Grundlagen der Regelungstechnik

Dr.-Ing. Georg von Wichert
Siemens AG, Corporate Technology, München

Einführung

Was ist Regelungstechnik?

Steuerung versus Regelung — Definitionen und Begriffe

Wofür kann man so etwas brauchen?

Was will ich hier erreichen? Was sollen Sie hier mitnehmen?

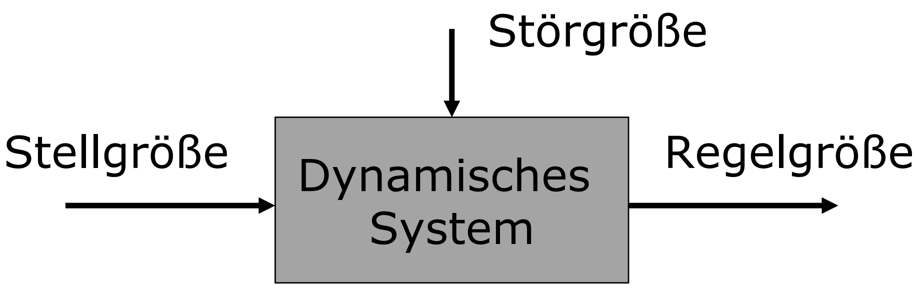
Was ist Regelungstechnik?

Regelungstechnik:

- Lehre von der gezielten Beeinflussung dynamischer Systeme

Dynamisches System:

- System, das einer zeitlichen Änderung unterliegt



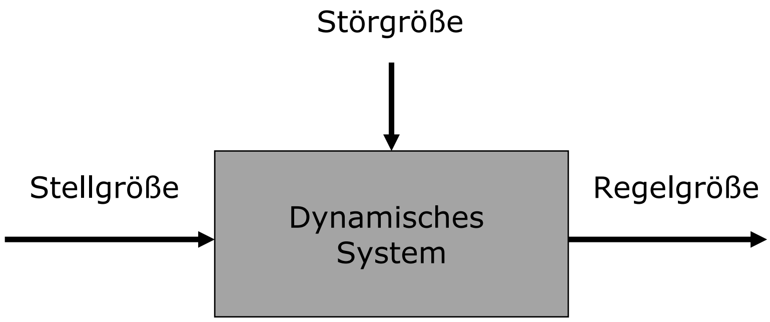
Und nun?

Regelungstechnik:

- Lehre von der gezielten Beeinflussung dynamischer Systeme

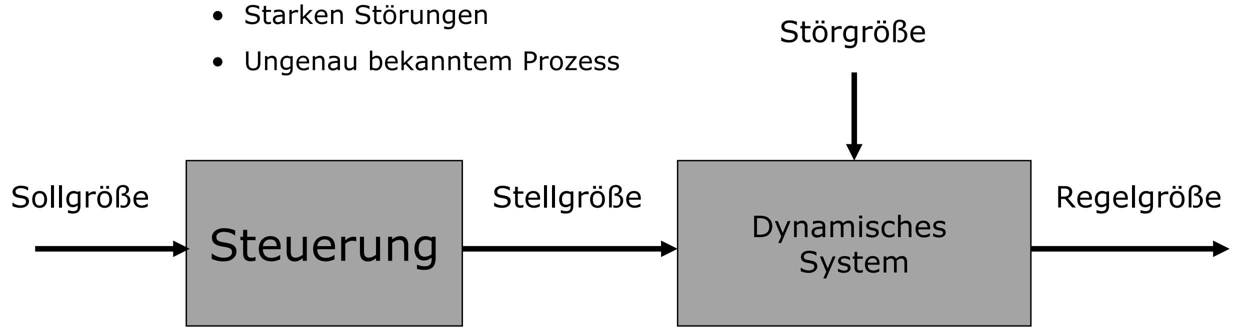
- Gezielte Beeinflussung!
  - Die Regelgröße soll einen von uns bestimmten Wert annehmen
  - Beeinflussung über Stellgröße

- Zwei Möglichkeiten
  - Steuerung
  - Regelung



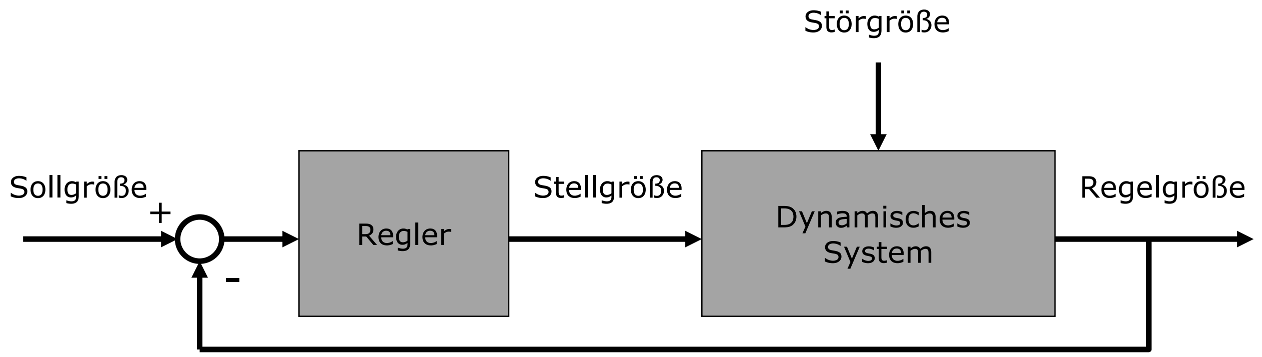
Steuerung (Open loop control)

- Steuerung wirkt auf die Stellgröße und beeinflusst damit die Regelgröße
- Nachteil: Die Steuerung „weiß" nicht, ob die Regelgröße den gewünschten Wert hat!
  - Probleme bei
    - Instabilität
    - Starken Störungen
    - Ungenau bekanntem Prozess



