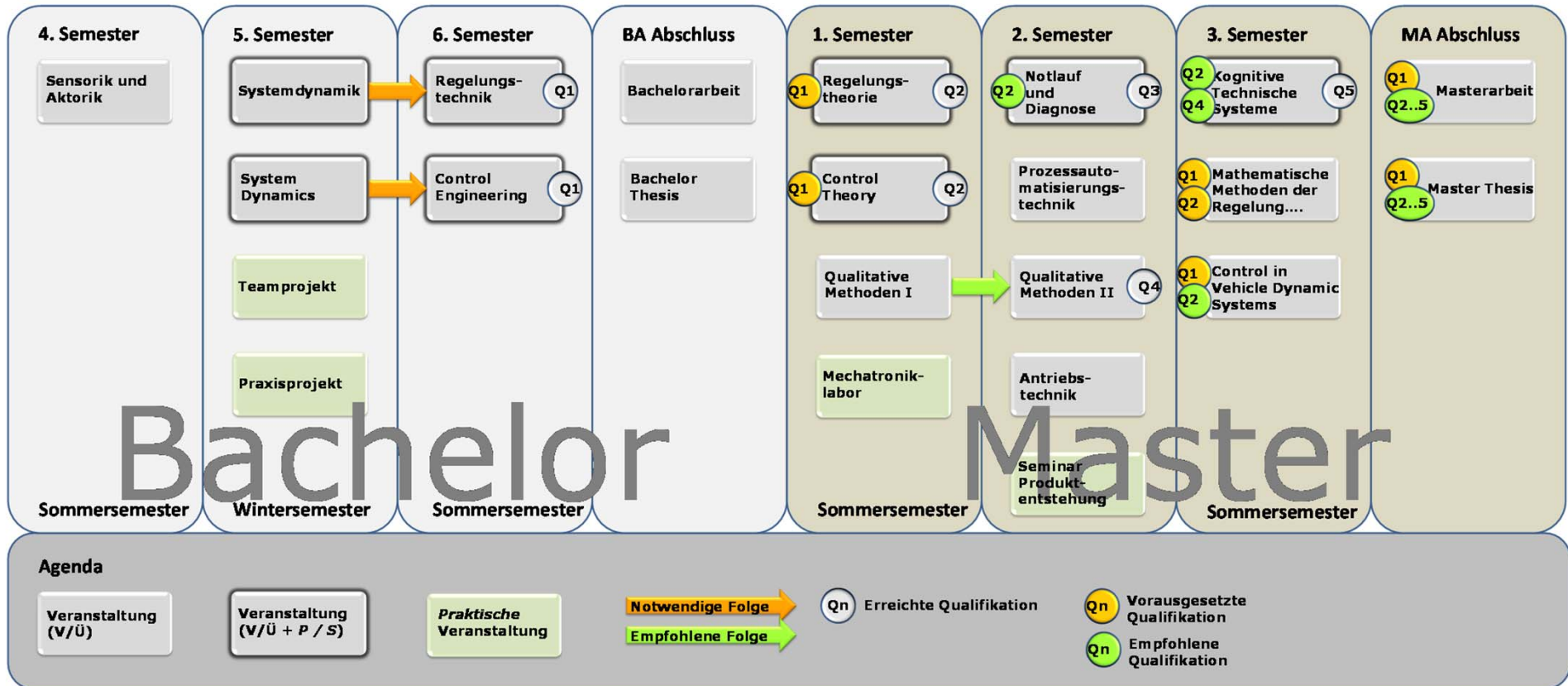


<p><b>Skripte und Antestat</b></p>	<p>Auf der SRS Homepage sind die Skripte für die Versuche hinterlegt. Diese sind bis zum Praktikumstermin durchzuarbeiten. Zu Beginn des Versuches erfolgt ein Antestat, welches bestanden werden muss, um am praktischen Teil des Praktikums teilnehmen zu können.</p>												
<p><b>Anmeldung</b></p>	<p><b>Die Anmeldung erfolgt</b></p> <p>a) durch die reguläre <b>Anmeldung beim Prüfungsamt in der 5. und 6. Semesterwoche (vergleichbar mit Anmeldungen zur Prüfung) UND</b></p> <p>b) durch die <b>verbindliche Buchung eines Versuchstermins in moodle2 in der Anmeldefrist: 20. -31. Oktober 2014.</b></p> <p>Eine Abmeldung vom gebuchten Termin ist bis 2 Wochen vor dem gebuchten Termin per Mail an Friederike Kögler (friederike.koegler@uni-due.de) möglich. Danach ist eine Abmeldung nur begründet <b>BEIM PRÜFUNGSAMT</b> möglich (z. B. durch Vorlage eines Attestes beim PA). Ein Nicht-Erscheinen hat das Durchfallen bei allen drei Versuchen zur Folge.</p> <p><b>Informationen zur Moodle-Registrierung:</b></p> <p>In Moodle2 finden Sie unter Fakultät für Ingenieurwissenschaften / Abteilung Maschinenbau / Regelungstechnik und Systemdynamik Pflichtpraktika WiSe 2014/15</p> <p>die Einschreibung für die verschiedenen Versuche (<a href="http://moodle2.uni-duisburg-essen.de">http://moodle2.uni-duisburg-essen.de</a>).</p> <p>Die Einschreibung erfolgt für jeden Versuch getrennt. Für die Einschreibung benötigen Sie das für das jeweilige Semester aktuelle <b>Password</b>, das in der Vorlesung bekannt gegeben wird. Bitte lesen Sie die Hinweise für die Anmeldung in Moodle!</p> <p>Einige der Praktika finden in englischer Sprache statt. Diese Termine sind insbesondere für ISE-Studierende vorgesehen. <b>Bitte melden Sie sich ausschließlich für die für Ihre Studienrichtung (Pflicht - nicht Pflicht, deutsch - englisch) vorgesehenen Termine an!</b></p>												
<p><b>Benotung / Nichtbestehen</b></p>	<p>Ihre Leistungen bei den Versuchen werden benotet:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kriterium</th> <th>Beschreibung</th> <th>Note</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 Fehlversuche</td> <td>Alle drei Antestate (ms, dir, hs) wurden beim 1. Versuch bestanden.</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>1 Fehlversuch</td> <td>Ein Nicht beständenes Antestat, das dann beim Wiederholungstermin bestanden wurde</td> <td>3,0</td> </tr> <tr> <td>Ab 2 Fehlversuchen</td> <td></td> <td>5,0 (nicht bestanden)</td> </tr> </tbody> </table>	Kriterium	Beschreibung	Note	0 Fehlversuche	Alle drei Antestate (ms, dir, hs) wurden beim 1. Versuch bestanden.	1,0	1 Fehlversuch	Ein Nicht beständenes Antestat, das dann beim Wiederholungstermin bestanden wurde	3,0	Ab 2 Fehlversuchen		5,0 (nicht bestanden)
Kriterium	Beschreibung	Note											
0 Fehlversuche	Alle drei Antestate (ms, dir, hs) wurden beim 1. Versuch bestanden.	1,0											
1 Fehlversuch	Ein Nicht beständenes Antestat, das dann beim Wiederholungstermin bestanden wurde	3,0											
Ab 2 Fehlversuchen		5,0 (nicht bestanden)											



	<p>Bei einer 5,0 müssen alle drei Versuche wiederholt werden. Die Noten werden dem Prüfungsamt gemeldet und werden wie andere Prüfungsleistungen (z. B. Klausurnoten) gehandhabt.</p> <p>Die Versuche müssen innerhalb eines Jahres in der Sequenz Systemdynamik-Regelungstechnik (+für Wiederholer in der Wiederholphase des darauf folgenden Semesters) vollständig bestanden sein. Versuche aus älteren Semestern verfallen; die Versuche werden mit 1,0 oder 3,0 benotet ODER müssen vollständig wiederholt werden.</p> <p>Das Bestehen des Praktikums ist an folgende Kriterien geknüpft:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) Anwesenheit: Das Praktikum beginnt exakt zur angegebenen Zeit. Teilnehmer, die bis spätestens 5 Minuten nach Beginn des Praktikums nicht erschienen sind, gelten ungeachtet der Ursache als Nicht Erschienen. Atteste können nur gegenüber dem Prüfungsamt geltend gemacht werden.</li><li>2) Feststellung der Identität: Zur Feststellung der Identität ist der Studierendenausweis vorzulegen.</li><li>3) Handschriftliche Lösung der Fragen im Skript: Im Antestat muss die individuelle, handschriftliche Lösung (im Original auf Papier, kein Tablet) der Fragen im Skript vorgelegt werden.</li><li>4) Mündliche Prüfungsfragen: Der Teilnehmer muss mindestens zwei der vier mündlichen Fragen vollständig und korrekt beantwortet haben.</li><li>5) Teilnahme am praktischen Versuch.</li></ol>
<p><b>Weitere Hinweise</b></p>	<p>Es wird dringend empfohlen, die Versuche in den angegebenen Semestern und der angegebenen Reihenfolge zu absolvieren, da Fehlversuche zu Notenverschlechterungen oder einem Nicht-Bestehen führen!</p>

## Lehrangebot Lehrstuhl SRS (empfohlene Veranstaltungsfolge, Stand 03.11)



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



## Veranstungsablauf WiSe 2014/15

Time table Winter term

## Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik

Chair of Dynamics and Control

(Leitung/Head: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Söffker) (V0, Juli 2014)

