Karlsruher Institut für Technologie

2. Tutorium Systemdynamik und Regelungstechnik

Sommersemester 2013

Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme

Matlab / Simulink
Charakterisierung von Systemen
Stationäres Verhalten

Überblick SRT

- Einteilung von Systemen:
  - **Dynamische** und statische Systeme
  - **Lineare** und nichtlineare Systeme
  - Zeitvariante und **zeitinvariante** Systeme
  - Systeme mit **kontinuierlichen und zeitdiskreten** Signalen
  - **Eingrößen- (SISO)** und Mehrgrößensysteme (MIMO)
  - Systeme mit **konzentrierten** und verteilten Parametern

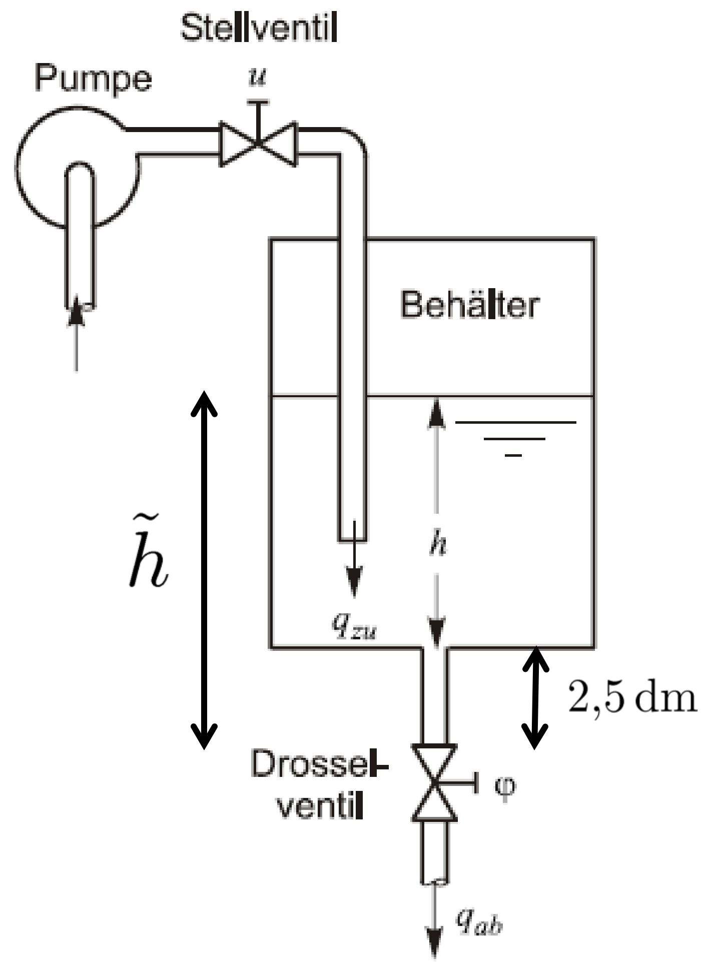
1. Systembeschreibung (Modellierung, Linearisierung, Üfkt.)
2. Systemanalyse (Stabilität, Schwingfähigkeit, Stationäres Verhalten…)
3. Reglerentwurf (Verschiedene Regelkreisstrukturen und Verfahren)

Inhalt und Themen

- Simulation des **Füllstandssystems** mit **Matlab / Simulink** (Aufgabe 7)
- **Simulationsverfahren** zur Lösung von DGL (Aufgabe 12)
- **Stationäres Verhalten** zeitkontinuierlicher Systeme (Aufgabe 10)
- Charakterisierung und **Analyse von zeitkont. und zeitdiskreten Systemen** (Aufgabe 9)

