

# Regelung eines Schwebekörpers

Version vom  
20. Februar 2019

Teil des Praktikums Regelungstechnik (PRT)



## **Fachgebietsleiter**

Prof. Dr.-Ing. O. Stursberg  
stursberg@uni-kassel.de

## **Außerplanmäßiger Professor**

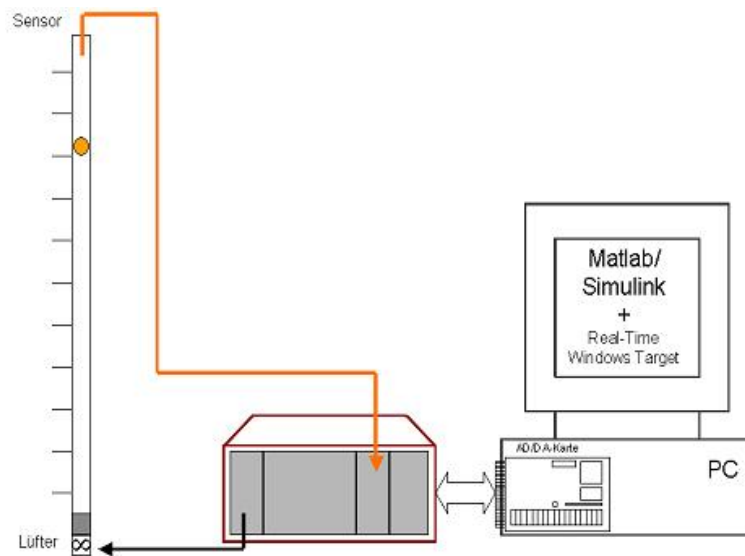
Prof. Dr. rer. nat. A. Linnemann  
linnemann@uni-kassel.de

# Inhaltsverzeichnis

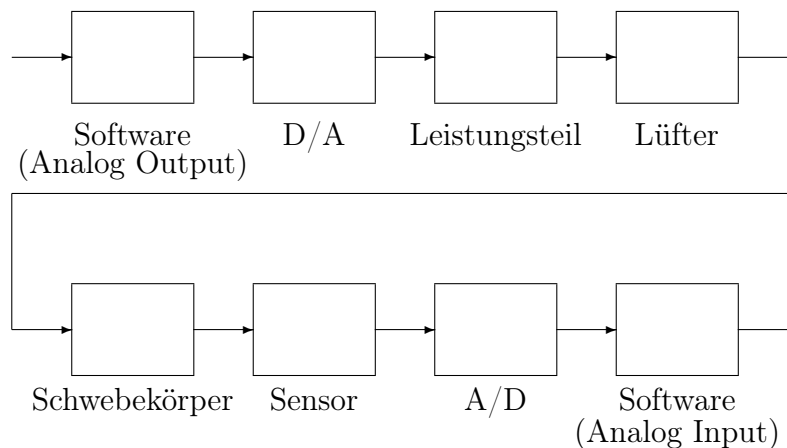
1	Versuchsbeschreibung	3
2	Vorbereitungsfragen	5
3	Versuchsaufgaben	6
A	Experimentelle Ermittlung verzögerter $I$ -Glieder	9

# 1 Versuchsbeschreibung

Der Versuch ermöglicht die Lageregelung eines Schwebekörpers durch Variation des Luftstromes.



