

1 Einführung

Zoltán Zomotor

Versionsstand: 20. Juli 2015, 11:21

Die nummerierten Felder bitte mithilfe der Videos ausfüllen: <http://www.z5z6.de>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Germany License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/> or send a letter to Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.

Bitte hier notieren, was beim Bearbeiten unklar geblieben ist:

Inhaltsverzeichnis

Kursinhalt Regelungstechnik 1	2
Vorschau auf Kursinhalt Regelungstechnik 2	2
1 Grundelemente in Regelsystemen	3
1.1 Strecke	3
1.2 Steuerung	3
1.3 Regelung	4
2 Steuerung vs Regelung am Beispiel Tempomat	5
2.1 Steuerung	5
2.2 Regelung	6
2.3 Ziel der Regelung	7
3 Anwendungsbeispiele der Regelungstechnik	8
3.1 Manuelle Fahrzeuglenkung	8
3.2 Automatische Fahrzeugstabilisierung	8
3.3 Abstandsregelung	9
3.4 Drive by Wire	9

3.5	Aktive Federung mit Preview	10
4	Geschichte der Regelung	10
4.1	Wasseruhr des Ktesibios (ca. 250 B.C.)	10
4.2	Drebbels Brutkasten um Eier auszubrüten (1620)	11
4.3	James Watt Fliehkraftregler für Dampfmaschinen (1790)	11
4.4	Zeittafel	12
5	Zusammenfassung	12

Kursinhalt Regelungstechnik 1

1. Einführung
2. Modellierung von dynamischen Systemen
3. Das dynamische Verhalten von Systemen
4. Polstellenlage und Frequenzgang

-
5. Erste Analyse des Regelkreises
 6. Stabilität von linearen Systemen
 7. Bode-Diagramm

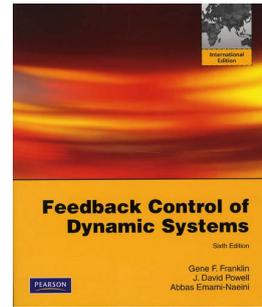
-
8. Wurzelortskurve
 9. Reglerentwurf im Frequenzbereich

Vorschau auf Kursinhalt Regelungstechnik 2

1. Zustandsraumdarstellung
2. Kanonische Formen
3. Zustandstransformation
4. Regelung im Zustandsraum Teil 1
5. Regelung im Zustandsraum Teil 2
6. Optimale Regelung
7. Optimale Zustandsschätzung
8. Diskrete Systeme
9. Beschreibung und Analyse im zeitdiskreten Zustandsraum

Literatur

- [FPE08] Gene F. Franklin, J. David Powell und Abbas Emami-Naeini. *Feedback Control of Dynamic Systems*. 6th international edition. Addison-Wesley, 2008.

**1 Grundelemente in Regelsystemen****1.1 Strecke**

Die *Strecke* (*process*) besteht aus *Maschine* + *Stelleinrichtung* (*actuators*) + *Messeinrichtung* (*sensors*).

1

Bei einem Eingang und einem Ausgang sagt man *Eingrößenstrecke* oder *Single Input / Single Output (SISO)*. Bei mehreren Eingängen und mehreren Ausgängen heißt es *Mehrgrößenstrecke* oder *Multiple Input / Multiple Output (MIMO)*. Bei MIMO Systemen sind $\mathbf{u}(t)$ und $\mathbf{y}(t)$ Vektoren.

1.2 Steuerung

Bei einer *Steuerung* (*Feedforward Control* oder *Open Loop Control*) erzeugt das Steuergerät die Eingangsgröße $u_s(t)$ - *unabhängig* vom aktuellen Verlauf $y(t)$ - aus dem Sollwert (reference) $r(t)$.