Veranstung Course	Sem.-woche Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prüfung Exam
Systemdynamik	v-sd																Schriftlich
System Dynamics	v-sd_e																Schriftlich
Control Theory	v-cth																Schriftlich
Antriebstechnik	v-ant																Schriftlich
Qual. Methoden II	v-qmrII																Schriftlich
Signalgestützte Methoden zur Bewertung, Identifikation und Klassifizierung komplexer Systeme (Liu/Zhang/Söffker)	v-smbik	Findet in diesem Semester nicht statt.															Schriftlich
Modellb. Nichtlineare Methoden. d. RT (Liu)	v-mnmr	Findet in diesem Semester nicht statt.															Schriftlich
Prozessautomatisierungstechnik (Jelali)	v-pat																Schriftlich
Notlauf und Diagnose (Söffker/Wolters)	v-ndts																Schriftlich
Seminar Produktentstehung	v-pe	Findet in diesem Semester nicht statt.															Abschlusspräsentation
Praktikum/Practical Exercise RT/CE, SD*	p-rt																Antestat
Praktikum/ Practical Exercise CTh/RTh*	p-cth/rth																Antestat
Mechatroniklabor/ MachineLab/ Teamprojekt/ Praxisprojekt	l-me/ma/te/pr																Abschlusspräsentation Final presentation

Stand vom 9.07.2014



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien





## Veranstungsablauf WiSe 2014/15

Time table Winter term

(Leitung/Head: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Söffker) (V0, Juli 2014)

## Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik

Chair of Dynamics and Control

### Legende:

Veranstungszeit (Vorlesung/Übung) / Courses (Lecture/Exercise)	Orange
Veranstung, geblockt ; Blocked course period	Yellow
Praktika/ Practical Exercises RT/CE, SD, Cth, Rth	Green
Labor/Labs	Light Green
Prüfung/Exam	Red
Vorlesungsfreie Zeit/Lecture fee	Blue

**\*: Bitte beachten Sie den gesonderten Veranstaltungsablauf für die Praktika Regelungstechnik und Systemdynamik sowie Regelungstheorie.** Please consider the separate time table for the practical exercises Control Engineering and System Dynamics as well as for Control Theory.



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



# 1. Einordnung, Begrifflichkeiten, Rückkopplung, Technische Regelung

## 1.1a Einordnung > Literatur

- O. Föllinger: Regelungstechnik
- G. Ludyk: Theoretische Regelungstechnik
- H. Unbehauen: Regelungstechnik Bd 1,2,3
- **J. Lunze: Regelungstechnik (> ,Textbook')**
- **K. Ogata: Modern Control Engineering (Bachelor)**

## 1.1b Einordnung > Zeitschriften

- at-automatisierungstechnik
- Automatica
- IEEE Transact. on Automatic Control
- System and Control Letters
- Control Engineering Practise
- Process Control

10/34



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



### 1.1c Einordnung > Normen

- DIN 19221f
  - > DIN 19226 Regelungs- und Steuerungstechnik

### 1.1d Einordnung > Gesellschaften

- VDI/VDE
  - > Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)
- IEEE – Institute of Electric and Electronic Engineers
  - > Control System Society
- IFAC - International Federation of Automatic Control

### 1.1d Einordnung > Diziplin

Messtechnik, Regelungstechnik, Steuerungstechnik, Prozessinformatik  
Automatisierungstechnik  
▶ Mechatronik (Mechanical Engineering + Electronics)

11/34



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



## 1.2 Was ist ‚Regeln‘?

▶ ?

▶ hier: zentrale betrachtete Eigenschaft von technischen Systemen: Dynamik

▶ Steuern, Regeln, Interagieren (sprachlich)

▶ Wirkprinzip / -ablauf (sprachlich)

▶ Lässt sich der Wirkablauf graphisch darstellen?

> Ursache – Wirkung

> Wirkablauf > ‚Signalfluss‘ >> Wirkdarstellung

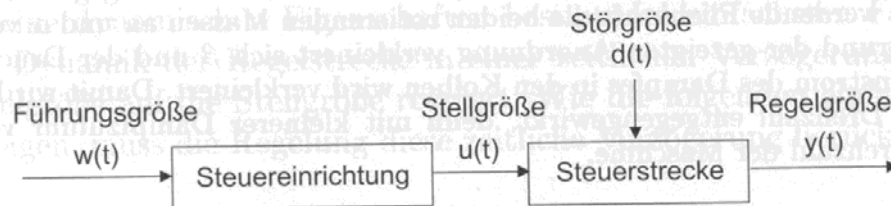


Abb. 1.5: Grundstruktur einer Steuerung

12/34



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



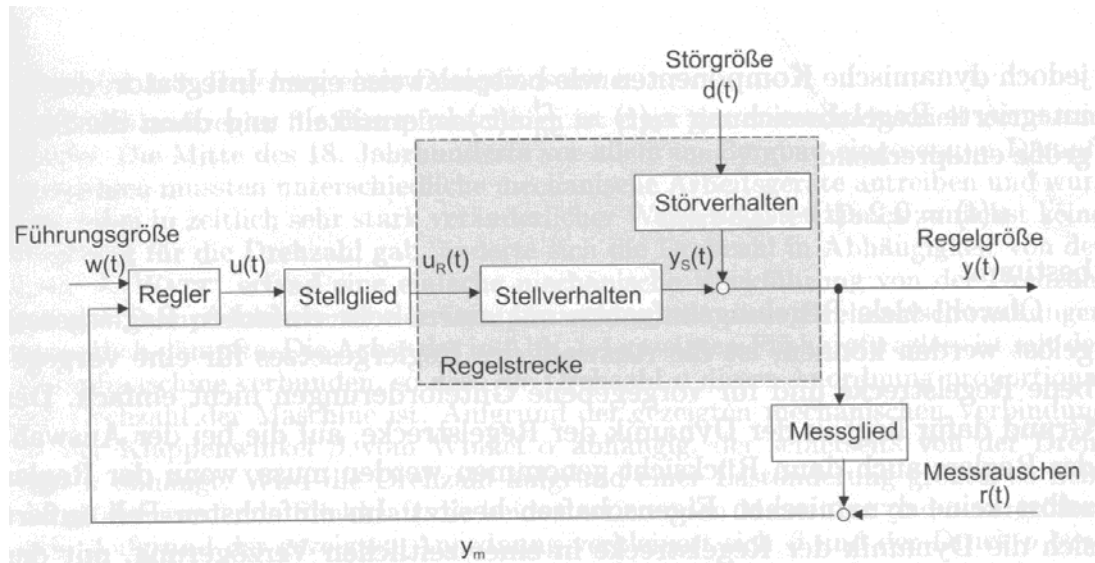


Abb. 1.3: Erweiterte Grundstruktur des Regelkreises

Was ist der Unterschied zwischen den Darstellungen?

Was ist das ‚Ziel‘ einer Steuerung, einer Regelung, einer Interaktion, was ist der Unterschied?

## 1.3 Grundlegendes – System, Größen und Regelkreis I

### Begriff: System



#### Definition System:

Durch einen Zweck (z. B. hinsichtlich technisch/physikalischer Zusammenhänge) abgegrenzter Ausschnitt der Realität. Das System steht mit seiner Umwelt in Wechselwirkung, wobei aus der Umwelt Eingangsgrößen (EG) auf das System einwirken und Ausgangsgrößen (AG) vom System auf die Umwelt wirken.

#### Beispiel: Kraftfahrzeug

Zusammenhang: Beschleunigen / Verzögern

EG/AG:

Im System:

Nicht im System:

13/34



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



## 1.3 Grundlegendes – System, Größen und Regelkreis II

### Begriff: Größe



#### Definition Größe:

Verhalten (Eigenschaften / Zustände) innerhalb des Systems bzw. über die Systemgrenzen hinweg, in der Technik üblicherweise technisch-physikalischer Natur. Größen werden zweckabhängig definiert, in der klassischen Regelungstechnik werden meist skalare oder vektorielle Größen betrachtet.

Zentrale Eigenschaft der in der Systemdynamik / Regelungstechnik betrachteten Größen ist die Zeitveränderlichkeit der aktuellen Werte.

#### Physikalische Welt > Systemdynamische Betrachtung:

Physikalische Größen > Größen im Kontext des Zusammenhanges Ihrer Wirkung

15/34



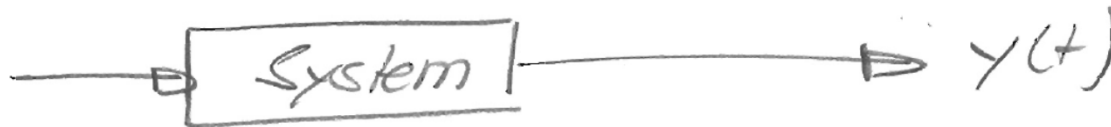
Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



## 1.3 Grundlegendes – System, Größen und Regelkreis III

### Begriff: Regelgröße



#### Definition Regelgröße:

Größe, die auf einem gewünschten Wert gehalten werden soll.  
Dieser Wert kann fest (Festwertregelung) oder  
vorgegeben veränderlich sein (Führungsgrößenregelung).