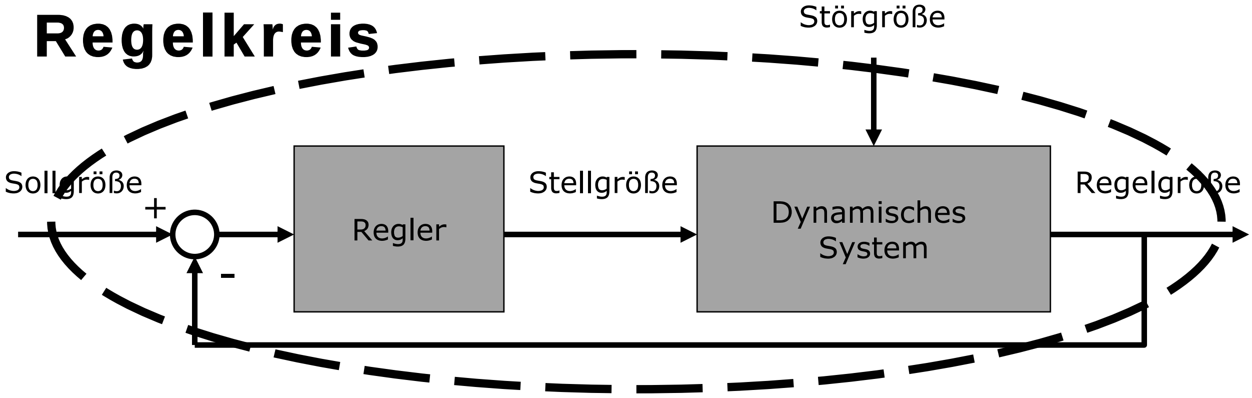
Regelung (Closed loop control)

- Regler wirkt auf die Stellgröße und beeinflusst damit die Regelgröße
- Rückführung der Regelgröße und Vergleich mit der Sollgröße
- Vorteil: Der Regler „weiß", ob die Regelgröße den gewünschten Wert hat!

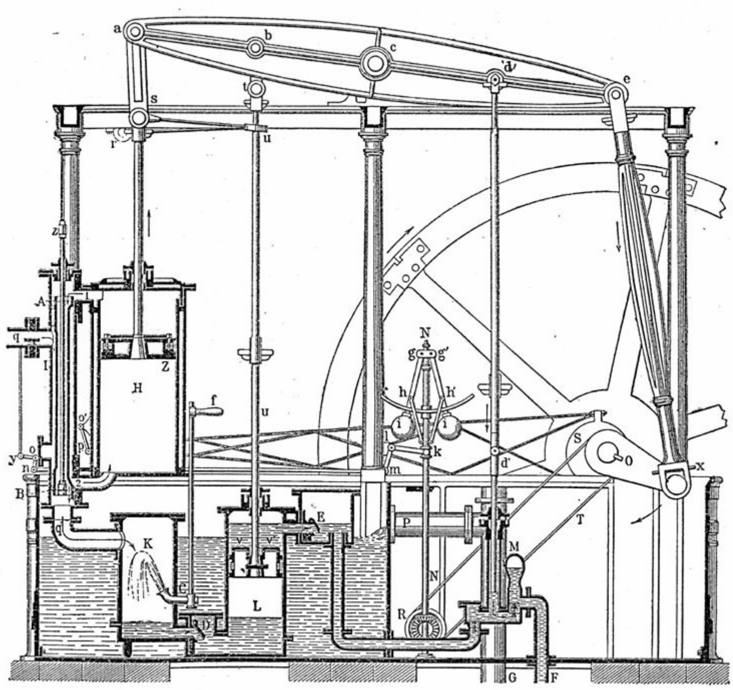


Regelung (Closed loop control)

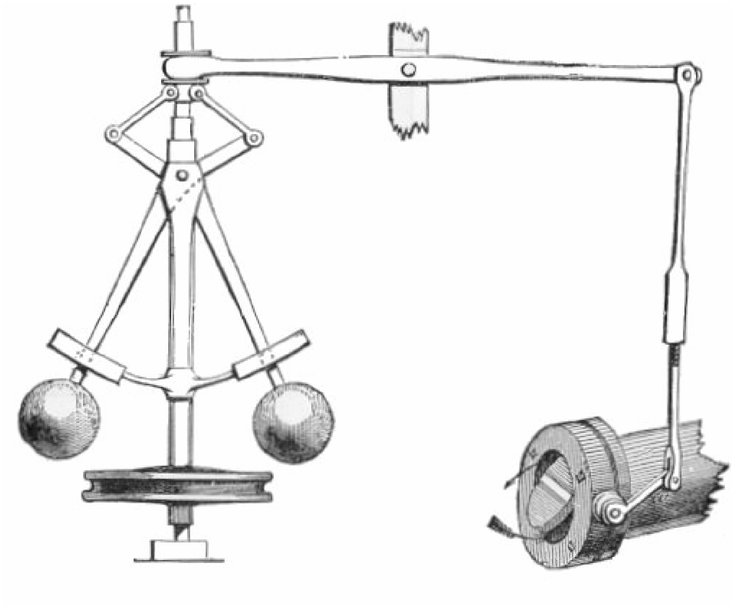
- Regler wirkt auf die Stellgröße und beeinflusst damit die Regelgröße
- Rückführung der Regelgröße und Vergleich mit der Sollgröße
- Vorteil: Der Regler „weiß“, ob die Regelgröße den gewünschten Wert hat!



Wofür kann man so etwas brauchen?



Wofür kann man so etwas brauchen?



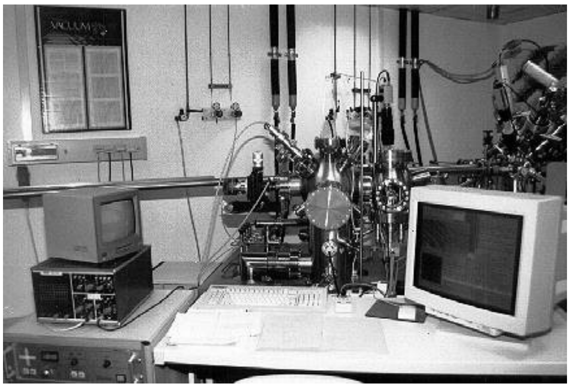
Wofür kann man so etwas brauchen?