2

1.3 Regelung

Bei einer *Regelung (Feedback Control)* erzeugt der Regler die Eingangsgröße $u_r(t)$ basierend auf

- *Rückführung* des Istwerts der Regelgröße $y(t)$ und
- *Vergleich* mit dem Sollwert $r(t)$,

3

Regelung und Steuerung lassen sich auch kombinieren:

4

2 Steuerung vs Regelung am Beispiel Tempomat

Anhand eines Tempomaten lässt sich der Unterschied Steuerung versus Regelung veranschaulichen. Abbildung 1 zeigt das Blockdiagramm eines Tempomat-Reglers. Für den Vergleich

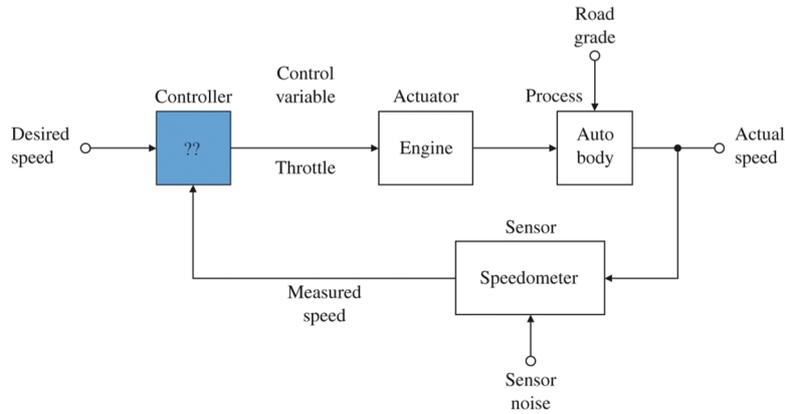


Abbildung 1: Tempomatregler aus [FPE08, Fig. 1.3]

brauchen wir ein einfaches Modell, Abbildung 2: Eine Änderung des Drosselklappenwinkels bewirke eine Geschwindigkeitsänderung von $\frac{10\text{km/h}}{1^\circ}$ und die Straßenneigung bewirke $\frac{5\text{km/h}}{1\%}$

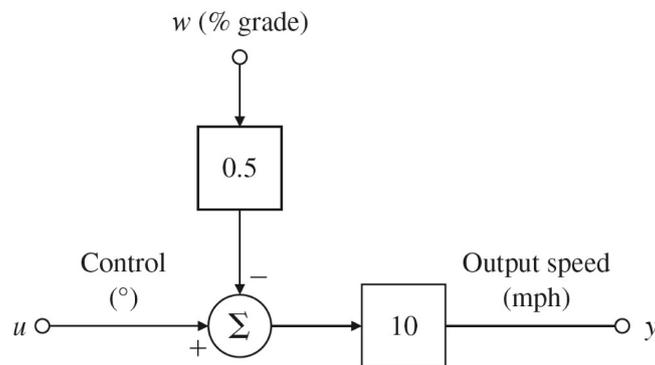


Abbildung 2: Einfaches Modell aus [FPE08, Fig. 1.4]).

2.1 Steuerung

Abbildung 3 zeigt das Blockdiagramm des *gesteuerten (open-loop)* Tempomaten. Für die Ge-

①

2 Steuerung vs Regelung am Beispiel Tempomat

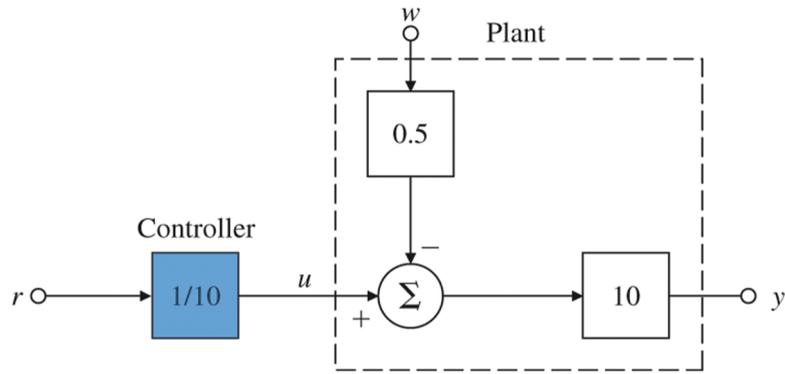


Abbildung 3: Gesteuerter (open-loop) Tempomat [FPE08, Fig. 1.5]

