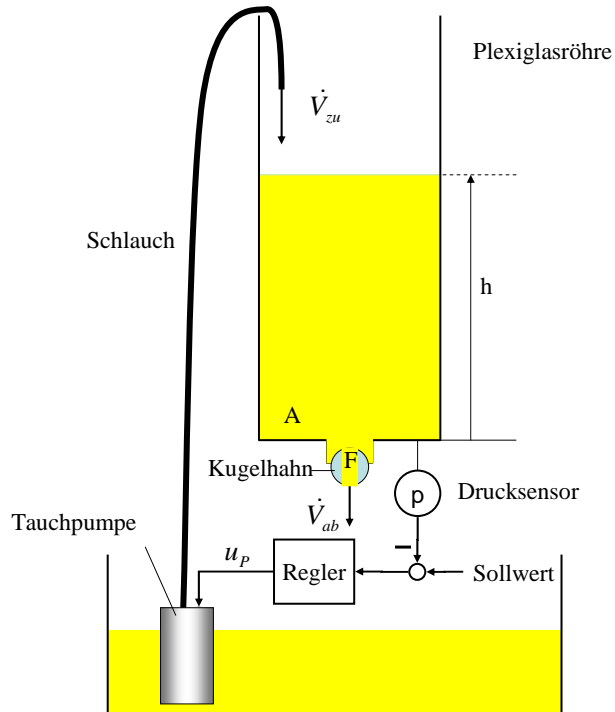




## Experimenteller Aufbau



**Bild 1: Aufbau**

Bild 1 zeigt eine Tauchpumpe, die Flüssigkeit (eingefärbtes Wasser) aus einem Reservoir in eine Plexiglasröhre pumpt. Die Röhre hat die Querschnittsfläche  $A$ . Am Boden befindet sich ein Kugelhahn, der in einer definierten Stellung die freie Querschnittsfläche  $F$  hat. Die Füllstandshöhe  $h$  wird mit Hilfe eines Drucksensors gemessen. Ein Regler mit integriertem Leistungsverstärker steuert die Pumpe an.

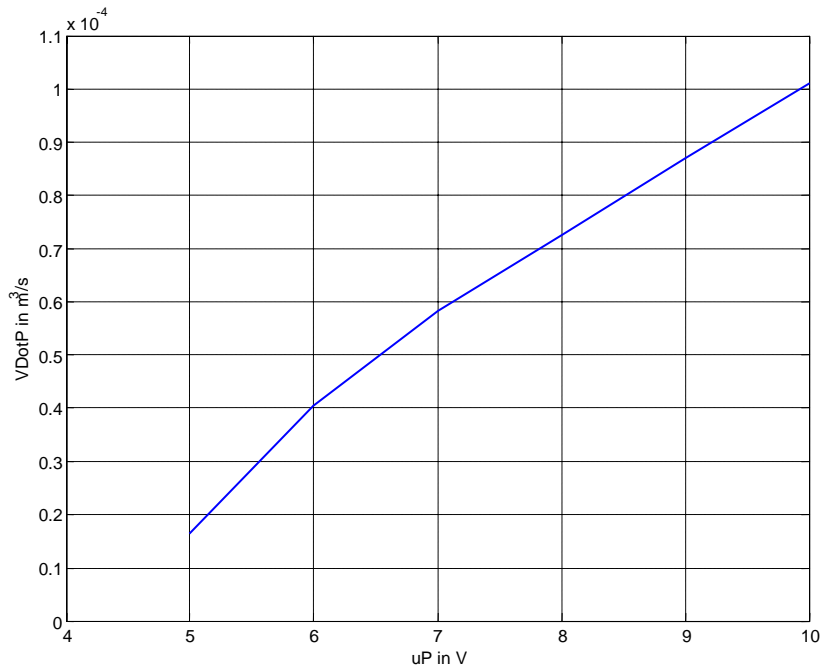
## Modellbildung

Volumenbilanz:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{zu} - \dot{V}_{ab} &= \frac{dV}{dt} \\ &= A \cdot \dot{h}\end{aligned}\quad (1)$$