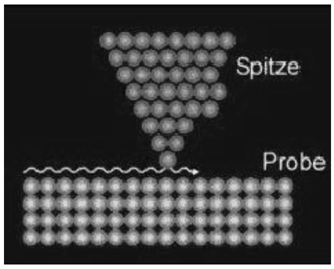
- Temperaturgeregelter CPU-Lüfter
- Geregelte Ausgangsspannung im „Schaltnetzteil“

Wofür kann man so etwas brauchen?

Unter Ausnutzung des Tunneleffektes zwischen metallischer oder halbleitender Probenoberfläche und Tunnelspitze wird letztere lateral über die Probe geführt und unter Konstanthaltung des Tunnelstroms über einen Regelkreis in der Höhe nachgestellt.

…Höhenauslenkungen werden … über einen Lichtzeiger registriert.





Wofür kann man so etwas brauchen?

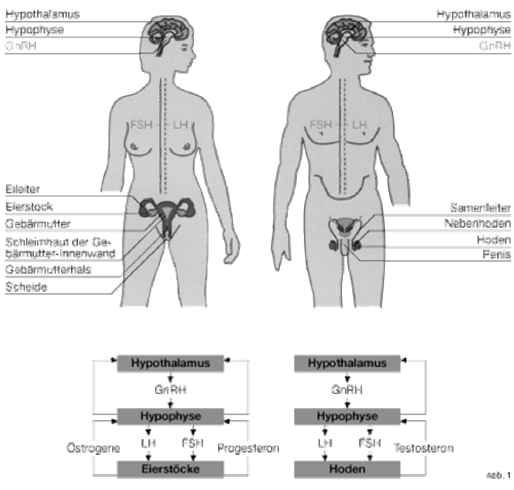
Die wichtigsten Hormone zur Steuerung des weiblichen und männlichen Fortpflanzungszyklus

Die hormonelle Steuerung des weiblichen und männlichen Fortpflanzungssystems erfolgt durch das Zusammenspiel von Hypothalamus, Hypophyse und Geschlechtsorganen mit Hilfe der Hormone, die sie ausschütten (vgl. Abb.).

Der Hypothalamus schüttet gonadotropinfreisetzendes Hormon (GnRH) aus, welches die Freisetzung von follikelstimulierendem Hormon (FSH) und luteinisierendem Hormon (LH) aus der Hypophyse auslöst. FSH und LH wiederum stimulieren die Eierstöcke bzw. die Hoden zur Ausschüttung der Geschlechtshormone (Östrogene, Progesteron und Testosteron).

Sind genügend Geschlechtshormone vorhanden, reagiert der Hypothalamus mit einer Drosselung der GnRH-Freisetzung.

Die niedrigere GnRH-Ausschüttung signalisiert dann der Hypophyse, weniger FSH und LH freizusetzen, was zu einer reduzierten Geschlechtshormonfreisetzung führt und somit den Regelkreis schließt.



Wofür kann man so etwas brauchen?

Alles, was wichtig ist, muss geregelt werden!

Lernziele

Was will ich hier erreichen? Was sollen Sie mitnehmen?

- Fähigkeit regelungstechnische Probleme zu erkennen
- Fähigkeit regelungstechnische Problemlösungen zu diskutieren

- Überblick über die grundlegenden Konzepte
- Überblick über die grundlegenden Ansätze und Techniken

- Fähigkeit zur selbständigen Vertiefung der Thematik
- Wissen, wo man nachschlagen muss!

Literatur

- O. Föllinger: *Regelungstechnik*, Hüthig-Verlag, Amazon €48

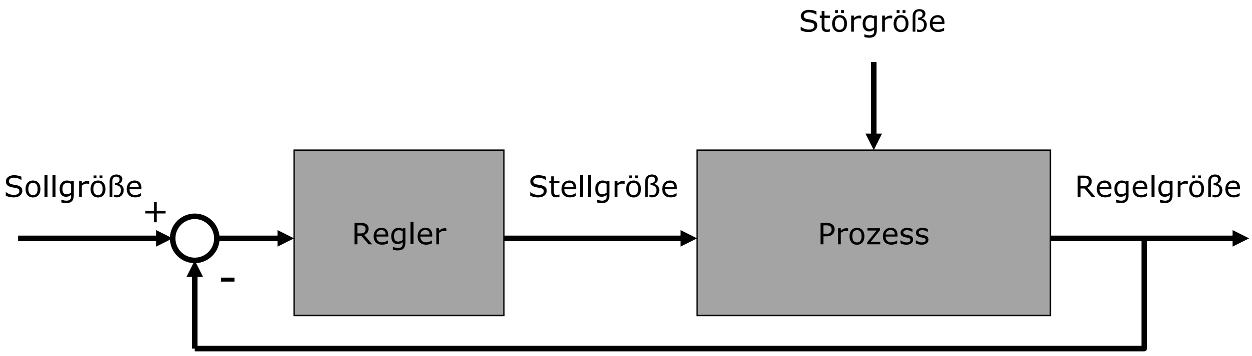
- J. Lunze: *Regelungstechnik 1 & 2*, Springer-Verlag
- R. Unbehauen: *Regelungstechnik 1 & 2*, Vieweg-Verlag
- W. Leonhard: *Einführung in die Regelungstechnik*, Vieweg-Verlag

- Skript Prof. Schumacher, TU Braunschweig
  http://www.ifr.ing.tu-bs.de/lehre/downloads/skripte/Skript_GdR.pdf

Modellierung dynamischer Systeme

Regelungstechnik - Dynamische Systeme

- Regelungstechnik beschäftigt sich mit dynamischen Systemen
- Der Prozess ist immer ein dynamisches System
- Der Regler ist (fast) immer ein dynamisches System
- Der geschlossene Regelkreis ist ein dynamisches System



Modellierung dynamischer Systeme

Dynamisches System:

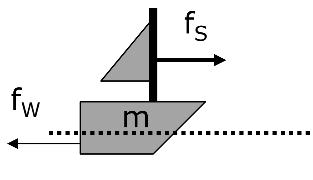
- System, das einer zeitlichen Änderung unterliegt
- Wie beschreibt man ein dynamisches System?
  - Differentialgleichung

Beispiel: Segelboot in laminarer Strömung

Masse: m
Antriebskraft: f_S
Reibungskraft: $f_W = r\,v$

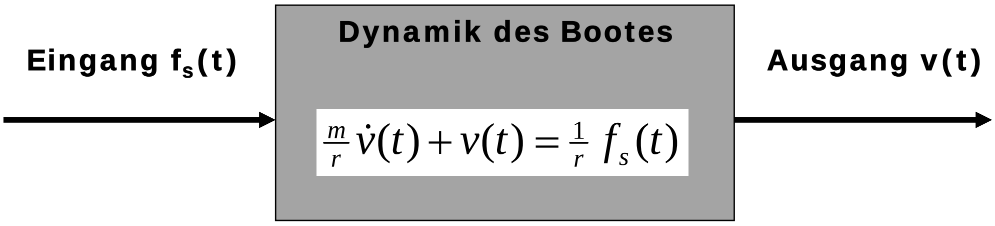
$$m\dot{v}(t) = f_S(t) - rv(t)$$

$$\tfrac{m}{r}\dot{v}(t) + v(t) = \tfrac{1}{r} f_s(t)$$



Verhalten dynamischer Systeme?

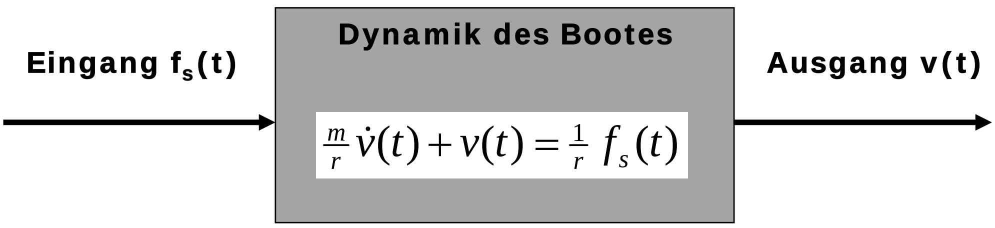
- Wie verhält sich das System?



- Verlauf von $v(t)$ bei gegebenem $f_S(t)$?
  - Was macht das Boot wenn kein Wind weht?
  - Was passiert, wenn der Wind bei t=0 beginnt zu wehen?
    - Anregung des dynamischen Systems, ab t=0 mit Kraft $f_S(t)$

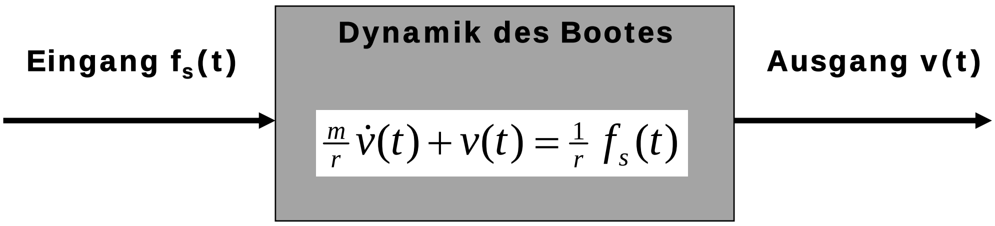
Verhalten dynamischer Systeme?

- Ergebnis durch Lösen der Differentialgleichung mit entsprechenden Randbedingungen
  - Im Allgemeinen ist dies keine sehr beliebte Tätigkeit!
  - Eigentliche Lösung meist uninteressant
  - Ziel: Charakterisierung des Systemverhaltens



Verhalten dynamischer Systeme?

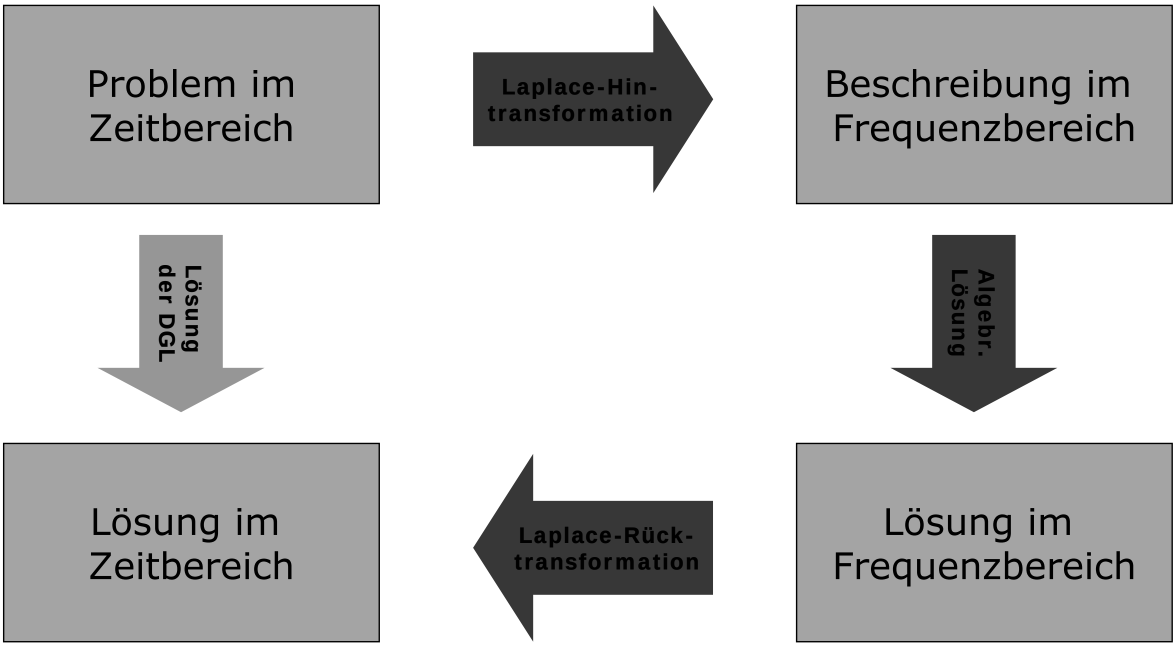
- Ergebnis durch Lösen der Differentialgleichung mit entsprechenden Randbedingungen
  - Im Allgemeinen ist dies keine sehr beliebte Tätigkeit!
  - Eigentliche Lösung meist uninteressant
  - Ziel: Charakterisierung des Systemverhaltens
- In dieser Vorlesung nur lineare DGL mit konstanten Koeffizienten!