5 _____

schwindigkeit folgt dann

6 _____

Somit ergibt sich bei ebener Straße ($w = 0^\circ$) mit $r = 55\text{km/h}$

7 _____

Bei einer Steigung von $w = 1^\circ$ ergibt sich für $r = 55\text{km/h}$

8 _____

Das bedeutet somit

2.2 Regelung

Abbildung 4 zeigt das Blockdiagramm des *geregelten (closed-loop)* Tempomaten. Den Verstär-

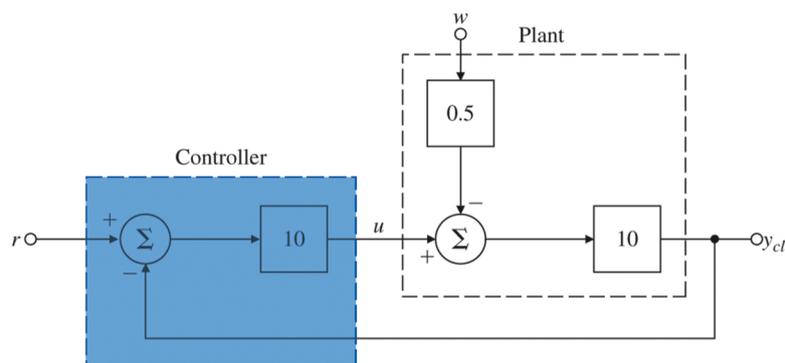


Abbildung 4: Geregelter (closed-loop) Tempomat [FPE08, Fig. 1.6]

kungsfaktor (feedback gain) setzen wir hier willkürlich auf 10. Im *aufgeschnittenen* Regelkreis

gilt zunächst:

9 _____
 |
 |
 |

Wenn wir den Regelkreis schließen ergibt sich schließlich:

10 _____
 |
 |
 |

Bei einer Steigung von $w = 1\%$ ergibt sich für $r = 55\text{km/h}$ |
 11 _____

und bei ebener Straße ($w = 0\%$) |
 12 _____ Das bedeutet

13 _____
 |
 |
 |

2.3 Ziel der Regelung

- Kompensation von „Unsicherheiten“ (Störgrößen, Änderung der Strecke)
- Unsicherheiten können mit großem Verstärkungsfaktor kompensiert werden

Problem

- Der Verstärkungsfaktor kann nicht beliebig groß gewählt werden → es gibt ein **Stabilitätsproblem** (vgl. Mikrofon / Lautsprecher-pfeifen)

Theorie

- Wie lässt sich gute Regelqualität erreichen *ohne* die Probleme eines hohen Verstärkungsfaktors?

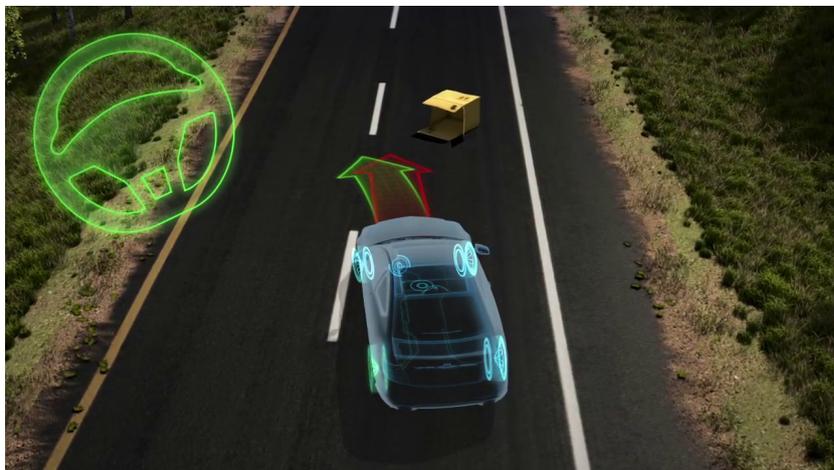
3 Anwendungsbeispiele der Regelungstechnik

