

### 1. Steuerungen

Mit den folgenden Versuchen soll der Unterschied zwischen Steuern und Regeln verdeutlicht werden. Zudem sollen die wichtigsten Grundbegriffe erklärt werden.

✂ Aufgaben:

Führe den Versuch mit der **gesteuerten** Bohrmaschine durch.

Hierzu unbedingt:

- Den Text lesen
- Wichtiges unterstreichen
- Notizen machen: Was sind die Kernaussagen?

Fasse die Versuchserkenntnisse in eigenen Worten zusammen. Erkläre den Begriff 'Steuerung' und gehe auf die Komponenten einer Steuerung ein. (Dazu bitte auch S.1 zum Thema Regelungstechnik im Fachkundebuch lesen!)

---

---

---

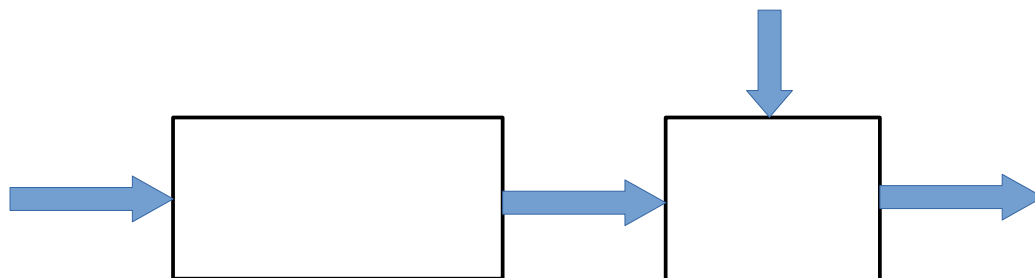
---

---

---

---

Skizziere das Blockschaltbild der **Steuerstrecke**



Erkläre die folgenden **steuerungstechnischen Begriffe** anhand des Bohrmaschinenbeispiels.  
 Ergänze dazu noch die Buchstaben der Symbole/Kürzel.

Begriff	Erklärung
<i>Führungsgröße</i>  <i>Symbol, Kürzel::</i>	
<i>Steuereinrichtung</i>	
<i>Stellgröße</i>  <i>Symbol, Kürzel::</i>	
<i>Steuerstrecke</i>	
<i>Steuergröße</i>  <i>Symbol, Kürzel::</i>	
<i>Störgröße</i>  <i>Symbol, Kürzel::</i>	

Setze im folgenden Text die Worte an der richtigen Stelle ein. Tip: benutzte Wörter abstreichen.

*Abweichungen, Sollwert, Störungen, Ausgangssignals, Regelung, Sollverlauf, Stelleingriff.*

Sind ein Modell der Strecke und ein gewünschter Verlauf des \_\_\_\_\_ bekannt und vorgegeben, so kann ein so genannter \_\_\_\_\_ berechnet werden, der genau den gewünschten Verlauf des Ausgangssignals erzeugt. Sobald jedoch das Modell von der realen Strecke abweicht, oder \_\_\_\_\_ auf die Strecke wirken, treten bei der Steuerung \_\_\_\_\_ vom \_\_\_\_\_ auf. Um dennoch den \_\_\_\_\_ zu erreichen, muss die Struktur zur \_\_\_\_\_ erweitert werden.

## 2. Regelungen

□ Aufgaben:

Führe den Versuch mit der **geregelten** Bohrmaschine durch.

Hierzu unbedingt (wie vorher):

- Den Text lesen
- Wichtiges unterstreichen
- Notizen machen: Was sind die Kernaussagen?

Fasse die Versuchserkenntnisse in eigenen Worten zusammen. Erkläre den Begriff 'Regelung' und gehe auf die Komponenten einer Regelung ein.