## Blockschaltbild des Regelungssystems

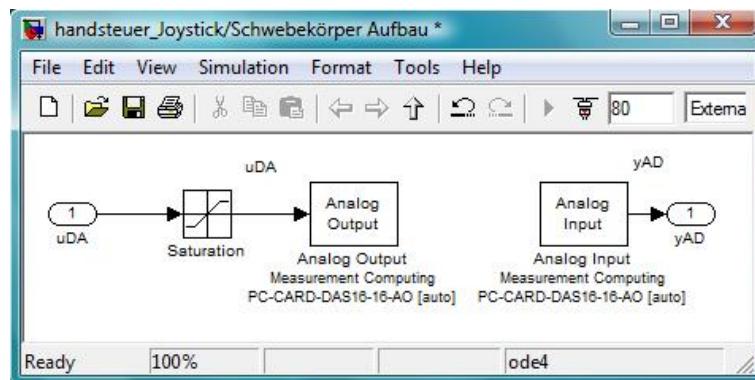


## Beschreibung der Komponenten

- Schwebekörper: Plastikkugel in einem senkrecht stehenden Plexiglasrohr. Das Plexiglasrohr ist oben und unten geöffnet. Der Durchmesser der Kugel ist kleiner als der Innendurchmesser der Röhre.
- Lüfter: PC-Lüfter mit einer Betriebsspannung von 0 bis 12 V.
- D/A und A/D: PCI-Karte mit analogen Ein- und Ausgängen, 12 Bit Auflösung, max. Abtastrate 250 kHz. Spannungsbereich 0-10 V für Ein- und Ausgang.
- Leistungsteil: Transistorschaltung zur Leistungsverstärkung und Erhöhung der Spannung um den Faktor 1.2 .
- Software (Matlab, Simulink, Real-Time Workshop, Real-Time Windows Target): Bereitstellung von Blöcken zur Ansteuerung der AD/DA-Karte aus Simulink heraus; Übersetzung von Simulink-Modellen in (Fast-)Echtzeit-Programme unter Windows.
- Sensor: Ultraschallsensor, die Ausgangsspannung ist im Bereich 0-10 V und proportional zum Abstand des Körpers vom Sensor.

## Bedienung der Software:

Zur Verfügung stehen die beiden folgenden Simulink-Blöcke:



Das Eingangssignal für „Analog Output“ muss im Bereich von 0 bis 10 liegen. Die vorgestellte Begrenzung (Saturation) garantiert dies zwar, jedoch sollte während des Versuches darauf geachtet werden, dass die Signale diese Grenzen von selbst einhalten. Der Lüfter wird mit  $u_{DA} \cdot 1.2 \text{ V}$  angesteuert.

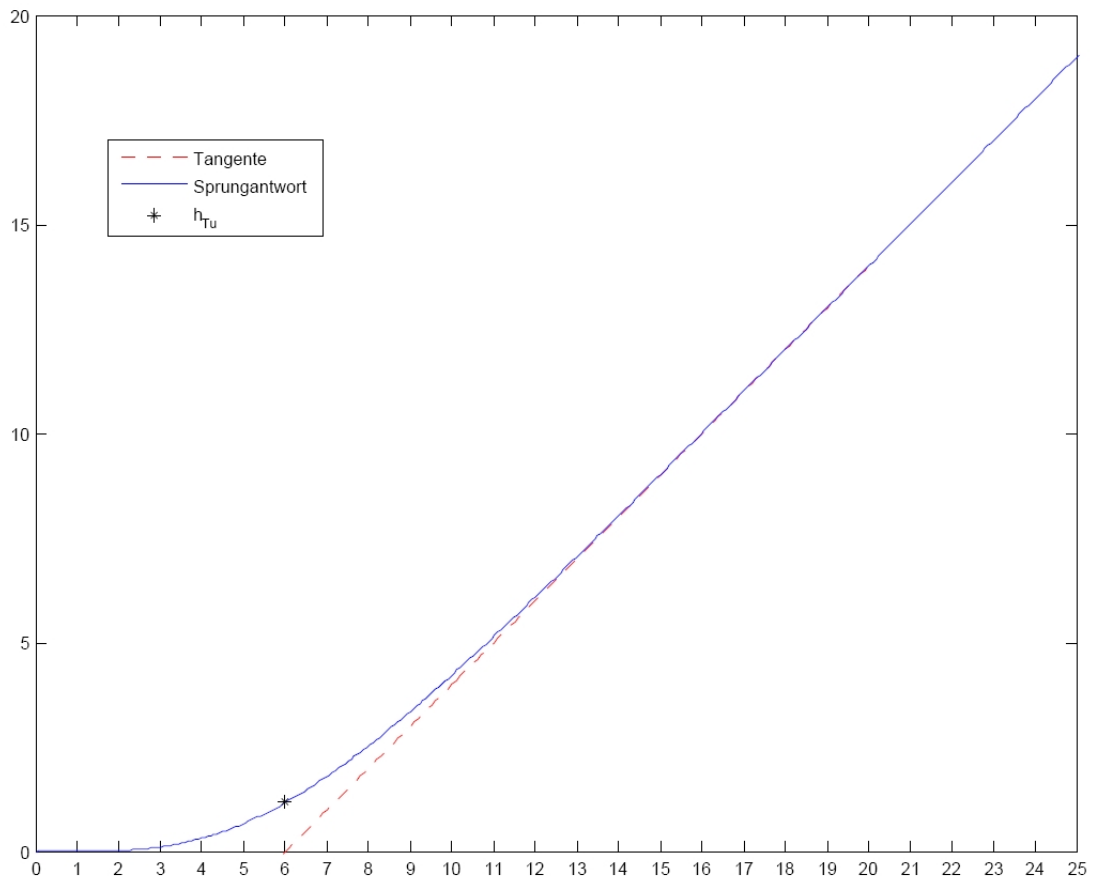
Das Ausgangssignal  $y_{AD}$  für „Analog Input“ liegt im Bereich 0 bis 10 und ist proportional zum Abstand zwischen Körper und Sensor.