3.1 Manuelle Fahrzeuglenkung

14

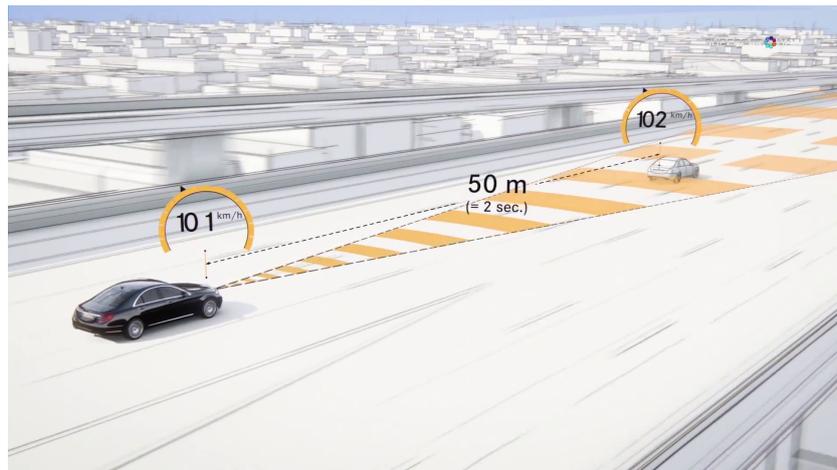
3.2 Automatische Fahrzeugstabilisierung

- Regelungstechnik lässt sich einsetzen, um menschliche Fehler zu erkennen und zu verhindern.
- Beispiel: Electronic Stability Program (ESP)



<http://www.youtube.com/watch?v=k8h3Kv7fU1A>

3.3 Abstandsregelung



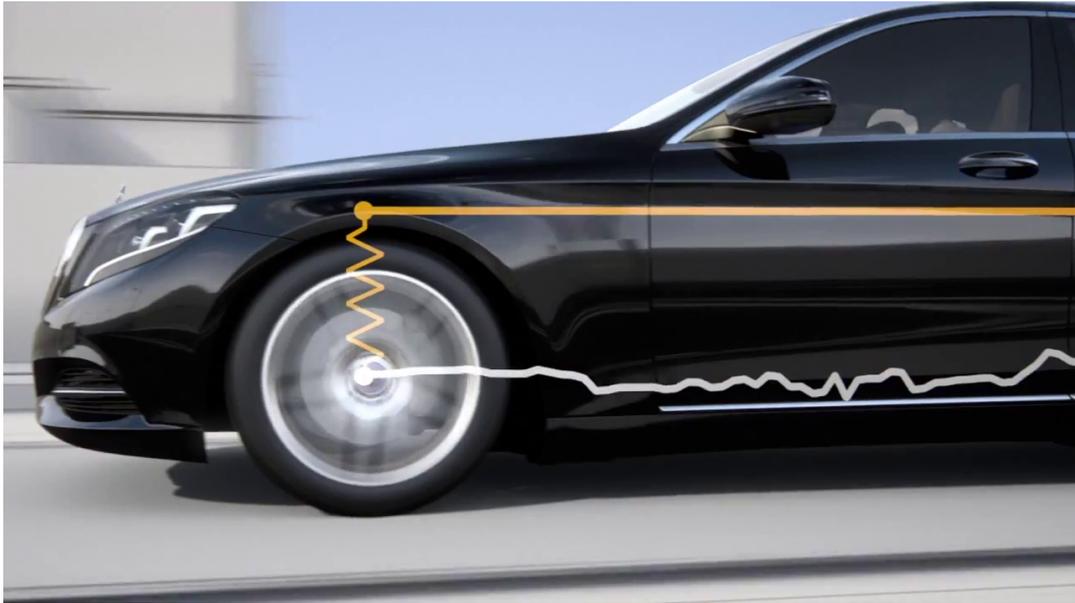
<http://www.youtube.com/watch?v=wb37mVJc9X0>

3.4 Drive by Wire

- Keine mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und Rädern
- Regelung des Lenkwinkels an den Vorderrädern so, dass der Fahrerwunsch erfüllt wird, z.B. durch „Gegenlenken“ bei großem Schwimmwinkel.