Vereinfachte Annahme: Der zufließende Volumenstrom ist proportional zu Pumpenspannung:

$$\dot{V}_{zu} = k_P \cdot u_P \quad (2)$$



**Bild 2: Gemessene Pumpenkennlinie**

Abfließender Volumenstrom:

$$\dot{V}_{ab} = F \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = k_F \cdot \sqrt{h} \quad (3)$$

Nichtlineare Differenzialgleichung:

$$k_P \cdot u_P - k_F \cdot \sqrt{h} = A \cdot \dot{h} \quad (4)$$

Ruhelage bei konstanter Pumpenspannung  $u_{P,0}$ :

$$\dot{h} = 0 \Rightarrow k_P \cdot u_{P,0} = k_F \cdot \sqrt{h_0} \quad (5)$$

sich einstellender Füllstand:

$$h_0 = \left( \frac{k_P}{k_F} \right)^2 \cdot u_{P,0}^2 \quad (6)$$

Nichtlinearer Term in Dgl:

$$y = \sqrt{h} \quad (7)$$

Linearisierung:

$$\begin{aligned}
 y_{lin} &= y_0 + \Delta y \\
 &= \sqrt{h_0} + \frac{dy}{dh} \cdot \Delta h \\
 &= \sqrt{h_0} + \frac{1}{2 \cdot \sqrt{h_0}} \cdot \Delta h
 \end{aligned} \tag{8}$$

(8) eingesetzt in (4) unter Verwendung von

$$\begin{aligned}
 u_P &= u_{P,0} + \Delta u_P \\
 h &= h_0 + \Delta h \\
 \dot{h} &= \Delta \dot{h}
 \end{aligned} \tag{9}$$

und (5) liefert

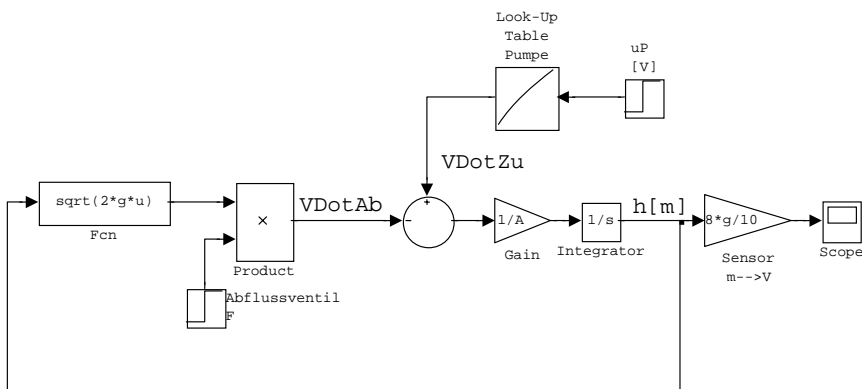
$$k_P \cdot u_{P,0} + k_P \cdot \Delta u_P - k_F \cdot \sqrt{h_0} - \frac{k_F}{2\sqrt{h_0}} \cdot \Delta h = A \cdot \Delta \dot{h} \tag{10}$$

Umgeformt ergibt ein PT1-Glied

$$\frac{2 \cdot \sqrt{h_0} \cdot A}{k_F} \cdot \Delta \dot{h} + \Delta h = \frac{2 \cdot k_P \cdot \sqrt{h_0}}{k_F} \cdot \Delta u_P \tag{11}$$

