

Hybride Systeme

Hybrides System = Modell für Systemdynamik, das diskrete und kontinuierliche Dynamikanteile enthält.

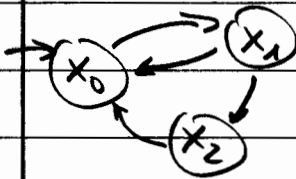
(Systeme sind nicht hybrid, sondern werden hybrid modelliert)

Zwei Ausgangspunkte und Richtungen:

Diskrete Systeme

(Informatik)

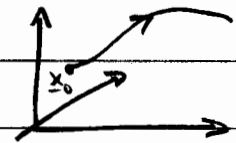
$$x_{k+1} = f(x_k, u_k)$$



Kontinuierl. Systeme

(Ingenieurwesen)

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t))$$



erster Schritt:

Echtzeitautomaten

Kontinuierliche

Ergänzung:

Uhren

$\dot{x}(t) = A$  (überall, bis auf Rücksetzzeitpunkte)

erster Schritt:

Stückweise  
Kontinuierliche

(ges. haltete)

nichtlineare  
Systeme

diskrete

Ergänzung:

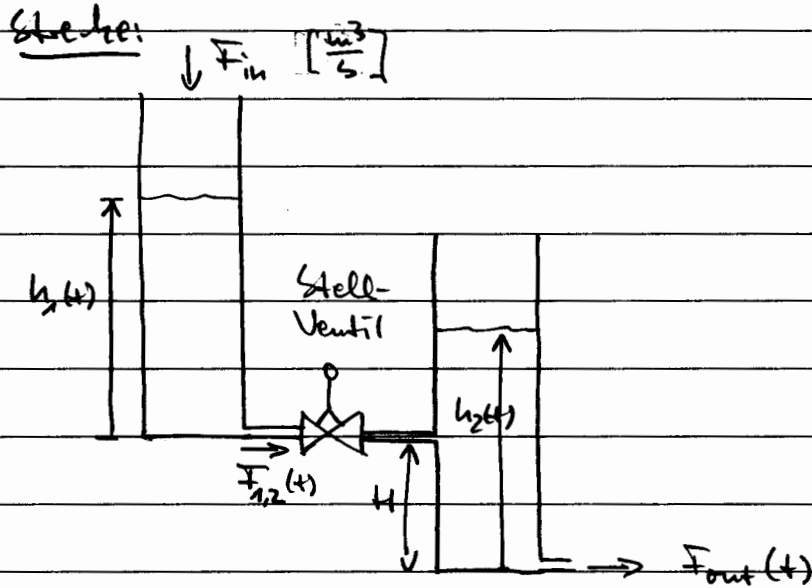
Umschalten der  
rechten Seite

des Zustands-DGL

Regi = Region (Teilmenge) im Zustandsraum

$$\dot{x}(t) = \begin{cases} f_1(x, u) & \text{if } x \in \text{Reg}_1 \\ \vdots \\ f_m(x, u) & \text{if } x \in \text{Reg}_m \end{cases}$$

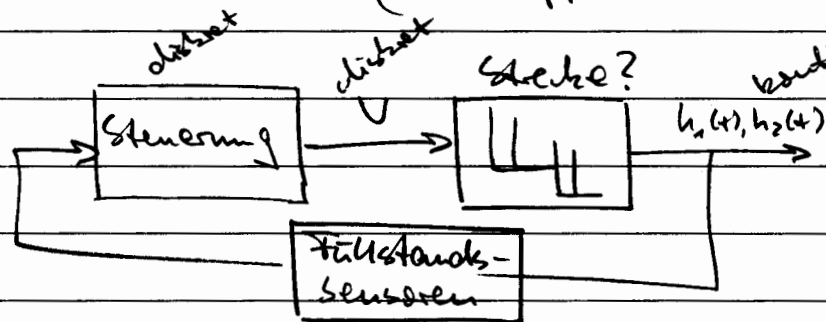
Beispiel für stückweise kontinuierliches nichtlineares System:



Messgrößen:  $h_1(t), h_2(t)$  (kontinuierlich)

Stellgröße: Ventilstellung  $V \in \{\text{ganz-offen, halb-offen}\}$  (diskret)

Steuerung:

$$V = \begin{cases} \text{ganz-offen} & \text{wenn } h_1(t) > 0,2 \\ \text{halb-offen} & \text{sonst.} \end{cases}$$


⇒ Gesamtsystem ist hybrid, da kontinuierliche<sup>(\*)</sup> Strecke mit diskreter Steuerung verknüpft wird.

<sup>(\*)</sup> „kontinuierlich (diskret)“

= „stufenweise kontinuierlich/diskret“  
= „schlieft“

Aber: Strecke ist alleine schon hybrid!