3.5 Aktive Federung mit Preview

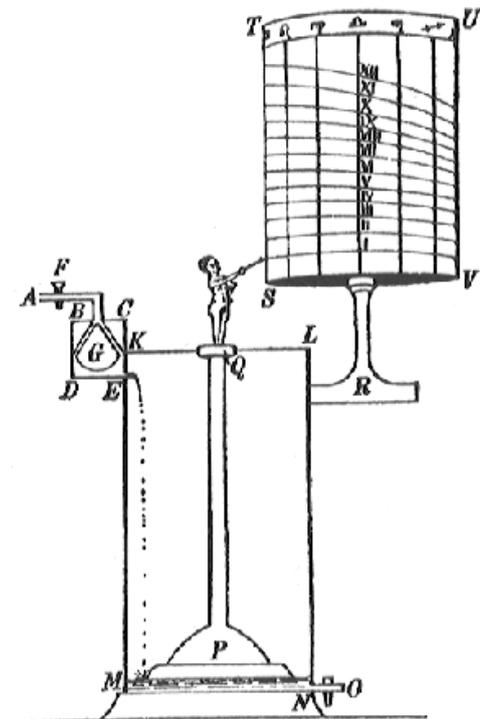
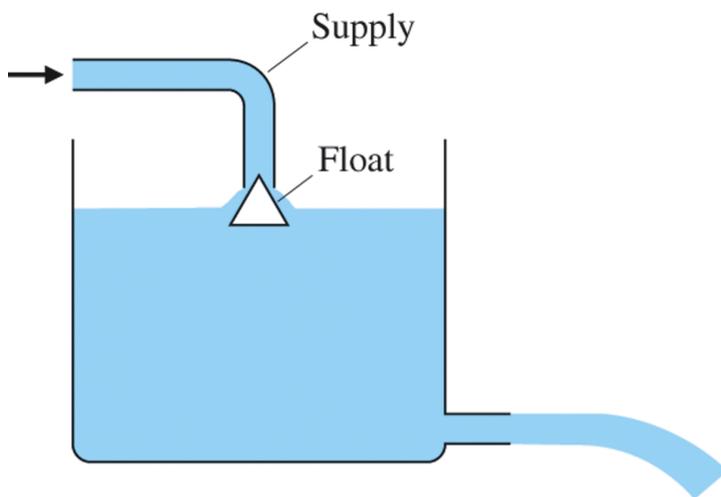