---

---

---

---

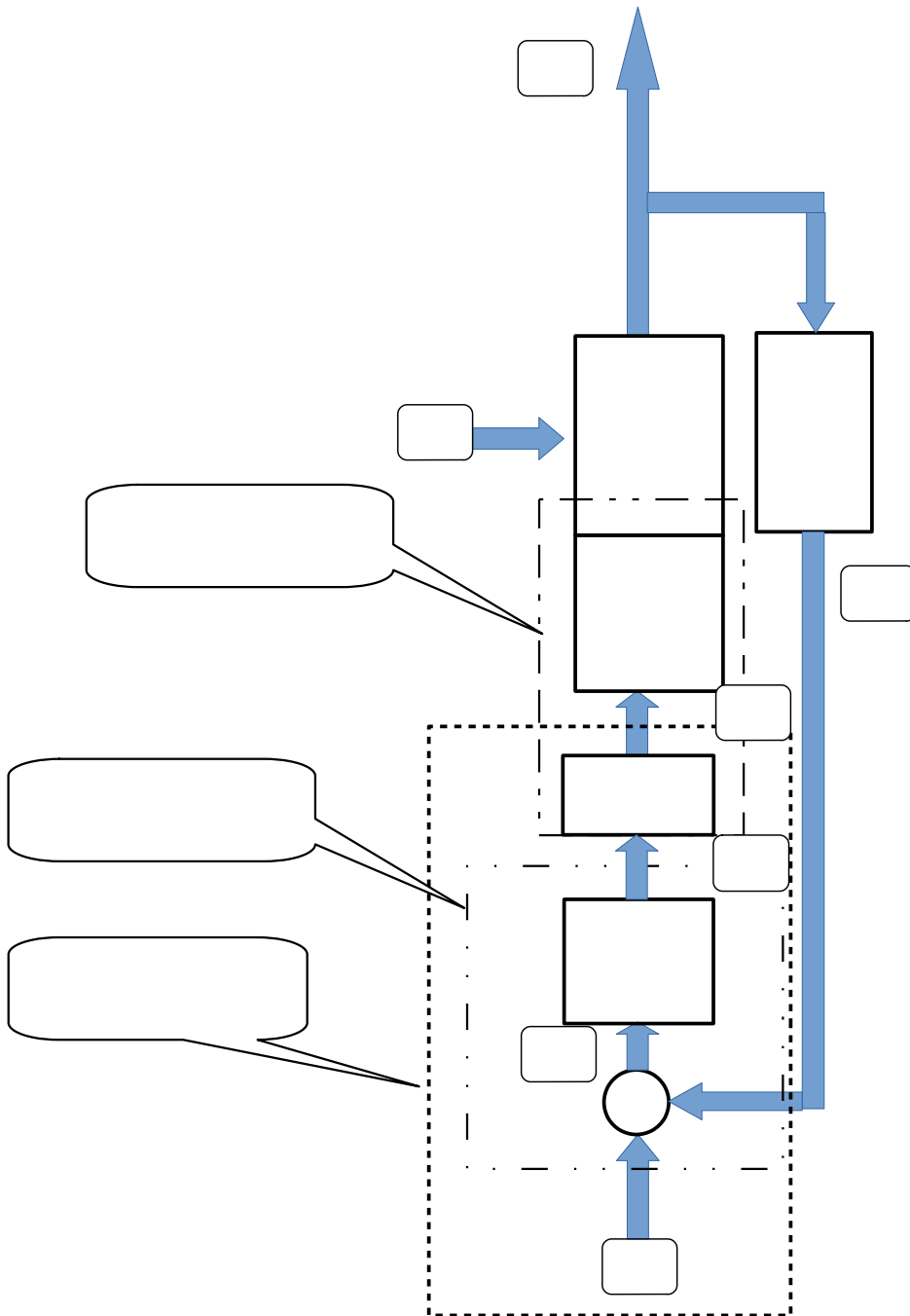
---

---

---

---

Ergänze das Blockschaltbild mit den **regelungstechnischen** Begriffen/Symbolen.



Erkläre die folgenden **regelungstechnischen** Begriffe anhand des Bohrmaschinenbeispiels.  
 Ergänze dazu noch die Buchstaben der Symbole/Kürzel.