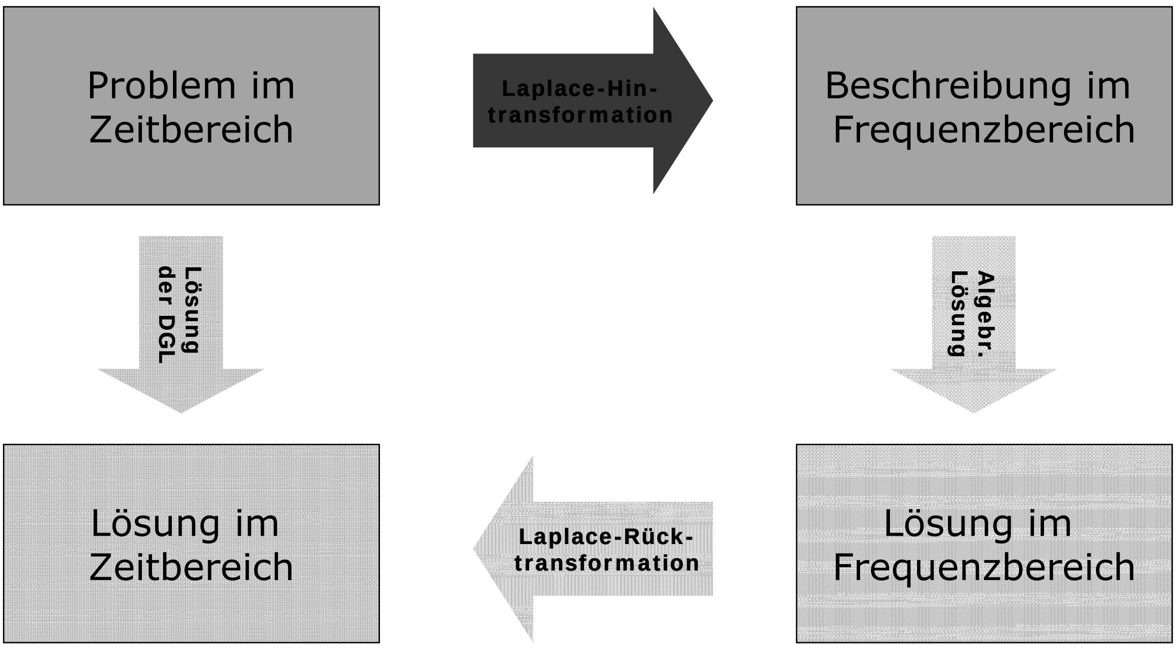
Verhalten dynamischer Systeme?

- Ergebnis durch Lösen der Differentialgleichung mit entsprechenden Randbedingungen
  - Im Allgemeinen ist dies keine sehr beliebte Tätigkeit!
  - Eigentliche Lösung meist uninteressant
  - Ziel: Charakterisierung des Systemverhaltens
- In dieser Vorlesung nur lineare DGL mit konstanten Koeffizienten!
- Lösung über Laplace-Transformation
  - Ziel: Umwandlung der Differentialgleichungen in algebraische Gleichungen

Lösung über Laplace-Transformation



Lösung über Laplace-Transformation



Laplace-Transformation

Hin: $$\mathcal{L}\{f(t)\} = F(s) = \int_0^\infty f(t)e^{-st}\,dt \qquad (\text{mit: } \quad s = \sigma + j\omega; \quad t \geq 0)$$

Rück: $$\mathcal{L}^{-1}\{F(s)\} = f(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{c-j\infty}^{c+j\infty} F(s)e^{st}\,ds \qquad (\text{mit: } \quad c \in \mathbb{R}, c > \max_i \Re(Res_i))$$

- Ähnlich Fourier-Transformation
  - zusätzlich Dämpfungsterm
  - Existiert auch für Funktionen deren Fouriertransformierte nicht existiert
- Rücktransformation schwierig (Integration über komplexe Variable, Funktionentheorie)
  - In der Praxis verwendet man Korrespondenztabellen (z.B. im Bronstein)

Wichtige Eigenschaften der Laplacetransformation

- Linearitätssatz

$$\mathcal{L}\{a_1 f_1(t) \; + a_2 f_2(t)\} = a_1\mathcal{L}\{f_1(t)\} + a_2\mathcal{L}\{f_2(t)\}$$

- Differentiationssatz

$$\mathcal{L}\{f'(t)\} = sF(s) - f(+0)$$

$$\begin{aligned}\mathcal{L}\{f^{(n)}(t)\} &= s^n F(s) - s^{n-1}f(+0) - s^{n-2}f'(+0) - \cdots - f^{(n-1)}(+0)\\ &= s^n F(s) - \textstyle\sum_{v=1}^{n} s^{n-v} f^{(v-1)}(+0)\end{aligned}$$

- Integrationssatz

$$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(q)\mathrm{d}q\right\} = \frac{1}{s}F(s)$$

