

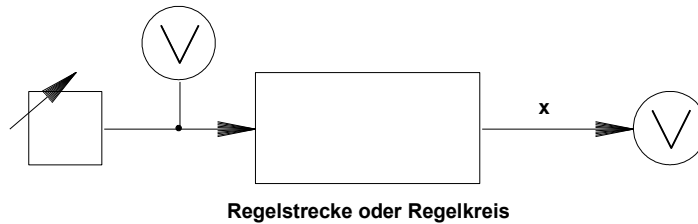
## Die regelungstechnischen Grundfunktionen P, I, D, Totzeit und PT1

(Zum Teil Wiederholung, siehe Kurs T2EE)

### 1. Methoden zur Untersuchung von Regelstrecken

Bei der Untersuchung einer Regelstrecke oder eines Regelkreises können unterschiedliche Sichtweisen wichtig sein:

- **Statisches Verhalten:**

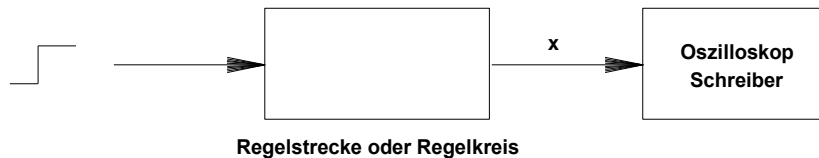


Wie genau wird ein Sollwert eingehalten?

Wie gut wird eine Störung ausgeregelt?

Beim statischen Verhalten interessieren die Endwerte, wenn man dem Regelkreis genügend Zeit gibt um diese (näherungsweise) zu erreichen.

- **Dynamisches Zeitverhalten:**



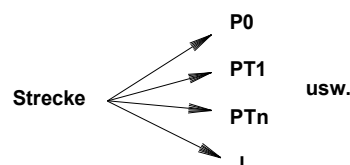
Wie reagiert die Strecke oder der Regelkreis auf eine Änderung des Sollwertes oder der Störgröße?

Gibt es Überschwingen oder sogar Instabilität?

Wie lange dauert es (näherungsweise) bis sich ein stabiler Endwert eingestellt hat?

Eine besondere Bedeutung hat die Aufnahme der **Sprungantwort**.

Anhand dieser kann man Regelstrecken in verschiedene Kategorien einteilen und so etwas über ihr Verhalten im Regelkreis voraussagen, unabhängig davon wie sie konkret aufgebaut sind (elektronisch, mechanisch ...).



- Frequenzverhalten:**

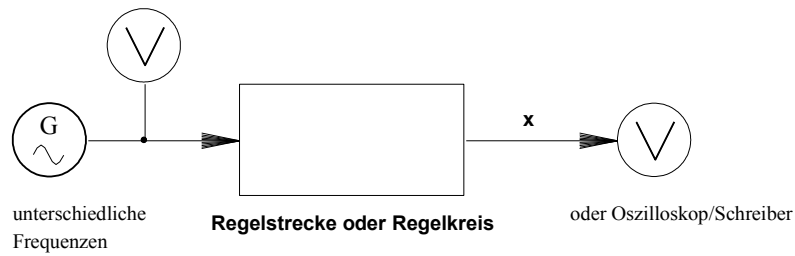


Tabelle Messwerte

f/Hz	x	phi
1	2V	0°
10	1.78V	12°
....	....	....

Rechnen:

Verstärkung  
 $x/y$ 

Diagramme zeichnen:

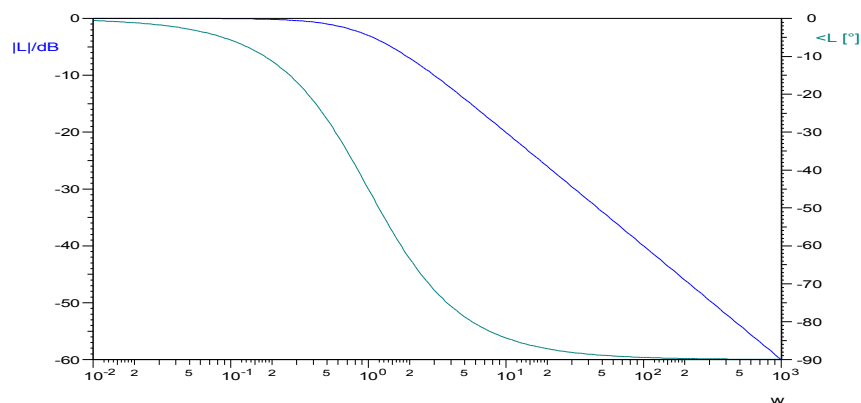
Amplitudengang (Verstärkung)  
Phasengang  
als Funktion der Frequenz

Man untersucht das Verhalten der Strecke oder des Regelkreises bei unterschiedlichen Frequenzen (Eingangsamplitude konstant). Dabei werden die Amplituden von Eingangs- und Ausgangssignal, und die Phasenlage gemessen.