Begriff	Erklärung
<i>Führungsgröße</i>  <i>Symbol, Kürzel:</i>	
<i>Vergleichsstelle</i> <i>(Vergleichsglied)</i>	
<i>Regeldifferenz</i>  <i>Symbol, Kürzel:</i>	
<i>Regler (Regelglied)</i> <i>mit Regerausgangsgröße</i> <i>Symbol, Kürzel</i>	
<i>Stelleinrichtung</i>	<i>Die Stelleinrichtung besteht aus ... (ergänzen)</i>
<i>Stellgröße</i>	
<i>Regelstrecke</i>	
<i>Regelgröße</i>  <i>Symbol, Kürzel:</i>	

Begriff	Erklärung
<p><i>Störgröße</i></p> <p><i>Symbol, Kürzel:</i></p>	
<p><i>Sensor</i></p>	
<p><i>Regelkreis</i></p>	

Setze im folgenden Text die Worte an der richtigen Stelle ein:

*Stelleinrichtung, Rückkopplung, Istwert, Regeldifferenz (e), Regelgrößen (x), Sollwert (w), Störgrößen (z), Regler*

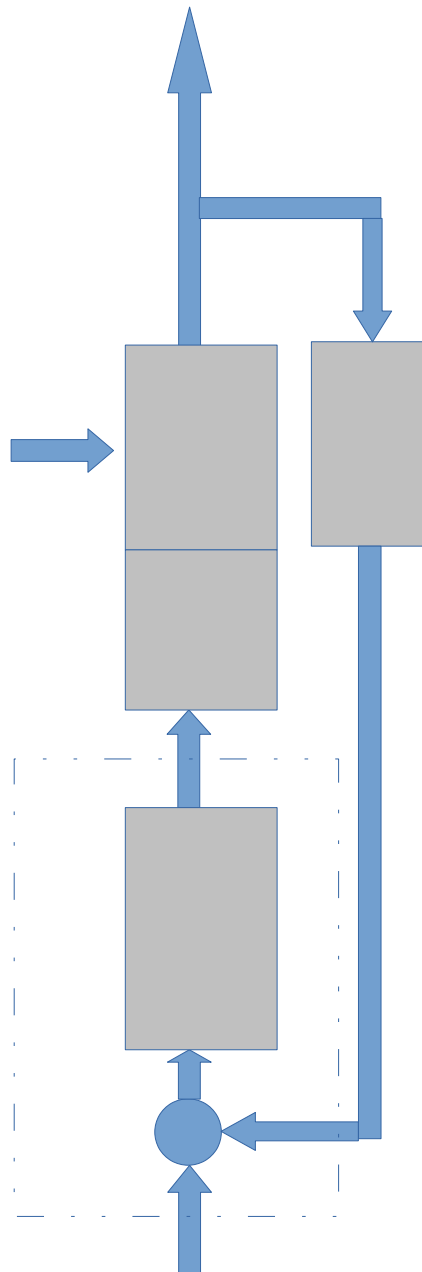
Im Gegensatz zur Steuerung weist eine Regelung eine  zwischen  und  auf. In der Vergleichsstelle wird die  gebildet und auf den  gegeben. Der Reglerausgang wirkt auf die , die dafür sorgt, dass die physikalischen , wie z.B. Helligkeit, Druck, Temperatur, Geschwindigkeit usw. den gewünschten Wert  behalten, auch wenn  auf die Regelstrecke einwirken.

## Aufgabe:

1. Fülle die folgende Tabelle ähnlich dem Beispiel **Beleuchtungsanlage** aus:

<b>System</b>	<b>Regelgröße</b> (was wird geregelt?)	<b>mögliche Störgröße</b> (was verursacht Sollwert- Abweichungen?)
Beleuchtungsanlage	<i>Beleuchtungsstärke</i>	<i>Tageslichteinfall, Verdunkelung (Rollos), Verschmutzung, Lampenabnutzung</i>
Heizung		
Fahrzeug		
Windkraftanlage		

2. Ergänze für **ein Beispiel** aus der Tabelle von S. 7 die regelungstechnischen Größen im bekannten Blockschaltbild.





### 3. Regelstrecke

---



---



---

Regelstrecke mit Ausgleich:

---




---



---



---

Übertragungsbeiwert $K_s$	
	

Beispiel:

Beim Betätigen der Temperatureinstellung bei einer E-Heizung steigt die Stromaufnahme von 5 auf 6 A. Die Raumtemperatur steigt dabei von 18° auf 22°. Berechne den Übertragungsbeiwert  $K_s$  der Regelstrecke.