Wichtige Eigenschaften der Laplacetransformation

- Differentialgleichungen werden zu algebraischen Gleichungen

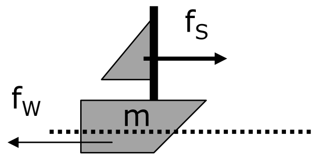
$$\tfrac{m}{r}\dot{v}(t) + v(t) = \tfrac{1}{r} f_s(t)$$

$$\tfrac{m}{r} sV(s) + V(s) = \tfrac{1}{r} F_s(s)$$

$$(\tfrac{m}{r} s + 1)V(s) = \tfrac{1}{r} F_s(s)$$

$$(s + \tfrac{r}{m})V(s) = \tfrac{1}{m} F_s(s)$$

Laplacetransformation
- Linearitätssatz
- Differentiationssatz



Wichtige Eigenschaften der Laplacetransformation

- Verschiebungssatz (R)
- Verschiebungssatz (L)
- Ähnlichkeitssatz
- Dämpfungssatz
- Multiplikationssatz
- Divisionssatz
- Integrationssatz
- Faltungssatz

$$\mathcal{L}\{f(t-a)\} = \mathrm{e}^{-as}\mathcal{L}\{f(t)\} = \mathrm{e}^{-as}F(s) \qquad (t \geq a > 0)$$

$$\mathcal{L}\{f(t+a)\} = \mathrm{e}^{as}\left(F(s) - \int_0^a f(t)\mathrm{e}^{-st}\mathrm{d}t\right) \qquad (t \geq a > 0)$$

$$\mathcal{L}\{f(at)\} = \frac{1}{a}F\left(\frac{s}{a}\right) \qquad (a > 0)$$

$$\mathcal{L}\{\mathrm{e}^{-at}f(t)\} = F(s+a) \qquad (a \in \mathbb{C})$$

$$\mathcal{L}\{t^n \dot{f}(t)\} = (-1)^n F^{(n)}(s) \qquad (n = 1, 2, \ldots)$$

$$\mathcal{L}\left\{\frac{1}{t}f(t)\right\} = \int_s^\infty F(q)\mathrm{d}q$$

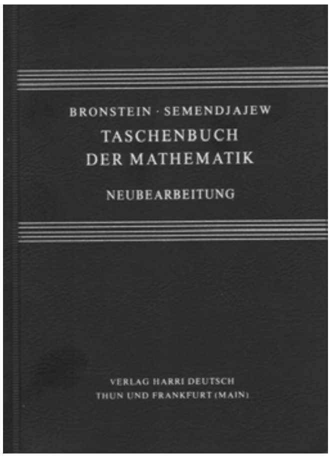
$$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(q)\mathrm{d}q\right\} = \frac{1}{s}F(s)$$

$$\mathcal{L}\{f_1(t) * f_2(t)\} = F_1(s) \cdot F_2(s) = \mathcal{L}\{\int_0^t f_1(u) f_2(t-u)\}\mathrm{d}u$$

$$\mathcal{L}\{f_1(t) \cdot f_2(t)\} = \frac{1}{2\pi i}\int_{c-i\infty}^{c+i\infty} F_1(\sigma)F_2(s-\sigma)\mathrm{d}\sigma$$

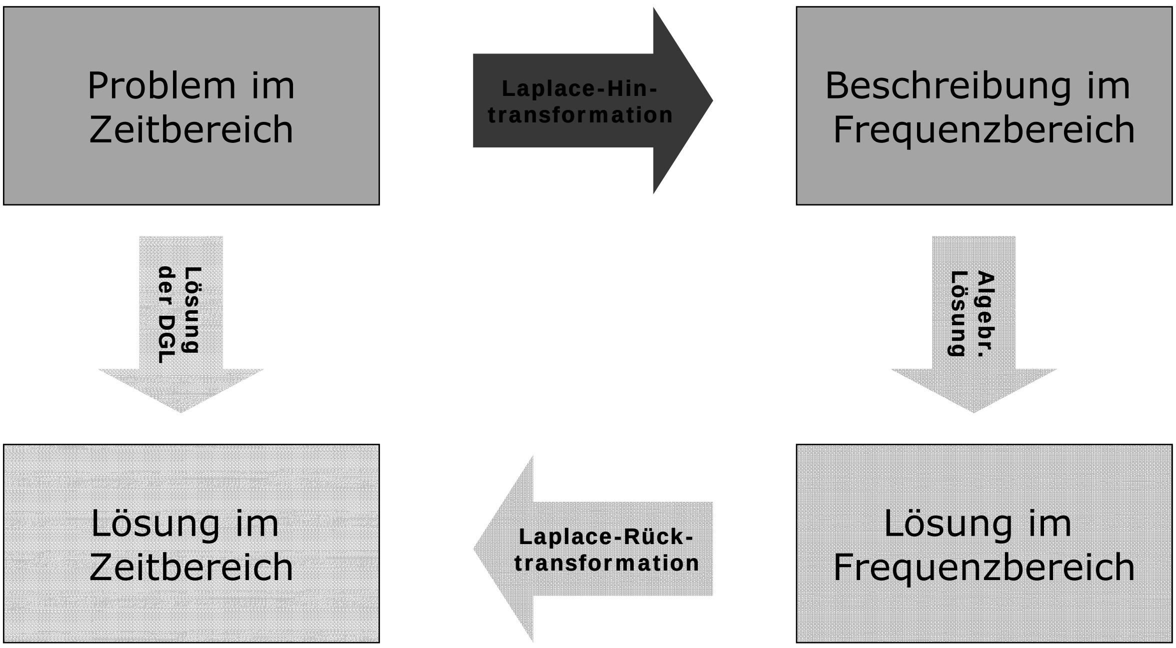
Korrespondenztabelle

- Hier nur einige ausgewählte Funktionen
  - mehr bspw. im Bronstein
- Für Anfangswert *0* !