Die weitere Bedienung der Software wird im Praktikum erklärt.

## 2 Vorbereitungsfragen

Machen Sie sich zunächst mit der Versuchsbeschreibung vertraut. Beantworten Sie die folgenden Fragen schriftlich und geben Sie Ihre Antworten zu Beginn des Versuches ab.

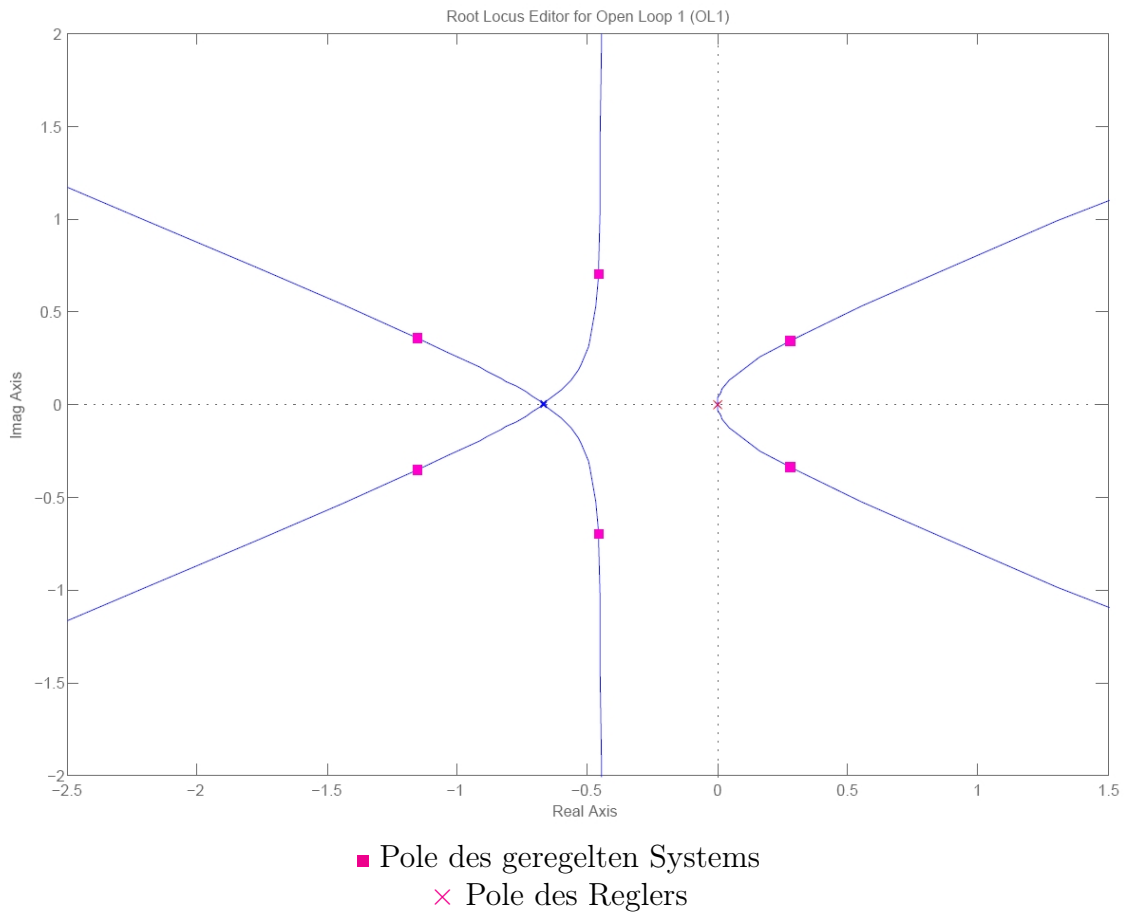
1. Im untenstehenden Bild ist die Sprungantwort eines Systems zu sehen, die dem des Versuchs ähnelt.