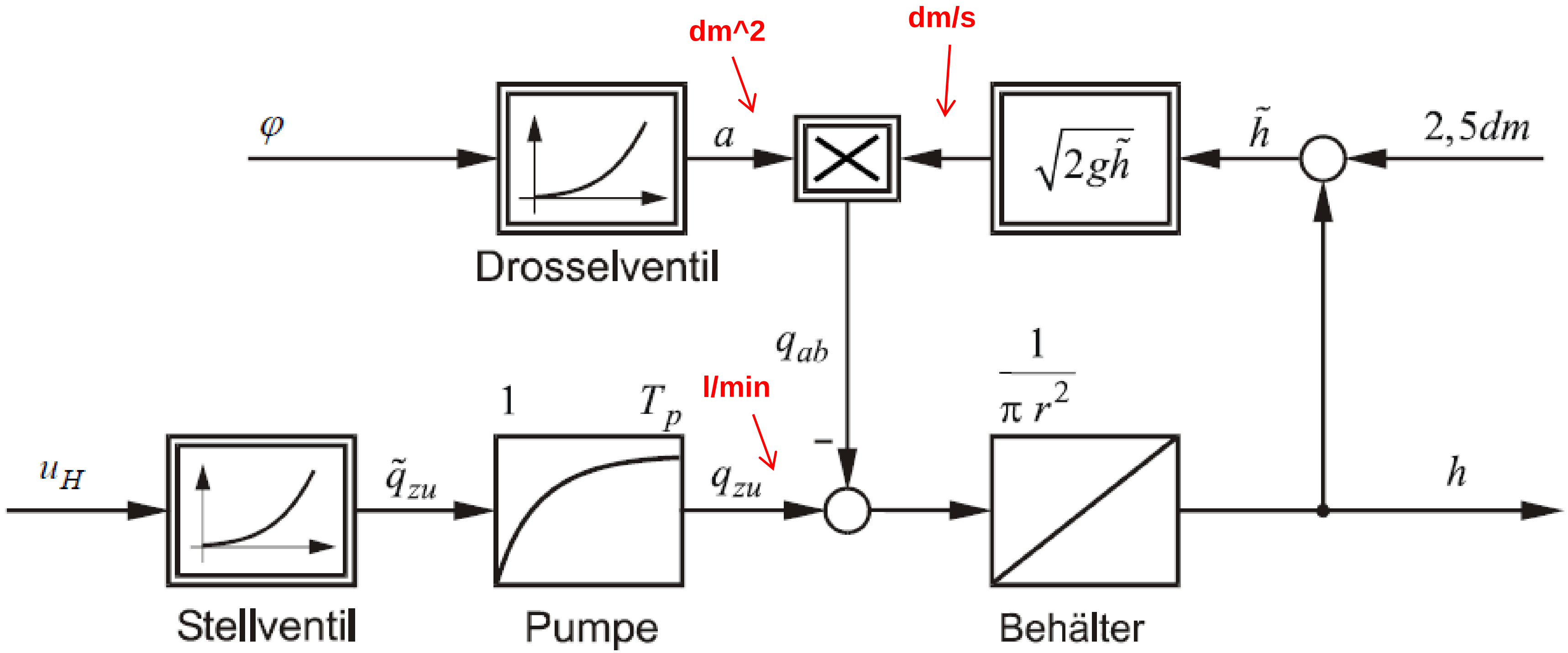
Aufgabe 6

- Dynamisches Verhalten eines Füllstandsversuchs
- **Stellgrößen:**
  - Zufluss mit Hub u_H
  - Abfluss mit Öffnungswinkel φ
    hier: $\varphi = konst.$ → keine Stellgröße
- **Regelgröße:** Füllstandshöhe h
- Aufgabe 6:
  - a) Formalisierung des Systems
  - b)-c) Modellierung
  - d) Linearisierung um einen AP
  - e) Normierung



Aufgabe 7 a)