#### Beispiel: Kraftfahrzeug

Festwertregelung:

Führungsgrößenregelung:

16/34



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

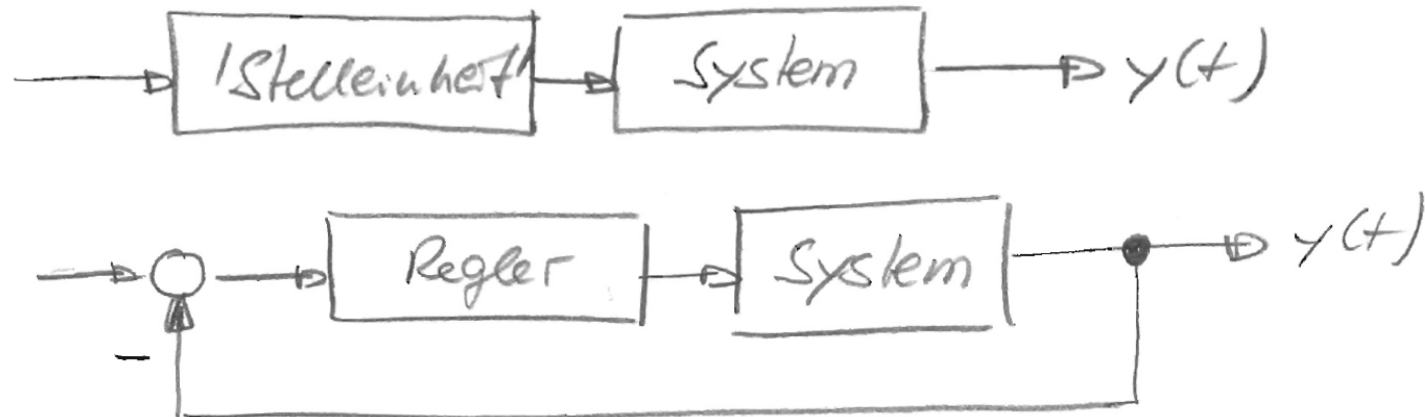
Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien





## 1.3 Grundlegendes – System, Größen und Regelkreis IV

**Begriffe:** - Steuerung  
- Regelung



### Definition Steuerung:

Die Steuerung ist der Vorgang in einem System, bei dem die EG die AG auf Grund der dem System zugrundeliegenden Eigenschaften beeinflussen.

Kennzeichen des Steuerns ist der offene Wirkablauf in einer sog. Steuerkette.

### Definition Regelung:

Die Regelung ist ein Vorgang bei dem die Regelgröße fortlaufend erfasst, mit der Führungsgröße (FG) verglichen und im Sinne einer Angleichung an die FG beeinflusst wird. Die Regelung kann die Aufgabe trotz größerer Störungen erfüllen.

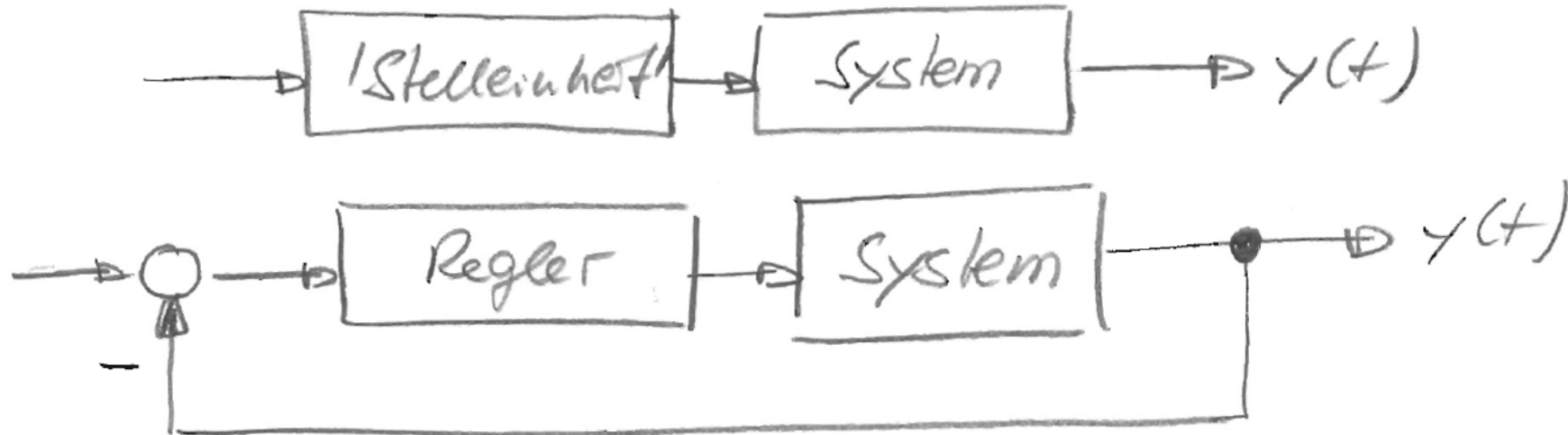
Kennzeichen einer Regelung ist der sog. geschlossene Wirkablauf (im Regelkreis).

17/34



## 1.3 Grundlegendes – System, Größen und Regelkreis V

### Beispiel: Steuerung vs. Regelung



#### Beispiel Steuerung: Kfz-Geschwindigkeit

Wirkweise:

Vorteil:

Nachteil:

#### Beispiel Regelung: Kfz-Geschwindigkeit mit ‚Tempomat‘/(Fahrgeschwindigkeitsregler)

Wirkweise:

Vorteil:

Nachteil:

**Zentral:** Wirkweise wird als Pfeil abgebildet und als Signal aufgefasst  
> Wirkweise > gerichtete Größe

18/34



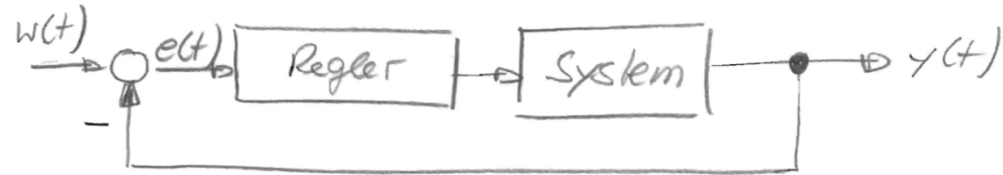
Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



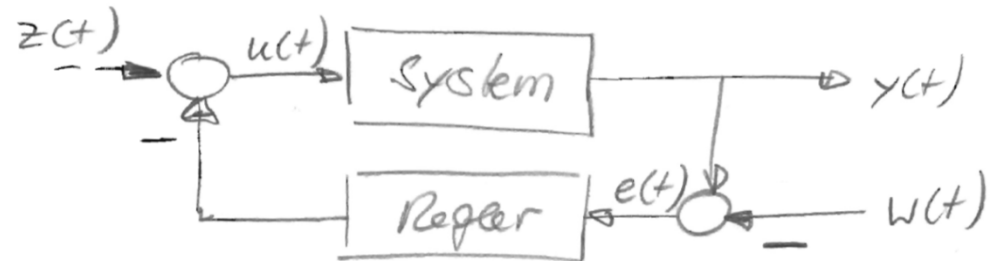
## 1.3 Grundlegendes – System, Größen und Regelkreis VI

### Begriffe:



### Begriff Führungsgröße $w(t)$ :

Größe, die der Regeleinrichtung von außen zugeführt wird und der die Regelgröße folgen soll.



### Begriff Stellgröße $u(t)$ :

Größe, durch deren Änderung die Regelgröße beeinflusst werden kann. Die Stellgröße (SG) ist die Ausgangsgröße der Regeleinrichtung und damit die Eingangsgröße der zu regelnden Strecke (Regelstrecke).

### Begriff Regelabweichung $e(t)$ :

Größe, die die Differenz zwischen gewünschtem und tatsächlichem Verhalten der Regelgröße abbildet oder darstellt. Es ist eine interne Größe der Regeleinrichtung, die zur Bildung der SG herangezogen wird.

19/34

### Begriff Störgröße $z(t)$ , $d(t)$ :

Von außen auf ein System einwirkende Größe, die die beabsichtigte Beeinflussung der Steuerung bzw. der Regelung behindert und entsprechenden Einfluss auf die Regelgröße hat.



## 1.3 Grundlegendes – System, Größen und Regelkreis VII

### **Begriffe: Strecke, Regler, Übertragungselement, Übertragungssystem**

#### **Definition Strecke / Steuerstrecke / Regelstrecke:**

Die Strecke ist der Teil des Wirkweges, welcher den zu beeinflussenden Teil des Gesamtsystems darstellt.

#### **Definition Regler / (Reglereinrichtung):**

Regler ist der Teil des Wirkweges, welcher die Beeinflussung der Strecke über den Aktor/Aktuator (das Stellglied) bewirkt. (Die Regeleinrichtung enthält zusätzlich eine Einrichtung zum Erfassen der Regelgrößen ((Sensor/Messglied), zum Vergleich von Führungs- und Regelgrößen (Vergleicher) sowie zum Bilden der Stellgröße.))

#### **Definition Übertragungselement:**

Abstrakte Betrachtung eines Systems, dessen Übertragungseigenschaften betrachtet werden. Dieses kann sowohl die Strecke als auch der Regler sein. Hier steht die konkrete Abgrenzung von seiner Umwelt sowie die Klassifizierung hinsichtlich der dynamischen Eigenschaften im Vordergrund. Die Elemente eines Regelkreises sind aus dynamischer Sicht allesamt Übertragungselemente, die Einordnung innerhalb des Regelkreises erlaubt die weitere Klassifizierung als Strecke oder Regler.