- (a) Welche Art von System liegt hier vor? Beachten Sie, dass einige Systemtypen ähnliche Sprungantworten aufweisen und überprüfen Sie ggf. welche Art von Verzögerung vorliegt.
- (b) Wie lautet die zugehörige Übertragungsfunktion? ( $h_{Tu} = 1,1722$ )

(Hinweis: Benutzen Sie Ihre Kenntnisse aus der Vorlesung und Anhang A)

2. Ein System mit Übertragungsfunktion  $G_S(s)$  wird mit einem I-Regler (Reglerübertragungsfunktion  $G_R(s) = \frac{K}{s}$  mit  $K = 1$ ) beaufschlagt. Im folgenden Bild sehen Sie die Wurzelortskurve von  $G_S(s)G_R(s)$ .

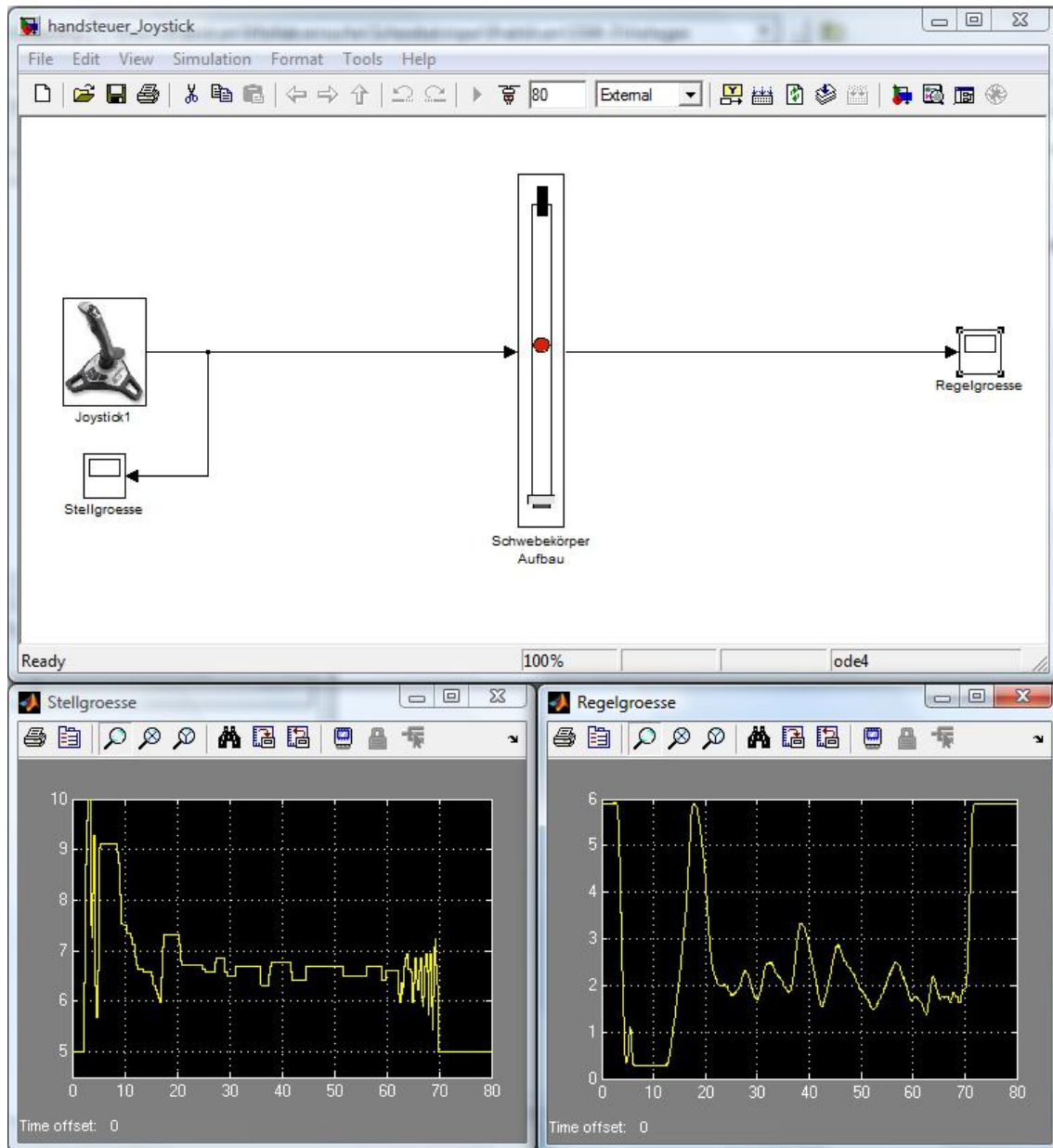


- Ist das geregelte System stabil? Begründen Sie Ihre Aussage.
- Falls nicht, begründen Sie, ob es durch eine Veränderung des Wertes von  $K$  stabilisiert werden kann.
- Falls auch dies nicht möglich ist, überlegen Sie sich eine Strategie, wie man das System stabil regeln kann, ohne den I-Anteil des Reglers zu verlieren.  
(Müssen zusätzliche Pole oder Nullstellen eingefügt werden, wenn ja wo? Hinweis: Polstellen wirken im allgemeinen abstoßend auf die Zweige der Wurzelortskurve, Nullstellen wirken anziehend.)  
Skizzieren Sie grob die Form der dadurch entstehenden Wurzelortskurve.

### 3 Versuchsaufgaben

#### Handsteuerung

Das folgende Modell `handsteuer_Joystick.mdl` wird Ihnen zu Beginn des Versuches zur Verfügung gestellt und erlaubt die Handsteuerung des Schwebekörpers und Visualisierung des Ergebnisses.



Der Joystick ist so eingestellt, dass er die Anforderungen an die Eingangssignale der Messkarte erfüllt. Die oben beschriebenen Ein-/Ausgangs-Blöcke der Messkarte sind als Subsystem im Block *Schwebekörper Aufbau* integriert.