- Nichtlineares Signalflussbild



➡ Implementierung des nichtlinearen Systems in **Simulink**

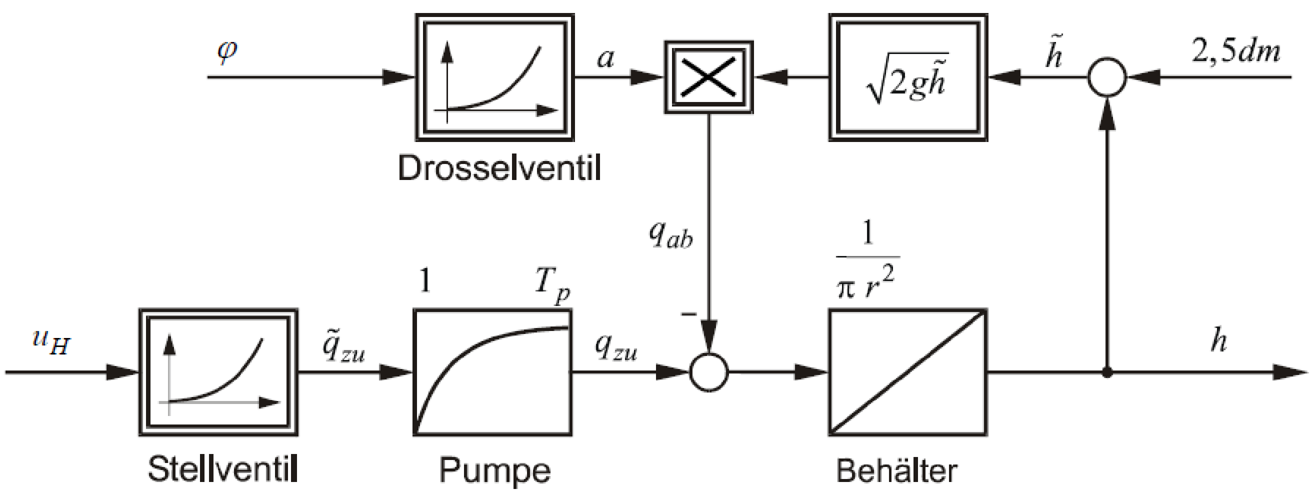
Aufgabe 7 a)

Kennlinie des Stellventils:

$$\tilde{q}_{zu}(u_H) = \begin{cases} 10 \cdot u_H, & 0\,\text{cm} \leq u_H < 0{,}3\,\text{cm} \\ 10 \cdot {u_H}^{1{,}8} + 1{,}85, & u_H \geq 0{,}3\,\text{cm} \end{cases}$$