mit der Zeitkonstanten

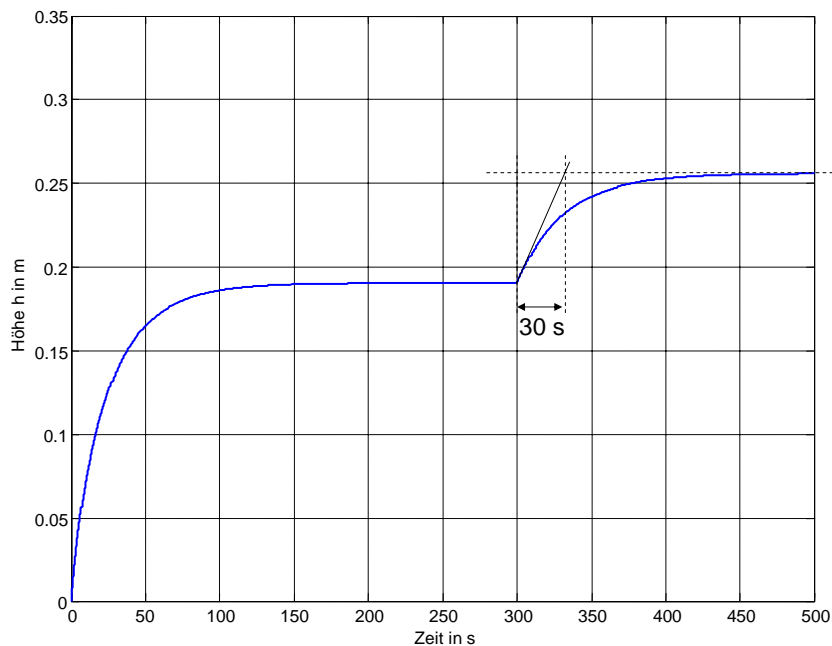
$$T = \frac{2 \cdot \sqrt{h_0} \cdot A}{k_F} = 30\text{s} \tag{12}$$



**Bild 3: Blockschaltbild in Simulink**

## Simulation des ungeregelten Systems

Die Pumpe wird mit einer Spannung von 5,86 V eingeschaltet. Nach 300 s wird die Spannung sprunghaft auf 6,14 V erhöht. Die Füllstandshöhe zeigt Bild 4. Man erkennt deutlich, dass die berechnete Zeitkonstante sehr gut mit der experimentell ermittelten übereinstimmt.

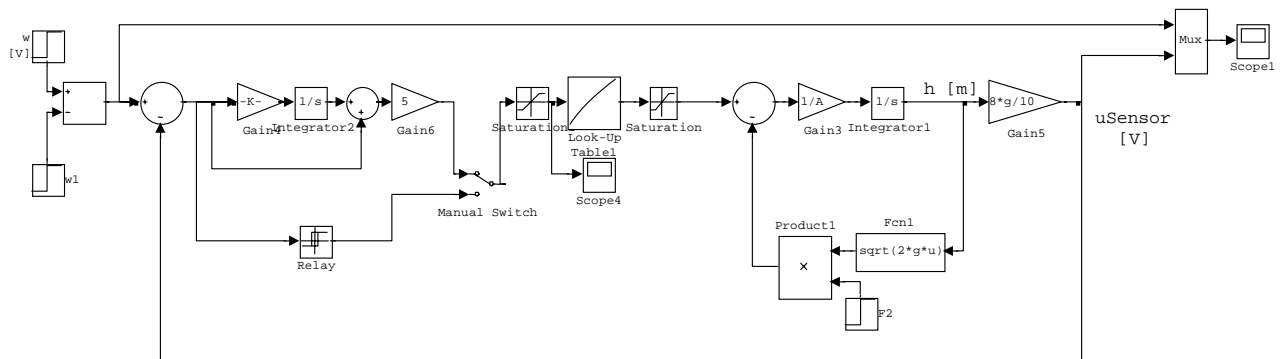


**Bild 4:** Füllstandshöhe als Funktion der Zeit

## Reglerdimensionierung

Kompensation der Verzögerung  $T_N = T$

Wahl der Reglerverstärkung so, dass Reglerausgang nicht in die Begrenzung geht.