Aus den Amplituden der Signale wird die Verstärkung berechnet.

Anschließend werden die Diagramme von Amplitudengang (Verstärkung) und Phasengang als Funktion der Frequenz gezeichnet.

Dieses Diagramm heißt Bodediagramm.



Aus dem Verlauf des Bodediagramms kann man (wie aus der Sprungantwort) etwas über das Verhalten sagen und eine Kategorisierung vornehmen: P0 / PT1 / Ptn ...

## 2. P0-Glieder

P0: P-Glied ohne Verzögerung  
P-Glied nullter Ordnung

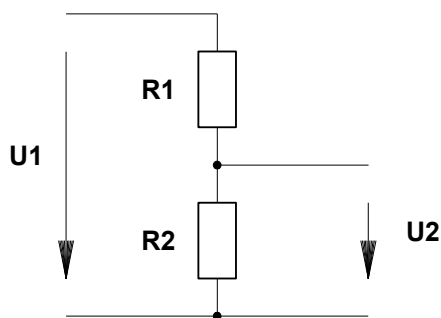
Bei reinen P-gliedern erfolgt die Reaktion auf das Eingangssignal sofort, ohne Verzögerung.

### Aufgabe 2.1:

Bestimme den Proportionalbeiwert der folgenden Schaltungen.

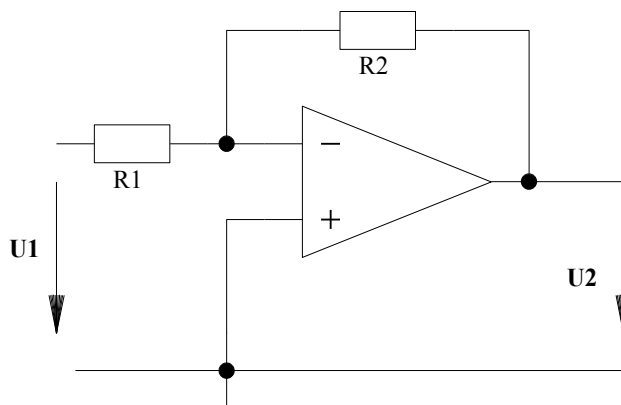
Zeichne die Sprungantwort für einen Eingangssprung von null auf 2V.

Beispiel 1



$$R_1 = 10\text{k}\Omega$$
$$R_2 = 20\text{k}\Omega$$

Beispiel 2



$$R_1 = 22\text{k}\Omega$$
$$R_2 = 47\text{k}\Omega$$

### 3. I-Glieder

Integrierglieder

#### a) Sprungantwort

##### Beispiel:

Füllstandsbehälter mit einer Grundfläche von  $1\text{m}^2$  und einer Höhe von  $2\text{m}$ .

Stellgröße Y:

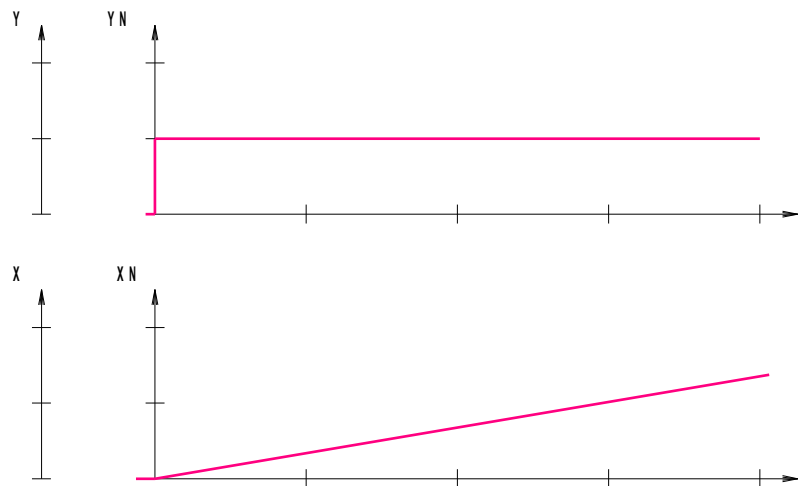
Steuerspannung des Magnetventils für den Zufluss ( $0\dots 10\text{V}$ ,  $10\text{V}$  entspricht  $100\%$ ).