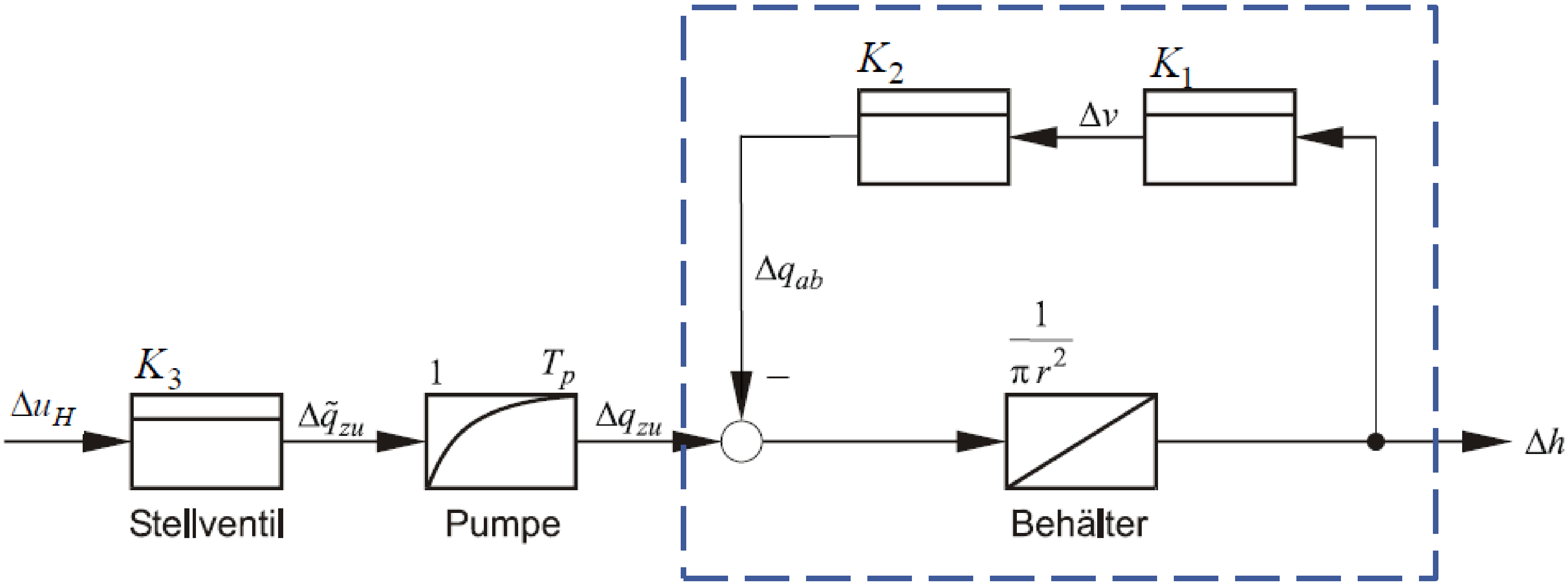
Kennlinie des Drosselventils:

φ / rad	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
a/dm^2	0	0,001	0,003	0,005	0,008	0,012	0,017	0,022	0,03	0,039	0,05



Aufgabe 7 b)

- Linearisierung um die Ruhelage $(h_R\,;u_{H,R}) = (2{,}5\,\mathrm{dm}\,;1{,}5\,\mathrm{cm})$ liefert:



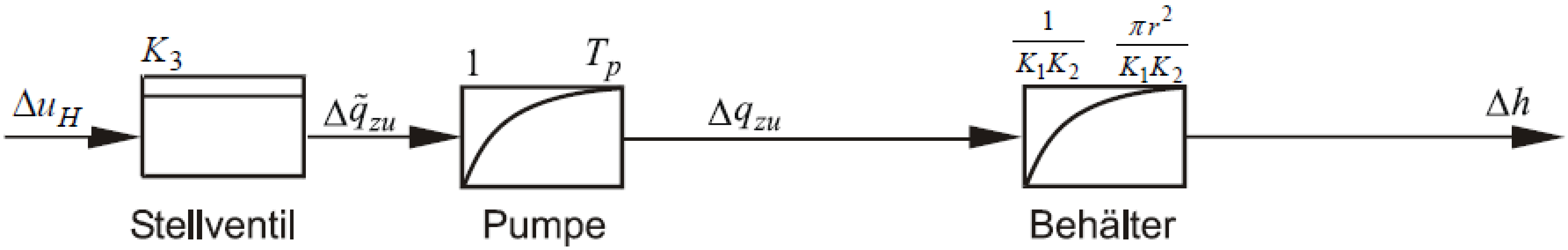
Gegenkopplung

$$\frac{\frac{1}{\pi r^2 \cdot s}}{1 + \frac{K_1 K_2}{\pi r^2 \cdot s}} = \frac{\frac{1}{K_1 K_2}}{1 + \frac{\pi r^2}{K_1 K_2} \cdot s}$$

PT_1-Glied

Aufgabe 7 b)