#### **Definition Übertragungssystem:**

Abstrakte Betrachtung eines aus verschiedenen Übertragungselementen zusammengesetzten Systems.

20/34



## 1.3 Grundlegendes – System, Größen und Regelkreis VIII

### Begriffe: Stellglied, Übertragungsglied, Messglied

Begriffe der Art ‚xyz-Glied‘ werden typischerweise in Normen (z. B. ehemals DIN 19226) verwendet, um die Geräte/Gerätschaften zu benennen, die in der praktischen Ausführung/ Industriepraxis zur Realisierung von Regelkreisen verwendet werden.

#### Synonyme und Bedeutung:

Stellglied: Aktor, Aktuator: realer Mechanismus zur Beeinflussung von Energie- und Massenströmen etc.

Messglied: Sensor, Messaufnehmer, Messwertaufnehmer:  
realer Mechanismus zur messtechnischen Erfassung physikalischer Größen (mechanischer, thermischer, elektrischer, ...) typischerweise erfolgt eine Umwandlung in mechanische/elektrische/zunehmend jedoch digitale Größen

Übertragungsglied: Synonym für die Eigenschaft von xyz-Gliedern die informations-/signaltechnische Größen übertragen.

#### Hinweis:

Wichtig ist die sprachlich begriffliche Trennung von Ebenen, nämlich von **Signalen / Funktionen** (abstrakt) sowie **Größen** (real), von **Systemen** und **Verhaltensweisen** (abstrakt), sowie von der **physikalisch/technischen Realisierung** (real) und der **mathematisch abstrakten Darstellung** (z.B. durch Gleichungen), die sich entsprechend in den Begriffen und Bezeichnungen niederschlägt.

In der älteren Literatur sowie in praxisnahen Darstellungen werden die verschiedenen Betrachtungsebenen oft nicht getrennt, was den späteren Zugang zu neuen informationstheoretisch orientierten Regelungskonzepten nicht erleichtert.

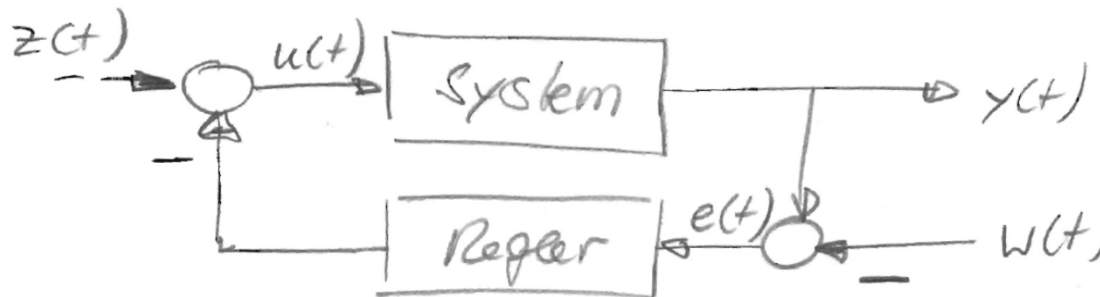
21/34



## 1.4 Ziele der Regelung / Vorgehensweise

### Aus der Definition:

Die Regelung ist ein Vorgang bei dem die Regelgröße fortlaufend erfasst, mit der Führungsgröße (FG) verglichen und im Sinne einer Angleichung an die FG beeinflusst wird. Die Regelung kann die Aufgabe trotz größerer Störungen erfüllen. Kennzeichen einer Regelung ist der sog. geschlossene Wirkablauf (im Regelkreis).



### Ziele:

- > Beeinflussung des dynamischen Verhaltens
  - Verhalten der Regelgrößen
  - Stabilität des Systems
  - Schnelles Angleichen der Regelgröße zur Führungsgröße
  - Schnelles Ausgleichen der Wirkung der Störgröße auf die Regelgröße

### Vorgehensweise/Grundprinzip:

- Vergleich von Soll und Ist
- Rückführung der Differenz
- Geeignete dynamische Beeinflussung der Rückführung >> **Reglerentwurf**

22/34



# 1.5 Beispiele

## 1.5.1 Heizung

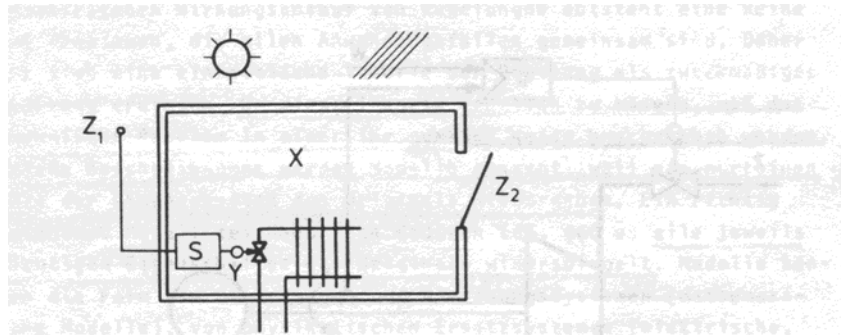


Bild 1-3: Raumtemperatursteuerung

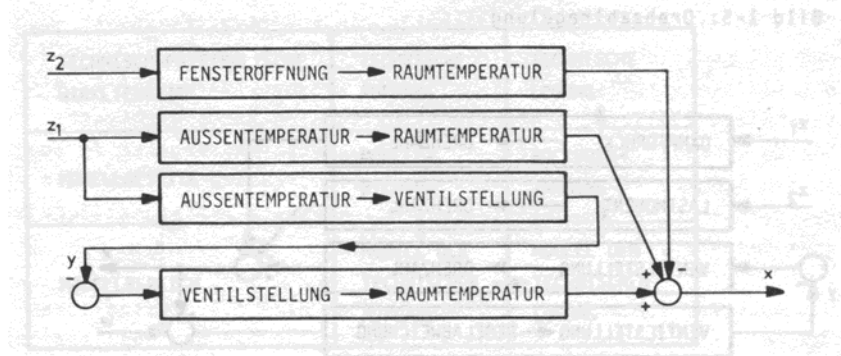


Bild 1-4: Schematische Darstellung der Raumtemperatursteuerung

nach: Rake, Regelungstechnik A (Skript), RWTH Aachen, 1984

# 1.5.1 Heizung - Fortsetzung

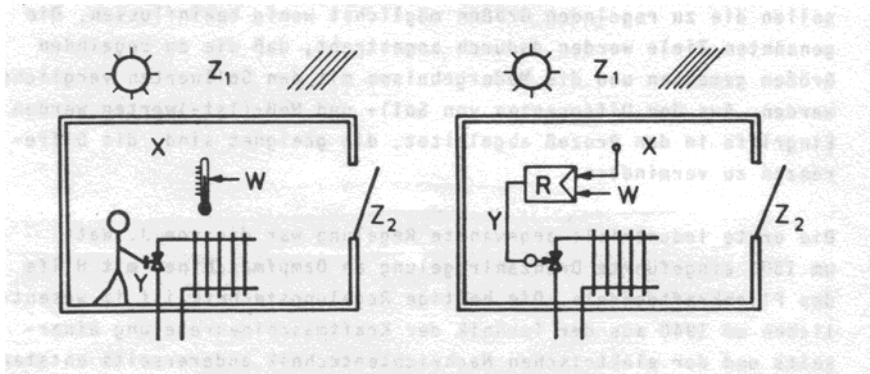


Bild 1-1: Raumtemperaturregelung von Hand und automatisch

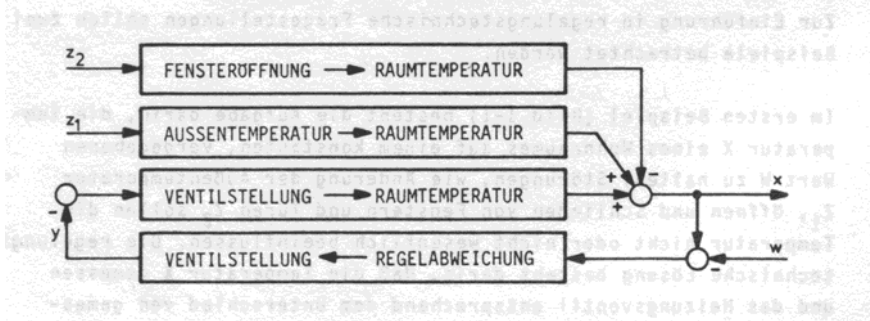
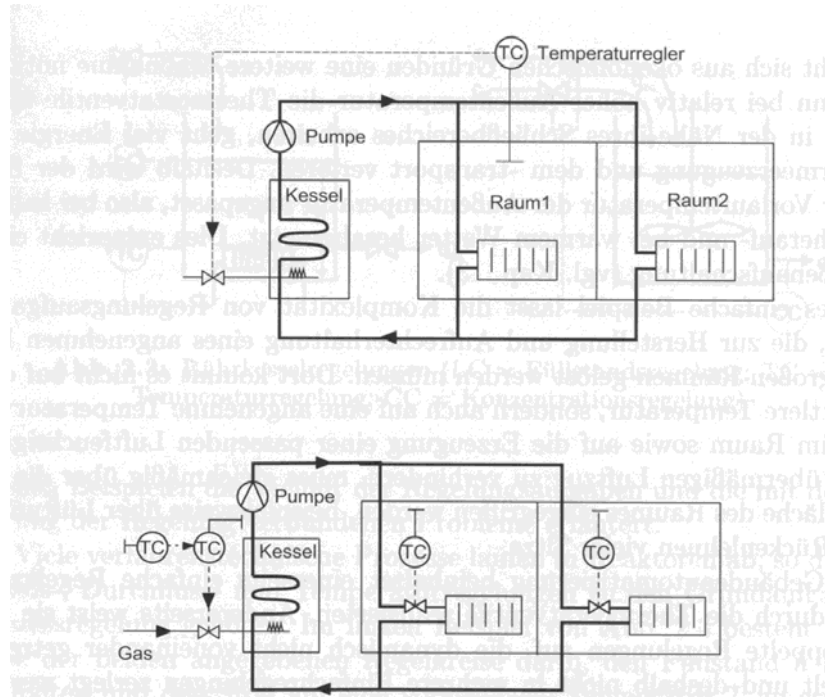