Regelstrecke ohne Ausgleich (I-Regelstrecke):

---



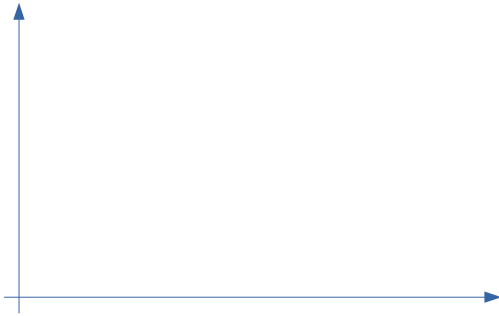
---



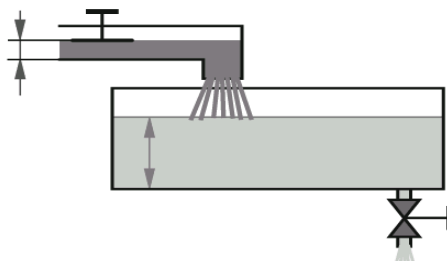
---



---

Übertragungsbeiwert $K_{IS}$	
	

Beispiel: Zusammenhang zwischen Füllstandhöhe und Ventilöffnung




---



---



---



---

Beispiel:

## Dynamisches Verhalten verschiedener Regelstrecken

---

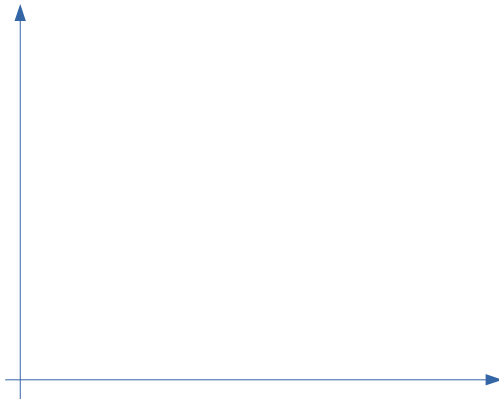
---

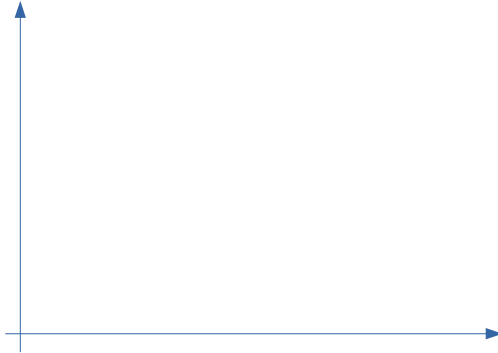
---

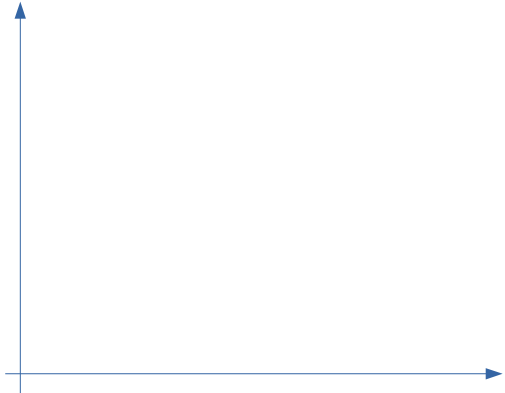
---

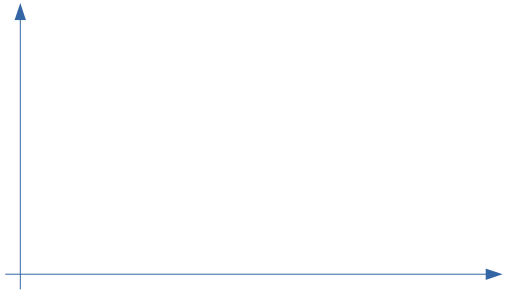
---

Wie werden Regelstrecken gekennzeichnet?