Bei  $100\%$  Stellgröße beträgt der Zufluss  $4\text{l/s}$

Regelgröße X:

Füllstand in cm ( $0\dots 200\text{cm}$ ,  $200\text{cm}$  entspricht  $100\%$ )

Sprungantwort für einen  $5\text{V}$ -Sprung:



#### Aufgabe 3.1:

- Ergänze die Beschriftung der Diagramme (konkrete Werte!).
- Zeichne die Kurven für einen Stellgrößensprung von  $100\%$  ein.

### **b) Gleichung im Zeitbereich**

Allgemein, mit  $x_e$  = Eingangsgröße,  $x_a$  = Ausgangsgröße:

$$x_a = K_I \cdot \int x_e dt \quad K_I = \text{Integrationskonstante}$$

Dies kann man auch in differentieller Schreibweise ausdrücken:

$$\frac{dx_a}{dt} = K_I \cdot x_e$$

Die Änderung pro Zeit der Ausgangsgröße ist proportional zum Wert des Eingangssignals.

Hieraus sieht man, dass  $x_a$  seinen vorherigen Wert behält, wenn das Eingangssignal null ist.

### **c) Integrierzeit**

In der Praxis kann man sich unter der Integrationskonstanten wenig vorstellen, deswegen wird viel öfter der Begriff der Integrierzeit  $T_I$  verwendet.

Die Integrierzeit ist bei der Sprungantwort die Zeit, die vom Ausgangssignal benötigt wird, um sich genauso viel zu ändern wie das Eingangssignal.

Diese Definition ist problematisch, wenn Eingangs- und Ausgangsgröße unterschiedlicher Art sind, wie im obigen Beispiel. Das Problem besteht nicht, wenn wir bei der Definition normierte Größen verwenden.

Im folgenden gehen wir stillschweigend davon aus, dass es sich bei  $x_e$  und  $x_a$  um gleichartige oder um normierte Signale handelt.

#### **Aufgabe 3.2:**

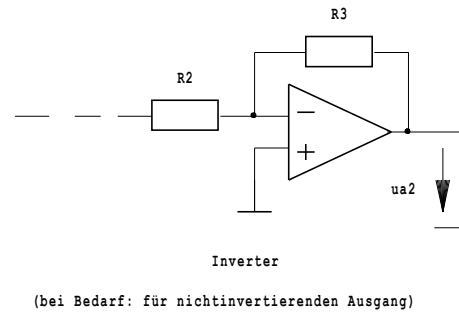
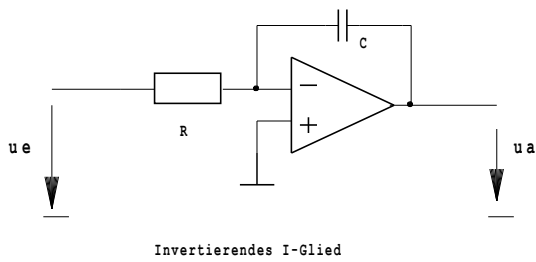
- a) Wie ist die Beziehung zwischen  $T_I$  und  $K_I$  ? (normierte Signale vorausgesetzt)
- b) Bestimme beide Konstanten für das Beispiel.
- b) Wie lautet die Gleichung des I-Gliedes mit  $T_I$  statt  $K_I$  ?

Ergebnisse:

$$K_I = \frac{1}{T_I} \quad \text{für normierte Eingangs- und Ausgangssignale}$$

$$x_a = \frac{1}{T_I} \cdot \int x_e dt \quad \text{für normierte Eingangs- und Ausgangssignale}$$

### **d) Elektronisches I-Glied (invertierend)**



### **Aufgabe 3.3:**

Überlege qualitativ, wie sich die Gegenkopplung und damit auch die Verstärkung ändern, bei hohen und bei tiefen Frequenzen.

Passt das zum I-Verhalten?