- Vereinfachtes linearisiertes Signalflussbild



- Mit

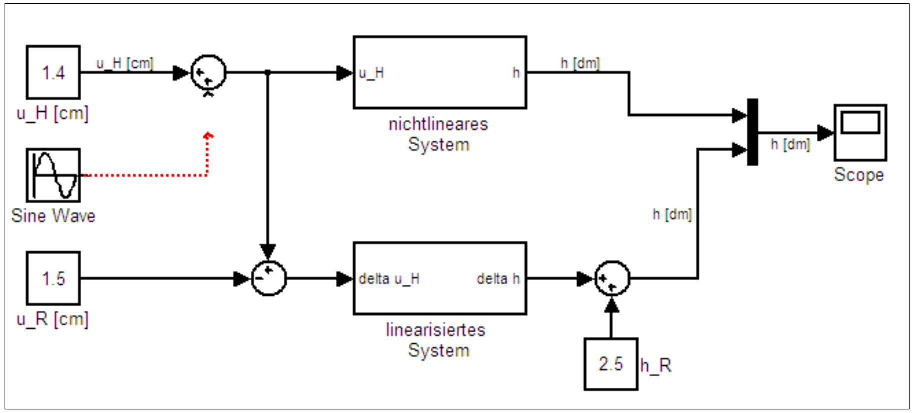
$$r = 2{,}4\,\mathrm{dm} \qquad K_1 = 188\,\frac{1}{\mathrm{min}} \qquad K_3 = 24{,}9\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{cm}\cdot\mathrm{min}}$$

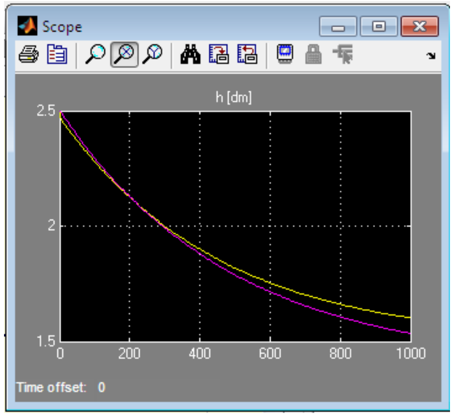
$$T_P = 1{,}5\,\mathrm{s} \qquad K_2 = 0{,}012\,\mathrm{dm}^2$$

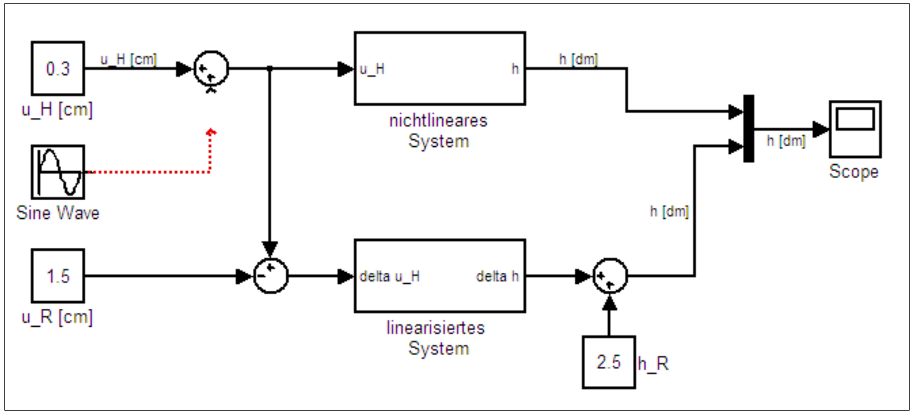
➡ Implementierung des linearisierten Systems in **Simulink**

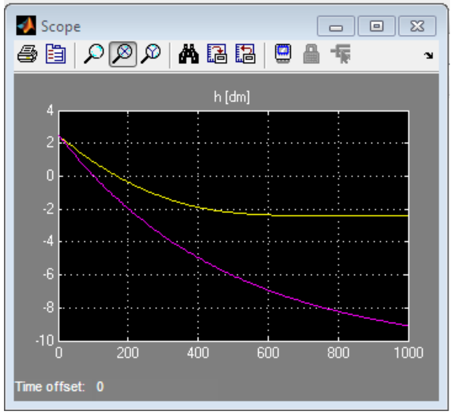
Aufgabe 7 c)