### Aufgaben:

Ziel des Versuches ist es, den Schwebekörper möglichst mittig in der Röhre einzuregeln.

1. Bedienen Sie das System über den Joystick und machen Sie sich mit der Anlage vertraut.
2. Konditionieren Sie die Ein- und Ausgangssignale der Strecke so, dass sich verständliche Größen in den Scopes ergeben. (Vorschlag: Die Regelgröße in cm soll der Skala am Aufbau entsprechen und die Stellgröße soll der Spannung am Lüfter entsprechen, die für eine Positionsänderung des Schwebekörpers benötigt wird.) Beachten Sie dabei die Anforderungen an die Signale, die an die Messkarte übergeben werden.
3. Erstellen Sie ein mathematisches Modell der Regelstrecke.  
(Hinweis: Das Matlab-Skript *grafident.m* führt eine Systemidentifikation anhand dem in Anhang A beschriebenen Verfahren durch.)

4. Formulieren Sie Regelungsziele. (Gewünschte Einschwingzeit, Überschwingen,...)
5. Entwerfen Sie mittels Ihrer Kenntnisse aus der Vorlesung und den aus dem ersten Teil des Praktikums (Einführung Matlab) bekannten Werkzeugen einen Regler, der in der Lage ist, den Schwebekörper stabil auf eine feste Höhe einzuregeln. Beachten Sie dabei die von Ihnen formulierten Regelungsziele und wählen Sie dementsprechend den einfachsten Reglertyp, der Ihre Anforderungen erfüllt.
6. Übertragen Sie die Reglerstruktur in Ihr Modell und testen Sie Ihren Regler an der Maschine auf Einhaltung der Vorgaben. Treten Abweichungen auf? Wenn ja, wieso? Entwerfen Sie ggf. einen besseren Regler gleichen Typs.