Die Integrierzeit ist durch R und C festgelegt:  $T_I = R \cdot C$

## 4. D – Glieder

D0-Glieder, Differenzierglieder

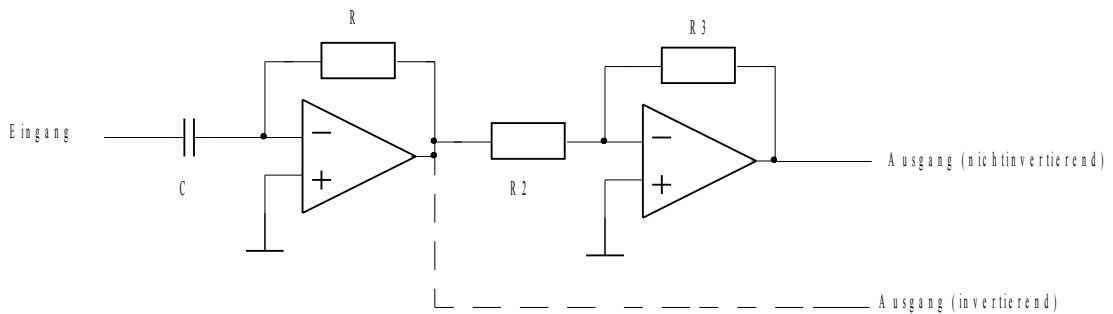
### a) Gleichung im Zeitbereich

$$x_a = T_D \cdot \frac{dx_e}{dt}$$

Die Ausgangsgröße ist proportional zur Änderungsgeschwindigkeit der Eingangsgröße.

Der charakteristische Parameter des D0-Gliedes ist die **Differenzierzeit  $T_D$** .

### b) Schaltung



Beispiel:  $R = 1\text{M}\Omega$ ,  $C = 3.3\mu\text{F}$ ,  $R_2 = 100\text{k}\Omega$ ,  $R_3 = 100\text{k}\Omega$ .

Braucht man ein invertierendes D-Glied, genügt der linke Teil der Schaltung.

Für ein nicht invertierendes D0 ergänzt man mit einem Inverter.

Die Differenzierzeit ist durch R und C festgelegt:  $T_D = R \cdot C$

### c) Zeitverhalten

#### Sprungantwort:

Die Sprungantwort des D0-Gliedes bringt keine verwertbare Information.

Da die Ausgangsgröße  $x_a = T_D \cdot \frac{dx_e}{dt}$  proportional zur Änderungsgeschwindigkeit des Eingangssignals ist, ergibt sich bei einem idealen Sprung am Eingang für  $t=0$  theoretisch der Wert unendlich für das Ausgangssignal. Danach ist  $x_a = 0$ , da sich  $x_e$  nicht mehr ändert.

$x_a$  ist theoretisch ein Diracstoss.

In der Praxis wird das Ausgangssignal begrenzt, durch unvermeidbare Trägheitseffekte in der Schaltung (Slewrate von OPVs, parasitäre Kapazitäten, Übersteuerung usw.)

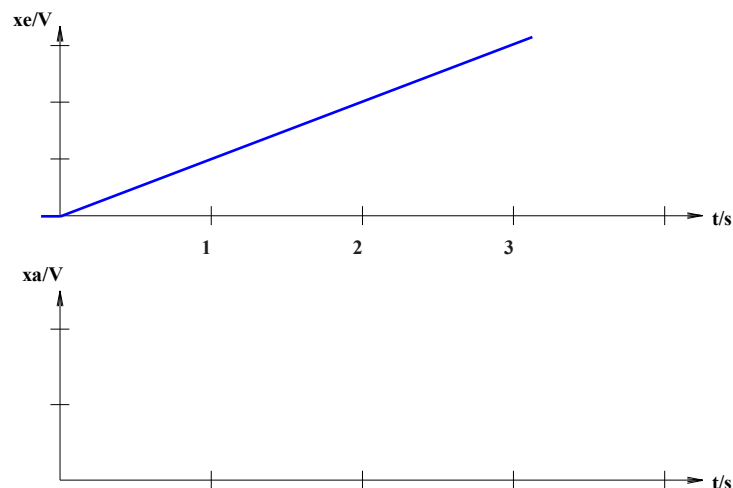
So oder so, mit der Sprungantwort ist nichts anzufangen, denn man kann den charakteristischen Parameter, die Differenzierzeit, damit nicht bestimmen.