- Vergleich zwischen nichtlinearem und linearisiertem System









Aufgabe 7 c)

- Vergleich zwischen nichtlinearem und linearisiertem System
  - Für **kleine Auslenkungen** aus der Ruhelage

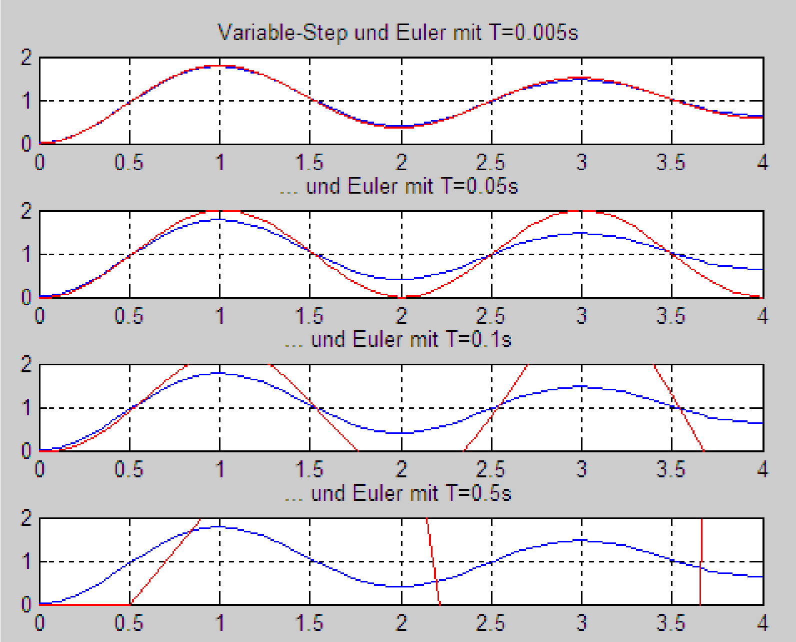
    → **ähnliches Verhalten** von nichtlinearem und linearisiertem Modell
  - Für **größere Auslenkungen** aus der Ruhelage

    → **abweichendes Verhalten** zwischen den Systemen
- **Fazit:**

  Linearisierungen sind nur für kleine Eingangssignaländerungen um den Arbeitspunkt gültig.

Aufgabe 12 a) - Simulation

- Simulation des PT_2-Gliedes $G(s) = \dfrac{10}{s^2 + 0.5s + 10}$ in Simulink
- Simulation mit Lösungsverfahren mit **variabler Schrittweite**
  → *ode45*
- Wiederholte Simulation mit Lösungsverfahren mit **fester Schrittweite** (Eulerverfahren → *ode1*)
- Fazit:
  - Kleinere Schrittweite T führt zu genaueren Ergebnissen.
  - Wird die Schrittweite zu groß gewählt, dann wird das System numerisch instabil!



Aufgabe 12 b) - Simulation

- Simulation des Systems $G(s) = \dfrac{Y(s)}{U(s)} = \dfrac{10}{2s+5}$ in Matlab

- DGL des Systems lautet

$$Y(s)\,(2s+5) = 10\,U(s)$$

$$\bullet\!\!-\!\!\!-\!\!\circ$$

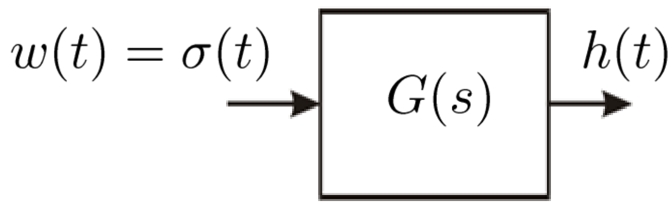
$$2\,\dot{y}(t) + 5\,y(t) = 10\,u(t) \quad\Rightarrow\quad \boxed{\dot{y}(t) = 5\,u(t) - 2{,}5\,y(t)}$$