<http://www.youtube.com/watch?v=Qs9AlwpXz1o>

4 Geschichte der Regelung

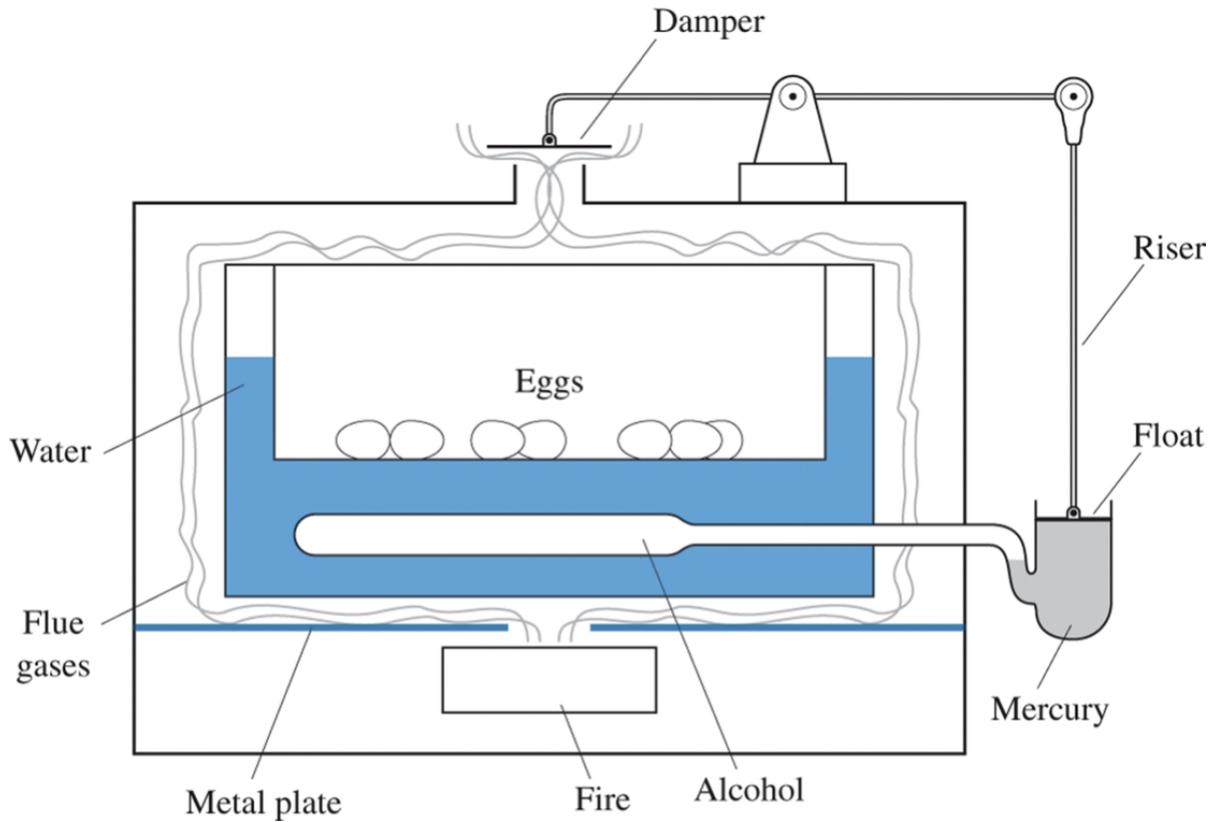
4.1 Wasseruhr des Ktesibios (ca. 250 B.C.)

[FPE08, Fig. 1.7]



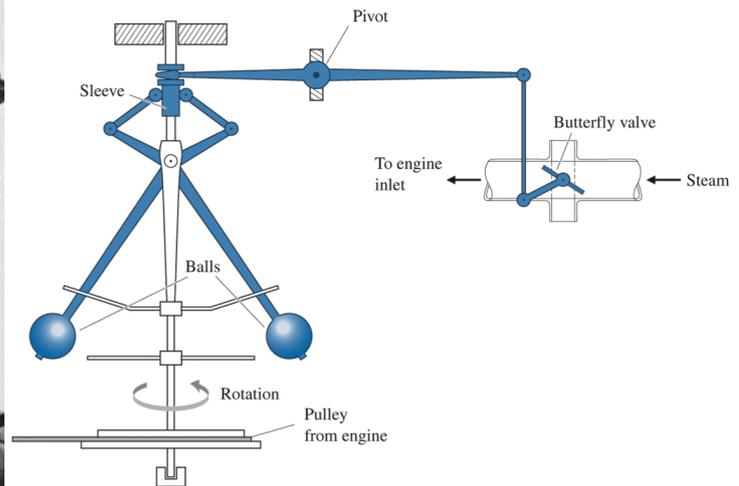
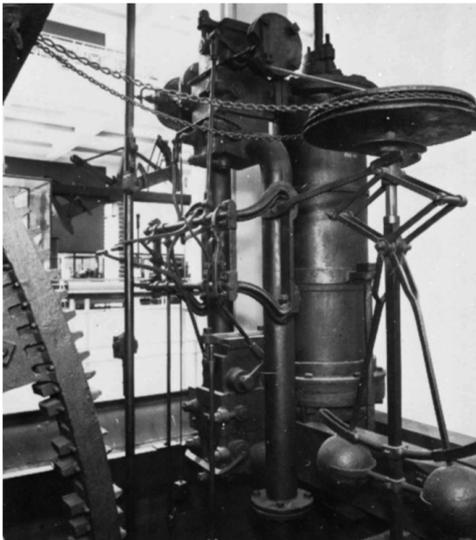
4.2 Drebbels Brutkasten um Eier auszubrüten (1620)