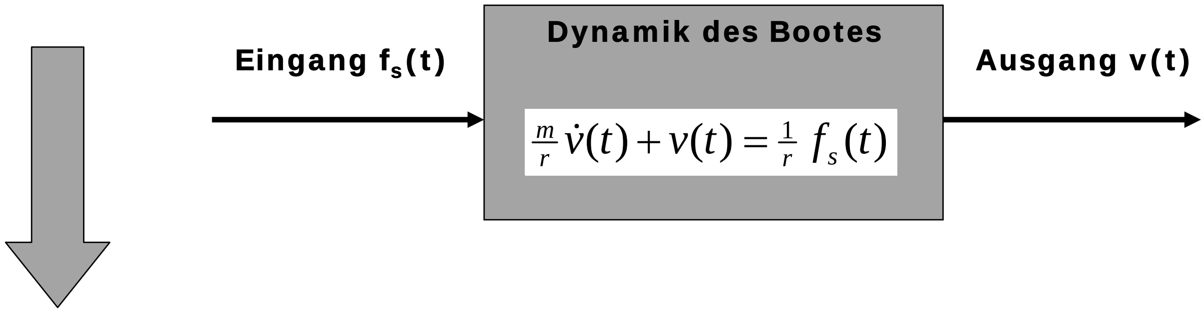
$x(t)$	$X(s)$
1	$\frac{1}{s}$
t	$\frac{1}{s^2}$
$\frac{t^2}{2}$	$\frac{1}{s^3}$
$e^{\sigma_1 t}$	$\frac{1}{s-\sigma_1}$
$1 - e^{\sigma_1 t}$	$\frac{-\sigma_1}{s(s-\sigma_1)}$
$t\, e^{\sigma_1 t}$	$\frac{1}{(s-\sigma_1)^2}$
$\cos(\omega_1 t + \varphi)$	$\frac{s \cos\varphi - \omega_1 \sin\varphi}{s^2+\omega_1^2}$
$e^{\sigma_1 t} \cos(\omega_1 t + \varphi)$	$\frac{(s-\sigma_1)\cos\varphi - \omega_1 \sin\varphi}{(s-\sigma_1)^2+\omega_1^2}$

Lösung über Laplace-Transformation

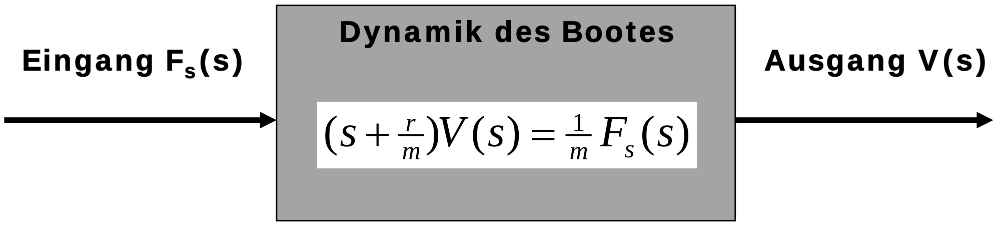


Verhalten dynamischer Systeme?

Zeitbereich

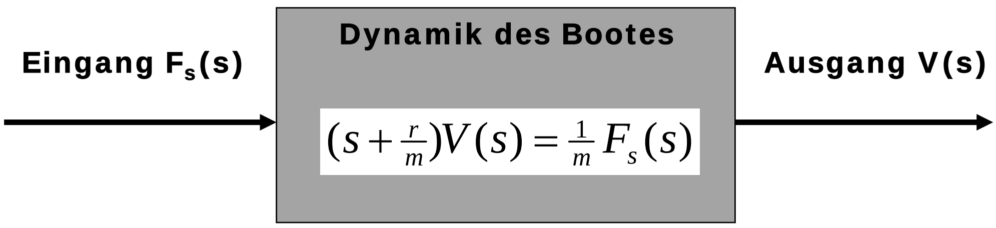


Frequenzbereich



Verhalten dynamischer Systeme?

Frequenzbereich



$$(s + \tfrac{r}{m})V(s) = \tfrac{1}{m} F_s(s)$$

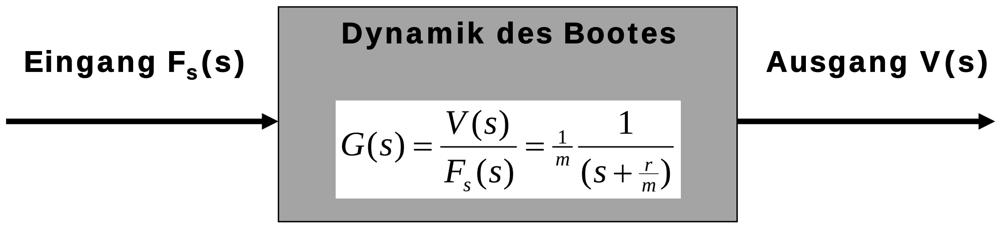
Übertragungsfunktion $\Rightarrow$

$$G(s) = \frac{V(s)}{F_s(s)} = \frac{1}{m}\frac{1}{(s + \frac{r}{m})}$$

$$V(s) = G(s) F_S(s)$$

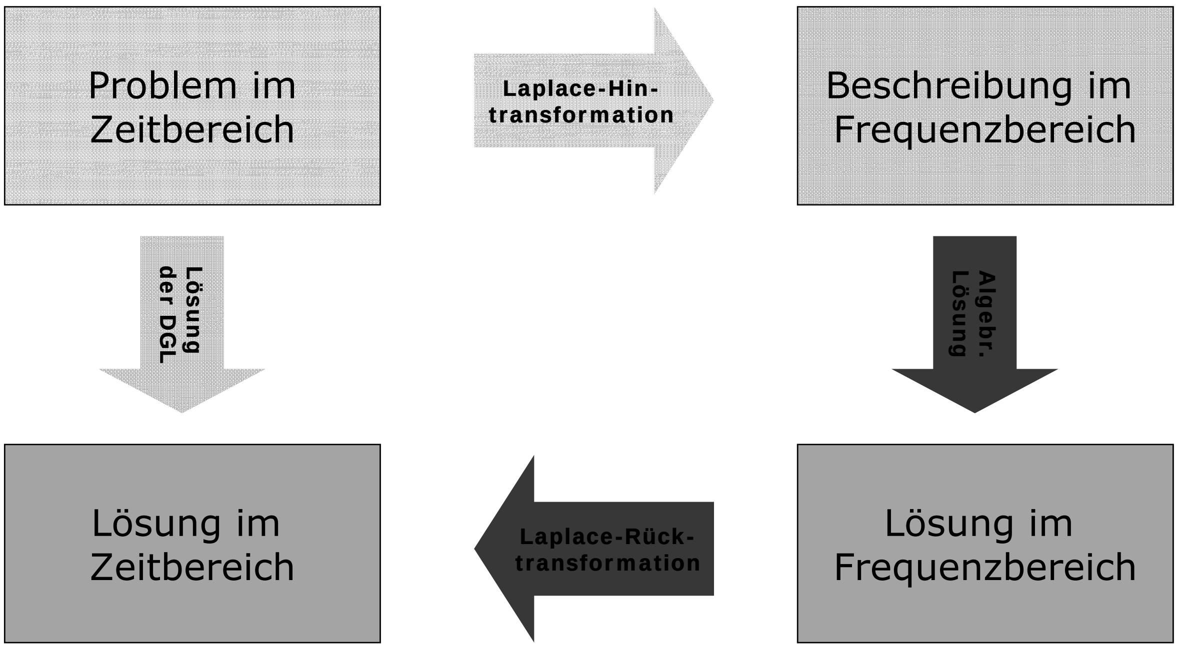
Verhalten dynamischer Systeme!