Bild 1-2: Schematische Darstellung der Raumtemperaturregelung

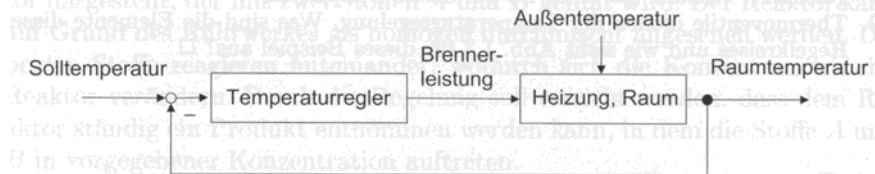
nach: Rake, Regelungstechnik A (Skript), RWTH Aachen, 1984



## 1.5.2 Gebäudeautomatisierung

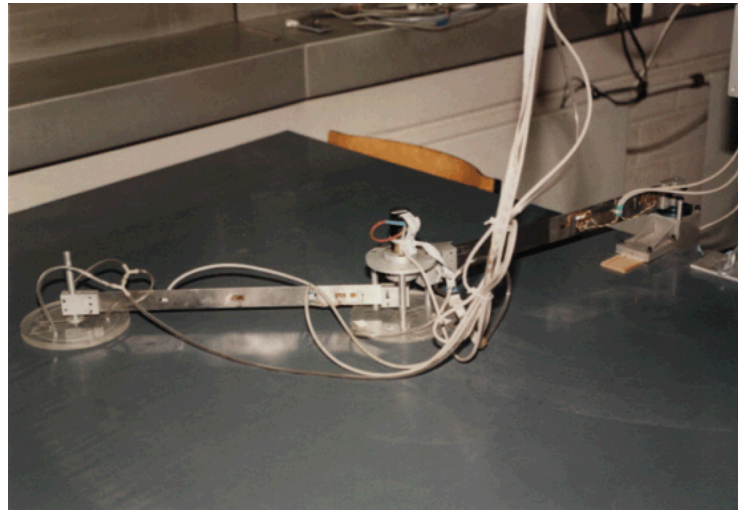


**Abb. 2.1:** Raumtemperaturregelung: Einzelraumregelung (oben);  
Regelung mit Thermoventilen und außentemperaturgeführter  
Vorlauftemperatur (unten)



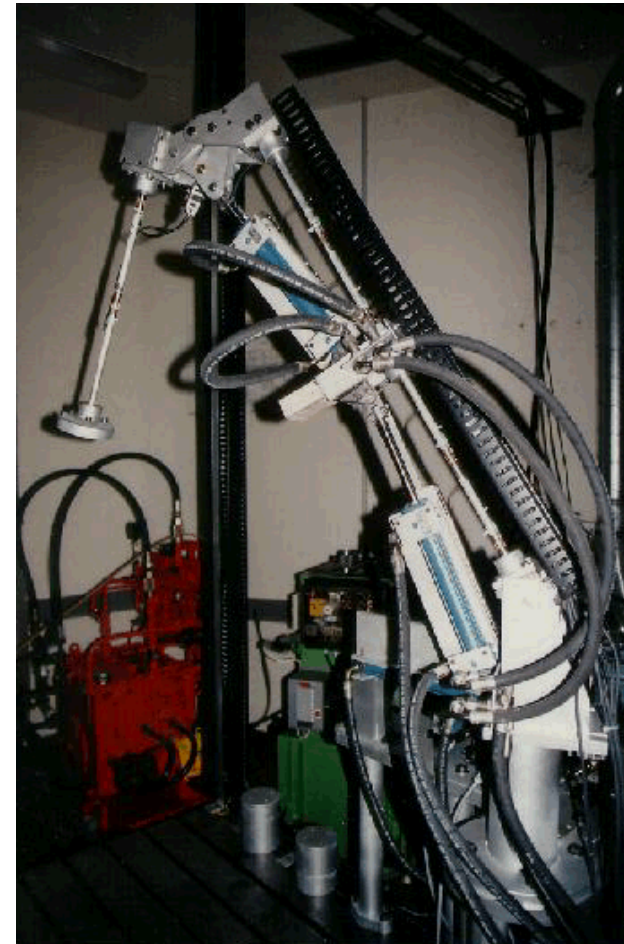
**Abb. 2.2:** Blockschaltbild der Raumtemperaturregelung

### 1.5.3 Mechatronik / Robotik / Autonome Systeme



Elastischer Forschungsroboter ELROB,  
Lehrstuhl Steuerung, Regelung und  
Systemdynamik

Hydraulischer Forschungsroboter  
HYROB,  
Lehrstuhl Steuerung, Regelung und  
Systemdynamik



### 1.5.3 Mechatronik / Robotik / Autonome Systeme - Fortsetzung



Betonverteiler auslegerarm  
der Fa. Schwing, Herne

Autonomer Roboter,  
Lehrstuhl Steuerung,  
Regelung und Systemdynamik



Autonomer Roboter,  
UNLV, USA

Beispiel: Stabilisierung (Regelung) eines inversen, elastischen Pendels



28/34



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



Beispiel:

Schwingungsdämpfung elastischer,  
hydraulisch antriebener Roboter



29/34



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien

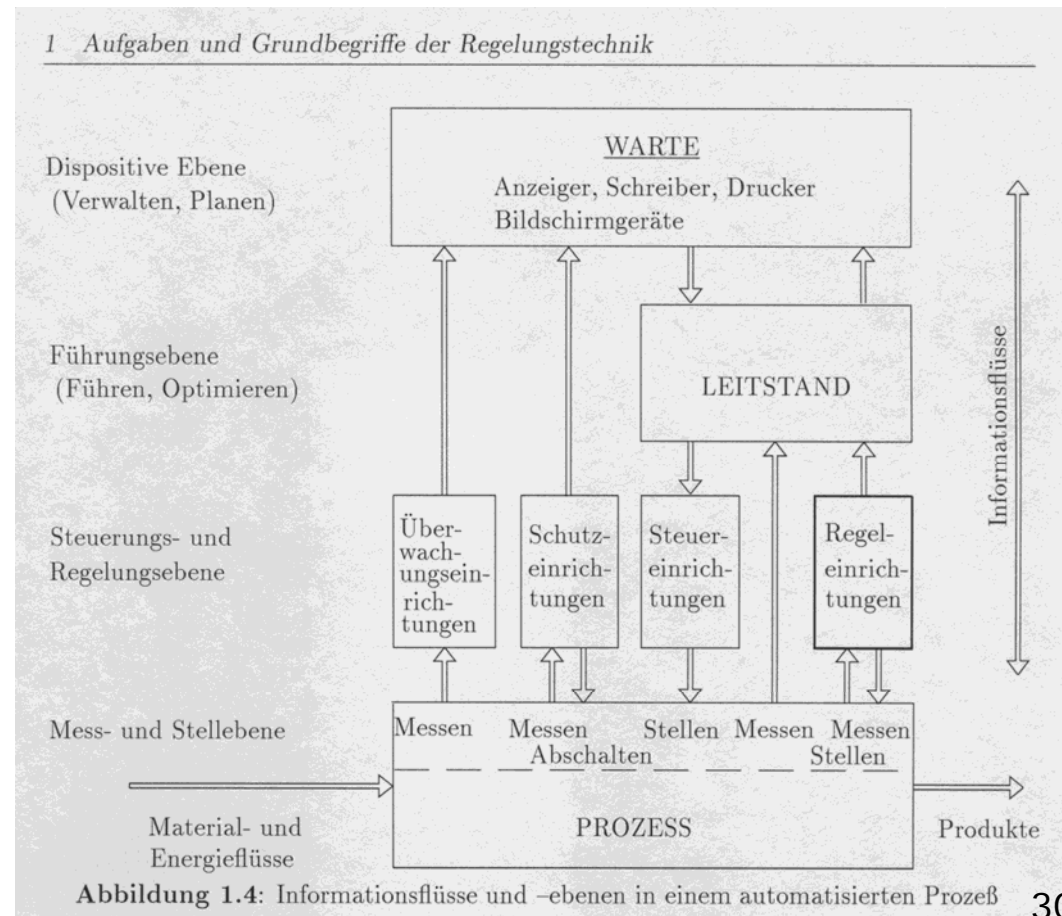


### 1.5.3 Mechatronik / Robotik / Autonome Systeme – Fortsetzung

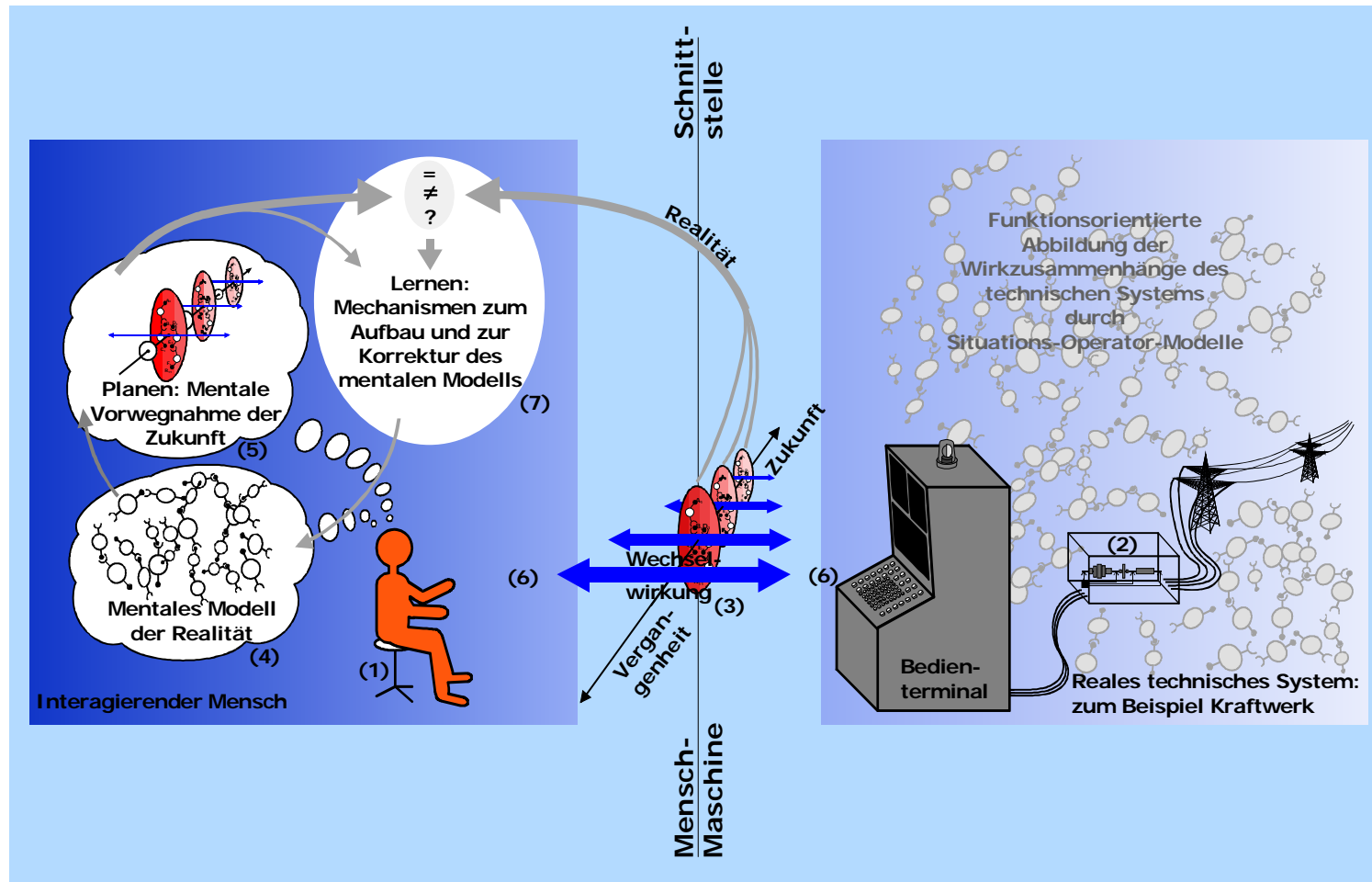
weitere Beispiele z.B. im Automobilbereich:

- ABS
- ESP
- ASR
- ...

### 1.5.4 Prozess- überwachung



# 1.5.4 Prozessüberwachung / Der Mensch als Regler



Mensch-  
Maschine-  
Interaktion I

Beispiel:  
Fahr-  
simulator  
(SRS)



32/34



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien





# Mensch- Maschine- Interaktion II

Beispiel:  
Der Mensch  
im Regelkreis  
(Koop.  
mit DLR,  
Braunschweig)



33/34



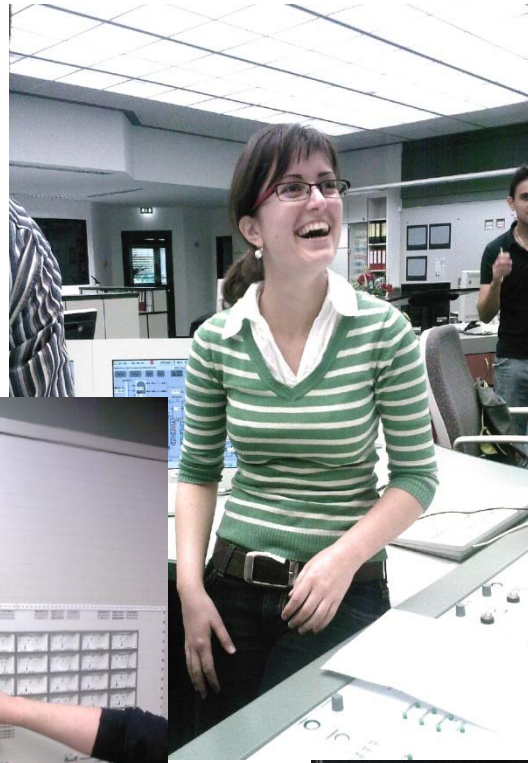
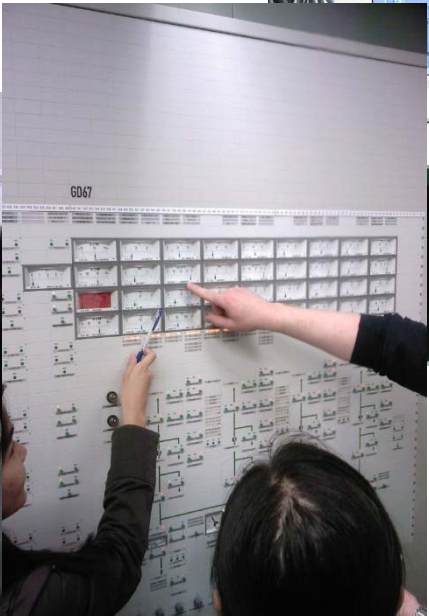
Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
D. Söffker  
VE-1: Formales, Begriffe, Prinzipien



# Mensch- Maschine- Interaktion III

Beispiel:  
Leitwarte  
Kerntechnische  
Anlage



## 2 Dynamische Systeme, Systemdynamik und Beschreibung dynamischer Systeme

### 2.1 Modellbildung:

#### Worum geht es in der VE-2?

- >> Die systemdynamische Betrachtung beruht auf Annahmen und Abstraktionen. In diesem Zusammenhang ist wichtig:
  - > Modellbildung auf Basis theoretischer oder experimenteller Methoden
  - > Abstraktion durch graphische Abbildung von Systemen/Systemengrenzen
  - > Abbildung der dynamischen Zusammenhänge durch mathematische Ausdrücke
  - > Linearisierung und Vereinfachung der Beziehungen

A



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
Dirk Söffker  
VE-2: Dynamische Systeme ...



## 2 Dynamische Systeme, Systemdynamik und Beschreibung dynamischer Systeme

### 2.1 Modellbildung:

Bedeutung von Modellen in der Systemdynamik/Regelungstechnik:

Dynamische Systeme > Signal und System  
> Abbildung realer Sachverhalte zeitveränderlicher Natur

Abbildung des Wirkablaufes / Signalflusses  
> Abstraktion > Zeitfunktion

Abstraktion: Vom Verhalten des realen Systems  
zur formalen Beschreibung des Verhaltens (> math. Ausdruck)

1/10



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
Dirk Söffker  
VE-2: Dynamische Systeme ...



## Vorgehensweise bei der Modellbildung:

- 1) Beschreibung des Modellbildungszieles
- 2) Auswahl der Modellannahmen
- 3) Verbale Beschreibung der Strecke
- 4) Aufstellung des Blockschaltbildes
- 5) Aufstellen der Modellgleichungen
- 6) Modellvalidierung

2/10



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

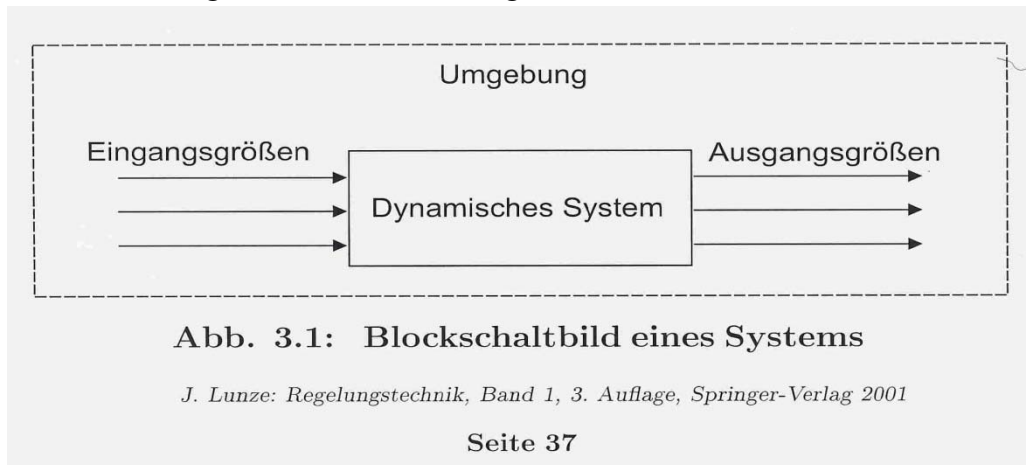
Veranstaltung Systemdynamik  
Dirk Söffker  
VE-2: Dynamische Systeme ...