In einem weiteren Schritt soll der Regler zusätzlich in der Lage sein, konstante Störungen am Eingang auszuregeln.

7. Entwerfen Sie einen neuen Regler. Wählen Sie hierfür wieder den einfachsten Reglertyp, der den neuen Anforderungen gerecht wird. Beachten Sie weiterhin die von Ihnen formulierten Regelungsziele.
8. Übertragen Sie den neuen Regler in Ihr Modell und testen Sie ihn an der Maschine. Werden die konstanten Störungen ausgeregelt? Treten Abweichungen vom erwarteten Verhalten auf?

Zur Verbesserung der Regelgüte soll ein PID-Regler bestimmt werden.

9. Legen Sie einen realisierbaren PID-Regler  $G_{PID}(s)$  aus. Dabei sollten die Einschwingzeiten der Störungs- und Führungssprungantworten möglichst klein sein. Wählen Sie reelle Reglernullstellen in dem Bereich zwischen -3 und 0. Die Überschwingweite  $\Delta_m$  sollte ca. 50% betragen.
10. Testen Sie den Regler an der Maschine und vergleichen Sie die Resultate mit denen aus Abschnitt 8.

Schließlich soll eine Vorsteuerung  $G_{vor}(s)$  für den Regelkreis mit PID-Regler bestimmt werden.

11. Mit einem gewünschten Übertragungsverhalten  $G'(s)$  für den geschlossenen Regelkreis (inkl. Vorsteuerung) kann die Vorsteuerung mit der folgenden Formel bestimmt werden (vgl. Skript Grundlagen der Regelungstechnik, Abschnitt 12.3):

$$G_{vor}(s) = G'(s) \left( \frac{1 + G_{PID}(s) G_S(s)}{G_{PID}(s) G_S(s)} \right).$$

Verwenden Sie für das gewünschte Übertragungsverhalten ein Verzögerungsglied mit Ordnung  $n + 1$ :

$$G'(s) = \frac{1}{(1 + T's)^{n+1}}.$$

Welchen Einfluss hat die Zeitkonstante  $T'$  auf das Verhalten des geschlossenen Regelkreis (inkl. Vorsteuerung)?

12. Verwenden Sie  $T' = 0.4$  und testen Sie den Regler mit Vorsteuerung an der Maschine. Vergleichen Sie die Resultate mit denen aus Abschnitt 10.



## A Experimentelle Ermittlung verzögerter $I$ -Glieder

Werden ein  $I$ -Glieder und ein  $PT_1$ -Glieder in Reihe geschaltet, so spricht man von einem verzögerten  $I$ -Glieder oder einem  $IT_1$ -Glieder. Die Übertragungsfunktion eines  $IT_1$ -Gliederes ist

$$G(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)}, \quad K > 0, \quad T > 0.$$

Die Sprungantwort eines  $IT_1$ -Gliederes hat die Form

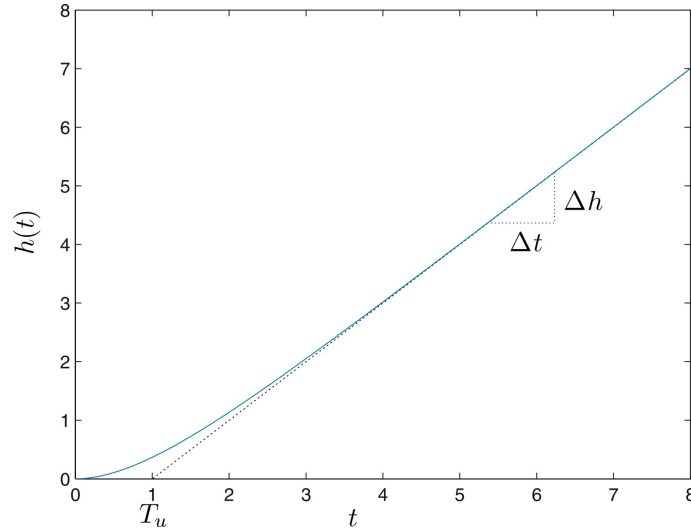


Abbildung 1: Sprungantwort eines  $IT_1$ -Gliederes.