Warum?

Modell der Strecke:

$$\dot{h}_1(t) = \frac{F_{in}(t) - F_{1,2}(t)}{A_1}$$

$$\dot{h}_2(t) = \frac{F_{1,2}(t) - F_{out}(t)}{A_2}$$

$A_1, A_2 =$  Bodenflächen des Tanks

$$F_{out}(t) = K_2 \cdot \sqrt{h_2}$$

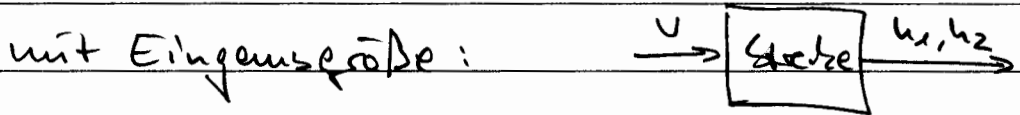
(Bernoulli;

$$F \sim \sqrt{2gh} = k \cdot \sqrt{h})$$

stückw. konst. (geschaltetes) nichtlineares System  $\rightarrow$

$$F_{1,2} = \begin{cases} K_1 \cdot \sqrt{h_1} & \text{wenn } h_2 < H \\ K_1 \cdot \sqrt{h_1 - (h_2 - H)} & \text{wenn } h_2 \geq H \text{ und } h_1 \geq h_2 - H \\ 0 & \text{sonst (Pitzschleppleiste)} \end{cases}$$

autonomes schalten (autonomous switching)



$$K_1 = \begin{cases} K_{1,G0} & \text{wenn } U = \text{ganz-offen} \\ K_{1,H0} & \text{wenn } U = \text{halb-offen} \end{cases}$$

gesteuertes schalten (controlled switching)

Taxonomie nach Branicky:

	autonomous	controlled
switch		
jump		

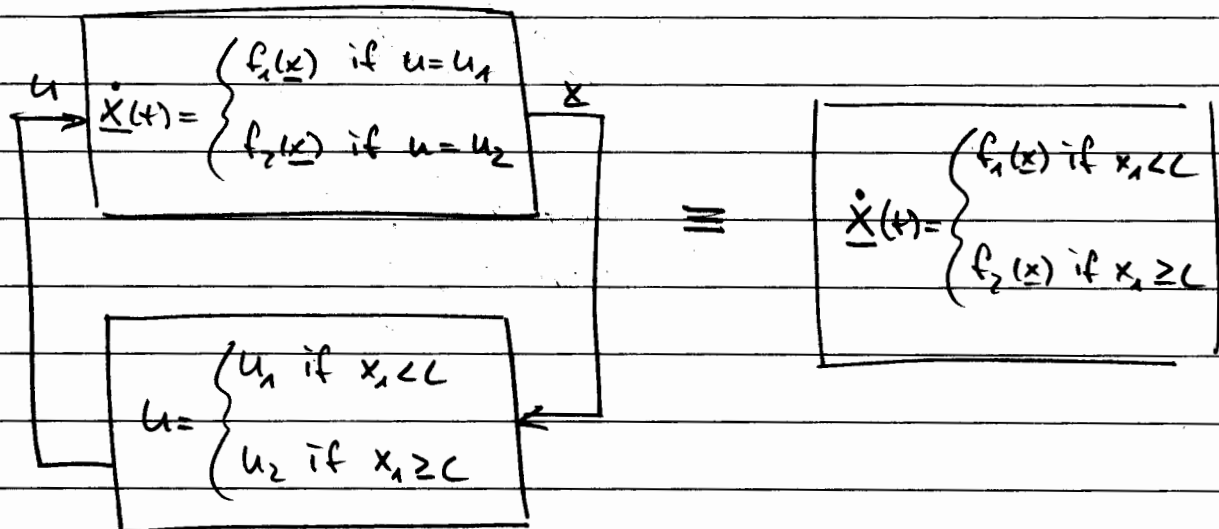
Unterschied autonomus/controlled?

autonomous: Schalten/Springen immer an gleicher Stelle

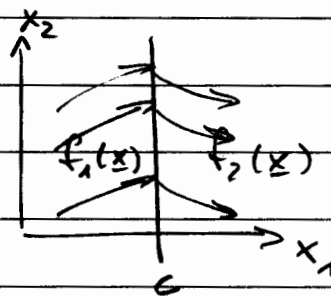
controlled: wird von außen hervorgerufen, kann an verschiedenen Stellen sein.

Unterschied verschwindet bei direkter Rückkopplung:

BzP:



Resultierendes Verhalten:



Weiter auf Folien:

Beispiel für „Hybridisierung“ diskreter Systeme (=andere Richtung“)