[FPE08, Fig. 1.8]



4.3 James Watt Fliehkraftregler für Dampfmaschinen (1790)

[FPE08, Fig. 1.10 und 1.11]



4.4 Zeittafel

1782 Jozef Maximilián Petzval, Pierre-Simon Laplace: *Laplace-Transformation*.

1868 James C. Maxwell: *On Governors*.

1877 Edward J. Routh: *Treatise on the Stability of a Given State of Motion*.

1892 Aleksandr M. Lyapunov: *The general problem of the stability of motion*.

1895 Adolf Hurwitz: *Über die Bedingungen unter welchen eine Gleichung nur Wurzeln mit negativen reellen Teilen besitzt*. (Routh-Hurwitz-Kriterium)

1932 Harry Nyquist: *Regeneration theory*. Stabilitätskriterium für Verstärker, Frequenzbereich.

1934 Harold S. Black: *Stabilized feedback amplifiers*.

1942 J. G. Ziegler, N. B. Nichols: *Optimum settings for automatic controllers*. Heuristische Einstellregeln für PID-Regler.

1945 Hendrik W. Bode: *Network Analysis and Feedback Amplifier Design*.

1960 Rudolf Kálmán: *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*. (Zustandsraum)

5 Zusammenfassung

Aus [FPE08, Seite 34]:

- Die *Regelung* ist der Prozess, eine Systemvariable einem bestimmten Wert, dem *Referenzwert*, folgen zu lassen. Ein System, das einem sich ändernden Referenzwert folgt heißt *Folgeregelung*. Ein System, dessen Ausgang unabhängig von Störungen konstant bleiben soll, heißt *Konstantregler* oder *Regulator*.
- Im Englischen werden Steuerung und Regelung unter dem Oberbegriff *control* zusammengefasst. Bei der *Steuerung* (*open-loop control*) misst das System *keine* Ausgänge und die Eingangs- oder Regelgröße $u(t)$ wird *nicht* korrigiert, damit der Ausgang $y(t)$ sich dem Referenzsignal $r(t)$ anpasst. Bei der *Regelung* (*closed-loop control*) misst das System mit Hilfe eines Sensors den Ausgang $y(t)$ und koppelt den gemessenen Wert zurück, um die Regelgröße $u(t)$ zu beeinflussen.
- Ein einfaches Regelungssystem besteht aus der *Strecke* (*process*), deren Ausgang (output) $y(t)$ beeinflusst werden soll, dem *Stellglied* (*actuator*), das den Ausgang $y(t)$ der Strecke ändert, Ein- und Ausgangssensoren, und dem *Regler*, der das Signal für das Stellglied berechnet.
- *Blockdiagramme* helfen die Systemstruktur und den Informationsfluss in Regelungssystemen zu visualisieren.
- Die Theorie und Designmethoden lassen sich in zwei Kategorien einteilen: *Klassische* Regelungs-Methoden nutzen die Laplace-Transformation und dominierten bis etwa 1960. Ab 1960 starteten *moderne* Regelungs-Methoden, die auf gewöhnlichen Zustandsdifferentialgleichungen basieren. Es wurden viele Verbindungen zwischen diesen beiden Kategorien entdeckt und der gut vorbereitete Ingenieur muss beide Techniken beherrschen.