- Lösung der DGL durch **numerische Integration**
- Approximation des Integrals mittels **Eulerverfahren** (Rechteckregel vorwärts)

$$\boxed{y(n) = y(n-1) + T \cdot y(n-1)}$$

Stationäres Verhalten zeitkont. Systeme

- Bei **stabilen** und **nicht differenzierenden** Systemen kann das Verhalten der Sprungantwort für $t \to +0$ und $t \to \infty$ jeweils mit mit dem **Anfangs- und Endwertsatz** berechnet werden:



$$h(t) = g(t) * \sigma(t)$$
$$\circ\!\!-\!\!\bullet \; \mathcal{L}$$
$$H(s) = G(s) \cdot \frac{1}{s}$$

- **Anfangswertsatz (AWS):**

$$h_0 = \lim_{t \to 0+} h(t) = \lim_{s \to \infty} s \cdot H(s) = \lim_{s \to \infty} G(s)$$

- **Endwertsatz (EWS):**

$$h_\infty = \lim_{t \to \infty} h(t) = \lim_{s \to 0+} s \cdot H(s) = \lim_{s \to 0+} G(s)$$

Charakterisierung von Systemen

	Zeitkontinuierlich	Zeitdiskret
Stabil	Alle Pole links der imaginären Achse (Realteil negativ)	Alle Pole innerhalb des Einheitskreises: $\lvert z_{\infty i} \rvert < 1$
Allpass	<u>**Stabil**</u> und Pole und Nullstellen sind spiegelsymmetrisch zueinander zur imaginären Achse	<u>**Stabil**</u> und Nullstellen liegen bzgl. des EKes spiegelbildlich zu den Polen: $z_{0i} = \frac{1}{z^*_{\infty i}}$
Minimalphasen -system	Keine Pole und keine Nullstellen rechts der imaginären Achse	Keine Pole und keine Nullstellen außerhalb des Einheitskreises
Schwingfähig	Konjugiert komplexes Polpaar	Konjugiert komplexes Polpaar
Stationär genau	<u>**Stabil**</u> und Ausgangsgröße=Eingangsgröße $\lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{t\to\infty} u(t)$	<u>**Stabil**</u> und Ausgangsgröße=Eingangsgröße $\lim_{k\to\infty} y_k = \lim_{k\to\infty} u_k$

Charakterisierung von Systemen in Matlab
Aufgabe 9

- `G=tf(num,den)` **Definition** eines zeitkont. Systems G
- `Gz=c2d(G,Ts)` **Diskretisierung** des kont. Systems mit der Abtastzeit Ts
- `pzmap(G)` **Pol-Nullstellen-Diagramm** eines zeitkont.
- `pzmap(Gz)` bzw. eines zeitdiskreten Systems
- `step(G)` **Sprungantwort** eines zeitkont.
- `step(Gz)` bzw. eines zeitdiskr. Systems zeichnen
- `dcgain(G)` Ablesen des **stationären Endwerts** der Sprungantwort

Aufgabe 9

- Gegeben:

$$G = \frac{3}{8} + \frac{1}{2s} = \frac{3s+4}{8s}$$

$$T = 1$$

- Matlab Befehle
- Kontinuierlich:

```
>> G=tf([3 4],[8 0]);
>> pzmap(G);
>> figure(2);
>> step(G);
```

- Instabil
- MS
- Nicht schwingfähig
- Nicht stationär genau

- Diskretisieren:

```
>> Gz=c2d(G,1);
>> pzmap(Gz);
>> figure(2);
>> step(Gz);
```

- Instabil
- MS (nur aus Pol-NS-Diagramm abzulesen)
- Nicht schwingfähig
- Nicht stationär genau

Nächstes Tut

- Am 11. Juni
- Im IRS Raum 003