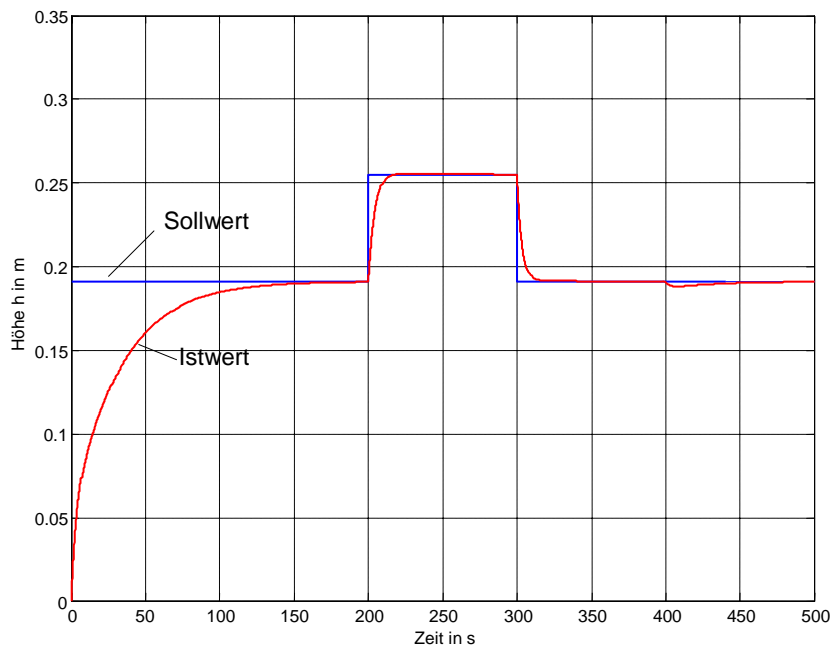


**Bild 5:** Blockschaltbild System mit PI- und Zweipunktregler

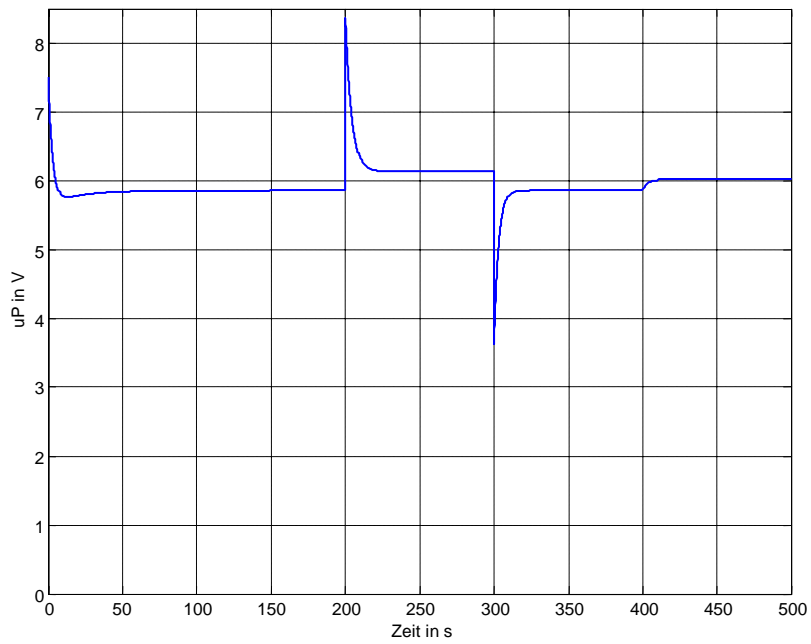


## Simulation des Führungs- und Störverhaltens

Bild 6 zeigt den Verlauf des Füllstands für einen Sollwertaufwärtssprung bei  $t = 200\text{ s}$  und einen Abwärtssprung bei  $t = 300\text{ s}$ . Man erkennt deutlich den gelungenen Reglerentwurf. Bei  $t = 400\text{ s}$  wird das Ablaufventil um 10 % weiter geöffnet. Der Füllstand sinkt etwas ab, aber der Regler kompensiert diese Störung durch Erhöhung der Pumpenspannung. Bild 7 zeigt den Verlauf der Pumpenspannung.



**Bild 6: Führungs- und Störverhalten**



**Bild 7: Pumpenspannung**