## 2.2 Blockschaltbild

Darstellungselement / Wirkschema / Strukturbild

> Betrachtung eines einzelnen Übertragungselementes  
/ eines dynamischen Systems



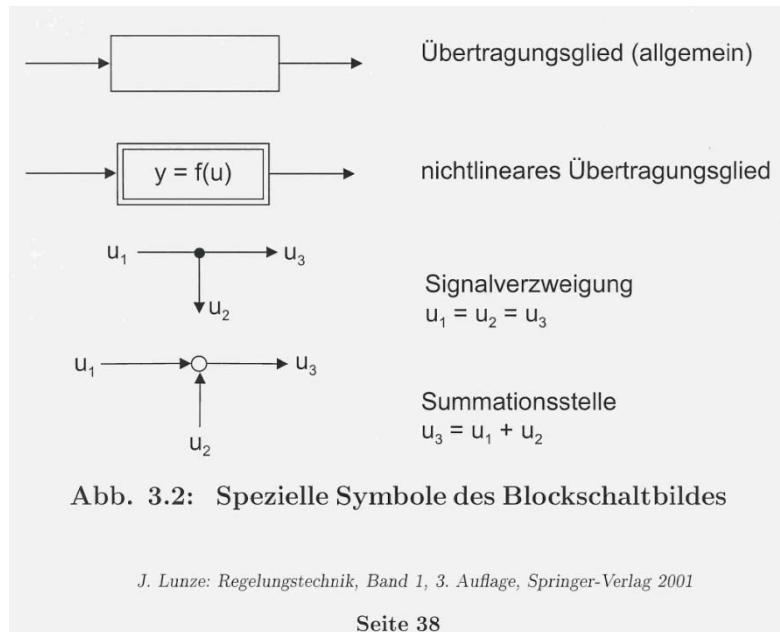
Pfeile:

Blöcke (dynamische Systeme):

> Wirkrichtung

3/10

## Symbole:



## 2.3 Linearisierung des Übertragungsverhaltens (statisch)

- > nichtproportionales Übertragungsverhalten
- > Vorteile von Übertragungselementen mit linearem Verhalten
  - > Regelungstechnik > lineare Theorie

4/10

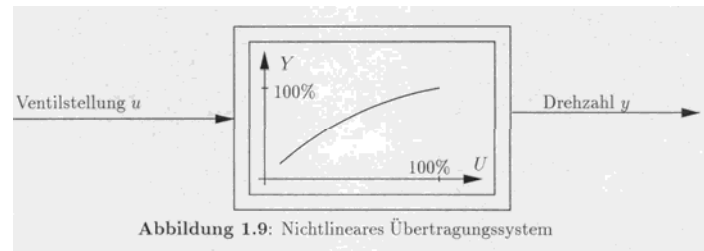


Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
Dirk Söffker  
VE-2: Dynamische Systeme ...



Kennlinienfeld:

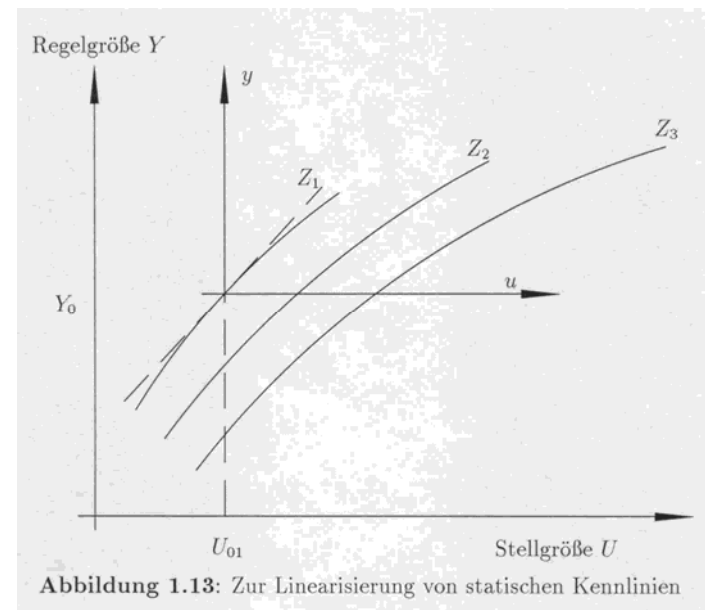


Nichtlineares Übertragungsverhalten

### Linearisierung des Übertragungsverhaltens

- graphisch
- analytisch

Analytische Linearisierung  
durch Taylorreihenentwicklung  
und Abbruch:



5/10



## 2.4 Systembeschreibung durch Differenzialgleichungen

Ziel:

Tatsache:

> Lineare DGL n-ter Ordnung

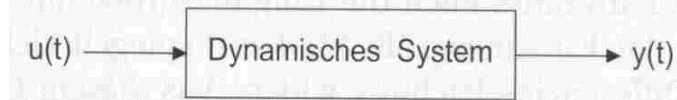


Abb. 4.1: Strukturbild des Systems

### Allg. Schema der Vorgehensweise:

- Aufstellen der Einzelgleichungen (> Bauelementgleichungen)
- Aufstellen der Kopplungsgleichungen
- Verknüpfen zur DGL / zum DGLnsystem
- Verwendung regelungstechnischer Bezeichnungen > Umbenennung

6/10

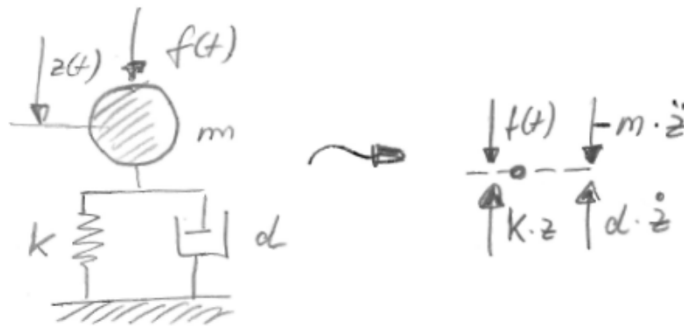


Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
Dirk Söffker  
VE-2: Dynamische Systeme ...



## Beispiel: Von der Physik/Mechanik über die Modellbildung zu den mathematischen Übertragungseigenschaften I: Feder-Masse-Dämpfer System



Modellbildung über Kräftebilanz

> Animationsbeispiel (U GATECH)

Modellbildung liefert:

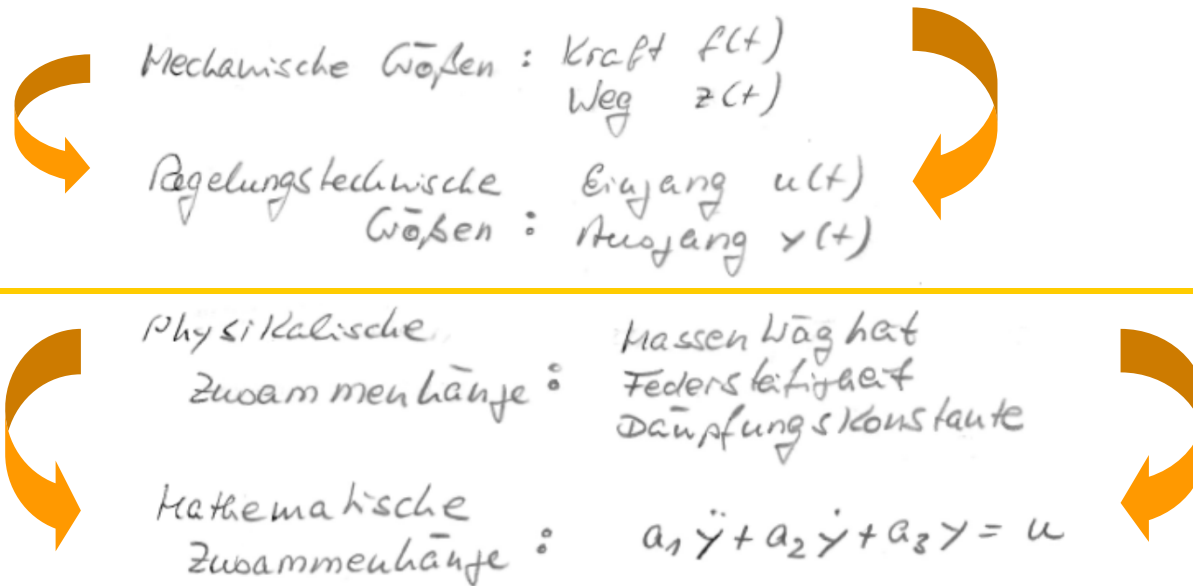
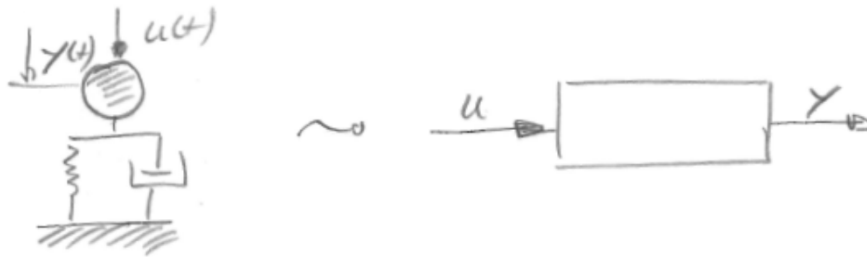
$$m \ddot{z}(t) + d \dot{z}(t) + k z(t) = f(t) ; z, \dot{z}, \ddot{z}(t=0) = z_0, \dot{z}_0, \ddot{z}_0$$