Es ist zu erkennen, dass sich die Sprungantwort an eine Asymptote anschmiegt. Der Schnittpunkt  $T_u$  der Asymptote mit der  $t$ -Achse wird **Verzugszeit** genannt. Die Parameter  $K$  und  $T$  lassen sich aus der Verzugszeit  $T_u$  und der Steigung  $S = \frac{\Delta h}{\Delta t}$  der Asymptote nach folgenden Formeln bestimmen:

$$T = T_u, \quad K = S.$$

Als Probe kann der Wert der Sprungantwort an der Stelle  $T_u$  verwendet werden. Bei einem  $IT_1$ -Glieder gilt stets:

$$h(T_u) = KTe^{-1}.$$

Versagt diese Probe, dann gehört die betrachtete Sprungantwort nicht zu einem  $IT_1$ -Glieder.

Wird ein  $I$ -Glieder mit mehreren  $PT_1$ -Glieder in Reihe geschaltet, so ergibt sich ein  $IT_n$ -Glieder. Für den Spezialfall, dass alle  $PT_1$ -Glieder dieselbe Zeitkonstante  $T$  besitzen, gilt:

$$G(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)^n}, \quad K > 0, \quad T > 0, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Die Sprungantwort eines derartigen  $IT_n$ -Gliedes hat die Form

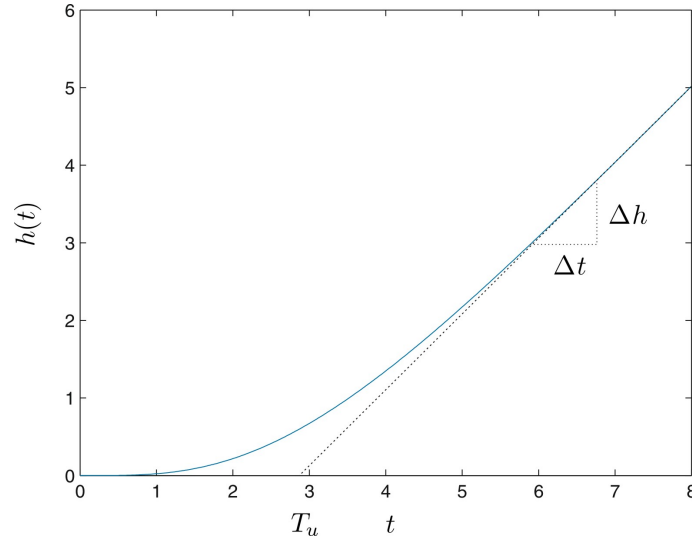


Abbildung 2: Sprungantwort eines  $IT_n$ -Gliedes.

Bei gegebenem  $n$  lassen sich die Parameter  $K$  und  $T$  aus der Verzugszeit  $T_u$  und der Steigung  $S = \frac{\Delta h}{\Delta t}$  nach folgenden Formeln bestimmen:

$$T = \frac{T_u}{n}, \quad K = S.$$

Als Probe kann wieder der Wert der Sprungantwort an der Stelle  $T_u$  verwendet werden. Es gilt stets

$$h(T_u) = T_u S a_n = n T K a_n,$$

$n$	$a_n$
1	0.3679
2	0.2707
3	0.2240
4	0.1954

wobei  $a_n$  der folgenden Tabelle zu entnehmen ist:

Neben einer Probe kann der Wert  $h(T_u)$  auch zur Wahl einer geeigneten Ordnung  $n$  benutzt werden. Dazu werden  $T_u$ ,  $S$  und  $h(T_u)$  aus der Sprungantwort abgelesen und es wird

$$\hat{a} = \frac{h(T_u)}{T_u S}$$

gebildet. Die Ordnung  $n$  wird dann so gewählt, dass in der Tabelle  $a_n \approx \hat{a}$  gilt.