Frequenzbereich



- Die Übertragungsfunktion G(s)
  - Hängt nicht vom Eingangssignal ab
  - Beschreibt das Systemverhalten vollständig
  - Erlaubt es, Aussagen über das System zu machen

Lösung über Laplace-Transformation



Zurück zu unserem Boot

- Verlauf von v(t) bei gegebenem $f_S(t)$?
  - Was passiert, wenn der Wind bei t=0 beginnt zu wehen?
    - Anregung des dynamischen Systems, ab t=0 mit Kraft $f_S(t)$

System $\quad G(s) = \frac{1}{m}\frac{1}{(s+\frac{r}{m})} \quad$ mit $\quad f_s(t) = 1 \quad$ für $\quad t \geq 0$

Transformationstabelle

Sprungfunktion

$$V(s) = G(s)F_s(s) = \frac{1}{m}\frac{1}{(s+\frac{r}{m})}\frac{1}{s} \qquad F_s(s) = \frac{1}{s}$$

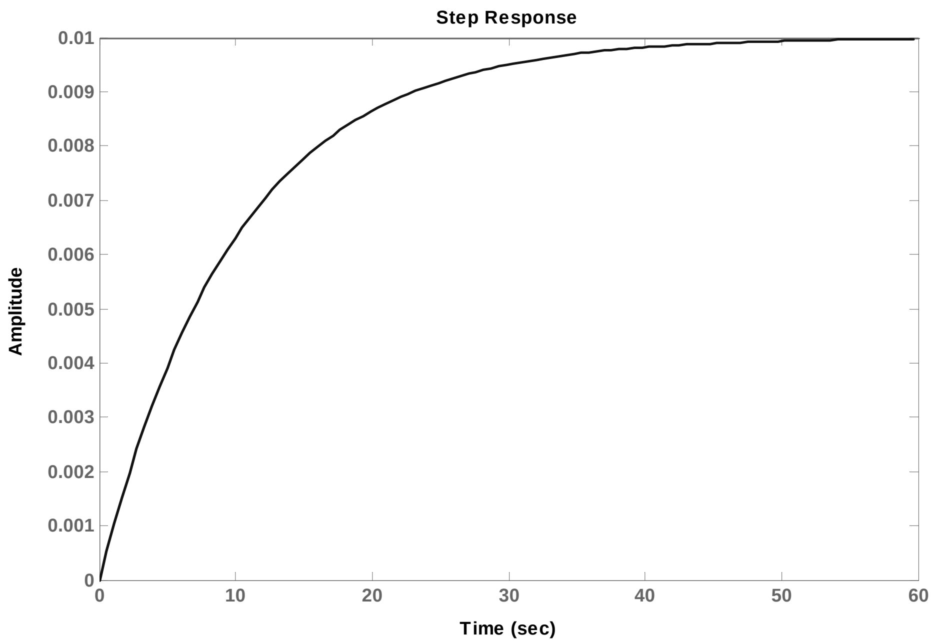
Sprungantwort

Transformationstabelle

$$\frac{\alpha}{s(s+\alpha)} \mapsto \left(1-e^{-\alpha t}\right)$$

$$\boxed{v(t) = \frac{1}{r}(1-e^{-r/m\, t})}$$

Sprungantwort der Bootsdynamik



Verzögerungsglied 1. Ordnung (PT_1)

Differentialgleichung

$$T\dot{y}(t) + y(t) = Kx(t)$$

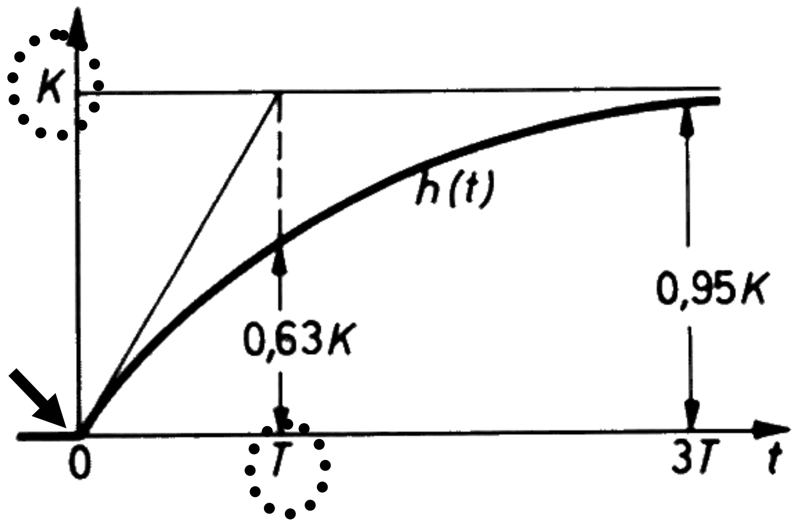
Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{K}{(1+Ts)}$$

Sprungantwort

$$h(t) = K(1 - e^{-t/T})$$

K : Verstärkung
T : Zeitkonstante
(Anstiegszeit)



Sprungantwort