Umbenennen in regelungstechnische Nomenklatur liefert:

$$m \ddot{\gamma} + d \dot{\gamma} + k \gamma = u(t) ; \gamma, \dot{\gamma}, \ddot{\gamma}(t=0) = \gamma_0, \dot{\gamma}_0, \ddot{\gamma}_0$$

7/10

# Beispiel: Von der Physik/Mechanik über die Modellbildung zu den mathematischen Übertragungseigenschaften II: Feder-Masse-Dämpfer System- Fortsetzung



### **Allg. Schema der Vorgehensweise:**

- Aufstellen der Einzelgleichungen (> Bauelementegleichungen)
- Aufstellen der Kopplungsgleichungen
- Verknüpfen zur DGL / zum DGLnsystem
- Verwendung regelungstechnischer Bezeichnungen > Umbenennung 9/10



## 2.5 Linearität / Kausalität / Zeitinvarianz dynamischer Systeme

Def.: Lineares Übertragungsverhalten liegt vor, wenn das  
Superpositionsprinzip gilt.

Superpositionsprinzip:

Kausalität:

Zeitinvarianz:

(Philosophische Randbemerkung:

10/10



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
Dirk Söffker  
VE-2: Dynamische Systeme ...



### Was Sie aus der VE-2 gelernt haben sollten:

- >> Die lineare Systemdynamik / Regelungstechnik beruht auf Annahmen und Abstraktionen, um komplexe physikalisch technische Zusammenhänge zu beschreiben und zu analysieren.
- >> Die zentralen Annahmen der linearen Regelungstechnik von Eingrößensystemen bestehen in der Annahme von Kausalität, Zeitinvarianz sowie der Linearität des Übertragungsverhaltens. Dies erlaubt die Anwendung des Superpositionsprinzips.
- >> Die mathematische Abstraktion z.B. auf der Basis von mathematischen Beschreibungen des Verhaltens von Systemen ist die Grundlage für die Analyse des Verhaltens sowie die Synthese der Dynamik, d.h. die Entwicklung von geeigneten Rückführungen, d.h. Regelungen. Der Modellbildung von Systemen kommt daher eine zentrale Bedeutung zu.

E



Lehrstuhl  
Steuerung, Regelung  
und Systemdynamik

Veranstaltung Systemdynamik  
Dirk Söffker  
VE-2: Dynamische Systeme ...



## Regelungstechnische und systemdynamische Veranstaltungen (Systemdynamik, Regelungstechnik, Moderne Methoden ..., ...) WiSe 2014/15

### Begriffe und Benennungen

#### **System:**

Durch einen Zweck (z. B. hinsichtlich technisch/physikalischer Zusammenhänge) abgegrenzter Ausschnitt der Realität. Das System steht mit seiner Umwelt in Wechselwirkung, wobei aus der Umwelt Eingangsgrößen (EG) auf das System einwirken und Ausgangsgrößen (AG) vom System auf die Umwelt wirken.

#### **Größe:**

Verhalten (Eigenschaften / Zustände) innerhalb des Systems bzw. über die Systemgrenzen hinweg, in der Technik üblicherweise technisch-physikalischer Natur. Größen werden zweckabhängig definiert, in der klassischen Regelungstechnik werden meist skalare oder vektorielle Größen betrachtet. Zentrale Eigenschaft der in der Systemdynamik / Regelungstechnik betrachteten Größen ist die Zeitveränderlichkeit der Größe, d.h. die jeweils aktuellen Werte.

#### **Regelgröße:**

Größe, die auf einen gewünschten Wert gehalten werden soll, typischerweise auf der Ausgangsseite des Systems. Die Regelgröße soll typischerweise gleich der Führungsgröße sein.

#### **Steuerung:**

Als Steuerung wird d Vorgang in einem System bezeichnet, bei dem die Eingangsgrößen (EG) die Ausgangsgrößen (AG) auf Grund der dem System zugrundeliegenden Eigenschaften beeinflussen. Kennzeichen der Steuerung ist der weitgehend **offene Wirkablauf** in einer sog. ‚Steuerkette‘.

#### **Regelung:**

Als Regelung wird ein Vorgang bezeichnet, bei dem die Regelgröße **fortlaufend** erfasst (gemessen), mit der Führungsgröße (FG) verglichen und im Sinne einer Angleichung an die FG beeinflusst wird. Die Regelung kann die Aufgabe trotz größerer Störungen erfüllen. Kennzeichen einer Regelung ist der sog. **geschlossene Wirkablauf** (im Regelkreis).

#### **Störgröße:**

Von außen auf ein System einwirkende Größe, die die beabsichtigte Beeinflussung der Steuerung bzw. der Regelung behindert und entsprechenden Einfluss auf die Regelgröße hat.

#### **Stellgröße:**

Größe, durch deren Änderung die Regelgröße beeinflusst werden kann. Die Stellgröße (SG) ist die Ausgangsgröße der Regeleinrichtung und damit die Eingangsgröße der zu regelnden Strecke (Regelstrecke).

#### **Führungsgröße:**

Größe, die der Regeleinrichtung von außen zugeführt wird und der die Regelgröße folgen soll. Dieser Wert kann fest oder vorgegeben veränderlich sein.

#### **Regelabweichung:**

Größe, die die Differenz zwischen gewünschtem und tatsächlichem Verhalten des Regelgröße abbildet oder darstellt. Es ist eine interne Größe der Regeleinrichtung, die zur Bildung der SG herangezogen wird.

### **Strecke / (Regelstrecke) / (Steuerstrecke):**

Die Strecke ist der Teil des Wirkweges, welcher den zu beeinflussenden Teil des Gesamtsystems darstellt.

### **Regler / (Regeleinrichtung):**

Regler ist der Teil des Wirkweges, welcher die Beeinflussung der Strecke über den Aktor/Aktuator (das Stellglied) bewirkt. (Die Regeleinrichtung enthält zusätzlich eine Einrichtung zum Erfassen der Regelgrößen ((Sensor/Messglied), zum Vergleich von Führungs- und Regelgrößen (Vergleicher) sowie zum Bilden der Stellgröße.)

**Übertragungselement:**  
Abstrakte Betrachtung eines Systems, dessen Übertragungseigenschaften betrachtet werden. Dieses kann sowohl die Strecke als auch der Regler sein. Die konkrete Abgrenzung von der Umwelt sowie die Klassifizierung hinsichtlich der dynamischen Eigenschaften definiert das Übertragungselement. Die Elemente eines Regelkreises sind aus dynamischer Sicht Übertragungselemente, die Einordnung innerhalb des Regelkreises erlaubt die weitere Klassifizierung als Strecke oder Regler.

### **Übertragungssystem:**

Abstrakte Betrachtung eines aus Übertragungselementen zusammengesetzten Systems.

### **Stellglied:**

Das (physikalisch realisierte) Stellglied ist das im Wirkablauf vor der Strecke liegende physikalisch realisierte Übertragungselement zum Umsetzen der Stellgröße zur Beeinflussung der Strecke z. B. als Aktor. In einer zusammenfassenden Betrachtung wird das Stellglied / der Aktor hinsichtlich seiner Übertragungseigenschaften oft dem Regler / (der Regeleinrichtung) zugeordnet.

### **Messglied:**

Das (physikalisch realisierte) Messglied erfasst zu messende Größen (typischerweise die Regelgröße) und gibt sie an den Regler (insbesondere den Vergleicher) weiter.

### **Sollwert:**

Parametrierter Wert der Führungsgröße

### **Istwert:**

Parametrierter Wert der Regelgröße

-----

### **Hinweis:**

Die vorstehenden Begriffe und Benennungen werden von verschiedenen Institutionen und Autoren unterschiedlich benannt, der Definitionsprozeß konvergiert zwar, ist aber nicht abgeschlossen.  
Wichtig ist für die im Rahmen der vom Lehrstuhl SRS angebotenen Veranstaltungen die sprachlich begriffliche Trennung von 3 unterschiedlichen Betrachtungsweisen/-ebenen (BW), nämlich von  
**Signalen / Funktionen** (abstrakte BW) sowie **Größen** (reale BW), von  
**Systemen und Verhaltensweisen** (abstrakte BW), sowie von der  
**physikalisch/technischen Realisierung** (reale BW) und der **mathematisch abstrakten Darstellung** (z. B. durch Gleichungen > abstrakte BW), die sich entsprechend in den Begriffen und Bezeichnungen niederschlägt.

In der Veranstaltung Kognitive Technische Systeme wird eine weitere BW eingeführt, in der alle Ebenen weiter zu einer symbolischen BW (als Information) abstrahiert werden. In der älteren Literatur sowie in praxisnahen Darstellungen werden die verschiedenen Betrachtungsebenen oft nicht getrennt, was den späteren Zugang zu neuen Regelungskonzepten (z. B. im Kontext der Vorlesung ‚Kognitive Technische Systeme‘) nicht erleichtert.