### Anstiegsantwort

Wird am Eingang ein Signal mit konstanter Anstiegsgeschwindigkeit angelegt, sieht die Sache anders aus.

#### Aufgabe 2.16

Bestimme das Ausgangssignal für ein D-Glied mit  $T_D = 2\text{s}$ .



#### **d) Probleme bei der Anwendung eines D0-Gliedes in einem Regler**

Das D0-Glied hat für hohe Frequenzen eine sehr hohe Verstärkung.

In der Praxis gibt es aber immer hochfrequente Störsignale (Funksignale, Rauschen in der Schaltung, usw.). Diese würden hoch verstärkt werden und könnten im Extremfall sogar zur Übersteuerung des D0 führen. Unter Umständen würde das Stellglied dauernd öffnen und schließen, nur aufgrund dieses Effektes.

Um das zu vermeiden begrenzt man in der Praxis die Verstärkung für hohe Frequenzen auf einen unschädlichen Wert  $\rightarrow$  DT1 – Glied. Dies geschieht mit einem zusätzlichen Tiefpass.

## 5. Totzeitglieder

Beispiel : Förderband

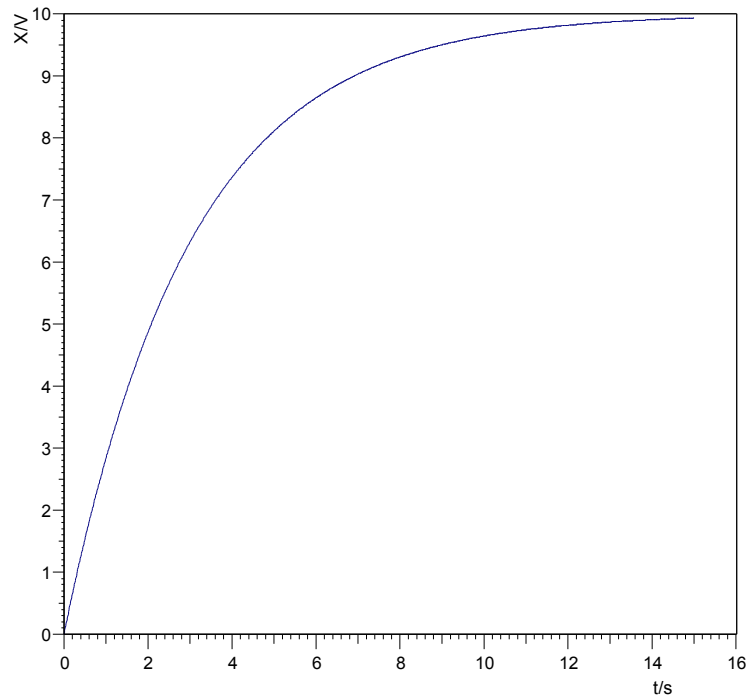
Wegen des Transportvorgangs besteht eine Verzögerung, die Totzeit  $T_t$ , bis das Material am Ende des Bandes ankommt.



## 6. PT1-Glieder

Beispiel:

Ein Regelkreisglied hat bei einem Eingangssprung von 5V die folgende Sprungantwort:



Es soll ein elektronisches Modell entworfen werden.

### Aufgabe 6.1

Bestimme die Parameter der Strecke.

Entwerfe eine OPV-Schaltung die das gesuchte Verhalten hat.

(Entwerfen = Schaltung zeichnen und dimensionieren!)

## 7. Simulation

Ein gutes, einfach zu bedienendes Simulationsprogramm ist BORIS aus der Software-Sammlung WINFACT.

Für alle Beispiele dieses Kurses genügt die Demoversion:

<http://www.kahlert.com/web/download/wf8demo.exe>

### Aufgabe 7.1

Simuliere die Sprungantworten bei einem Sprung von 2V für:

- P0 mit  $K_P = 2$
- I mit  $T_I = 1\text{min}$
- PT1 aus dem Beispiel 6.1.
- Tt-Glied mit  $K_P = 2$ ,  $T_t = 3\text{s}$

Simuliere die Anstiegsantwort eines D-Gliedes  $T_D = 5\text{s}$  für eine Eingangsrampe mit  $2\text{V/s}$

Kontrolliere die Parameter der Regelkreisglieder anhand der Simulationsergebnisse.