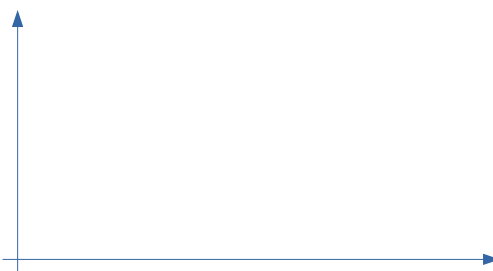
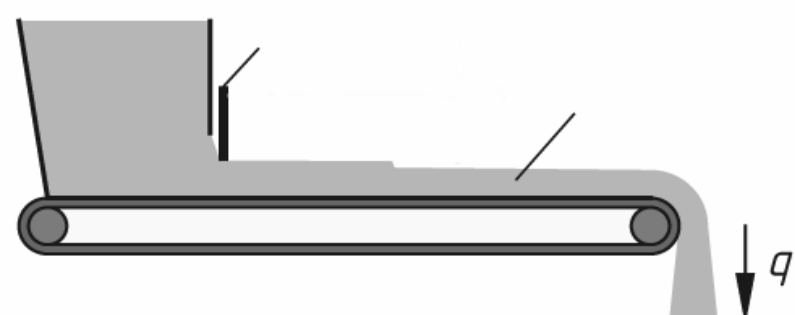
Unverzögerte Strecken	
Zeitverhalten	
Sprungantwort Übertragungsbeiwert	
Symbol	
Beispiel:	

Strecke mit einer Verzögerung ( $PT_1$ )	
Zeitverhalten	.
Sprungantwort	
Ermittlung von	
Symbol	
Beispiel	

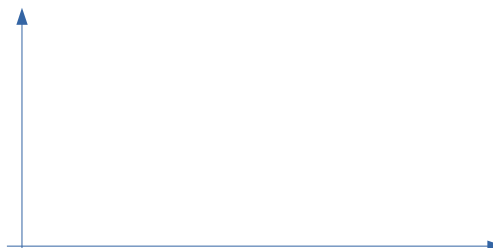
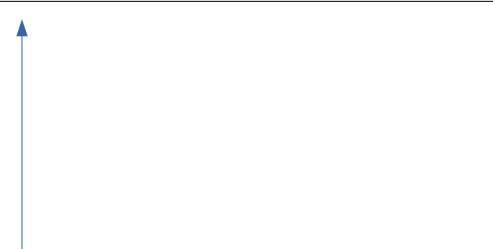
Strecke mit zwei Verzögerungen	
Zeitverhalten	
Sprungantwort	
Ermittlung von	
Symbol	
Beispiel	

Strecken mit mehreren Verzögerungen	
Zeitverhalten	
Sprungantwort	
Ermittlung von	
Symbol	<i>(wie PT2-Strecke)</i>
Beispiel	

**Faustformel für Regelbarkeit von Strecken ab  $PT_2$ :**


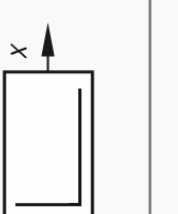
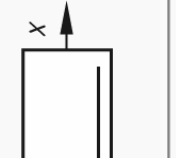
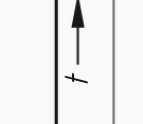
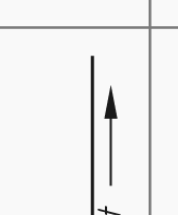
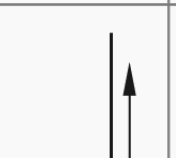


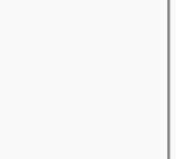

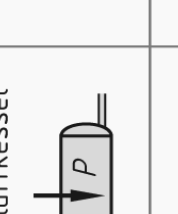
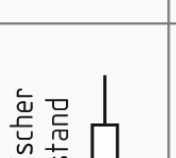


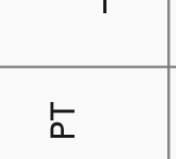

Strecken mit Totzeit ( $PT_T$ )	
Zeitverhalten	
Sprungantwort	
Ermittlung von $T_T$	
Symbol	
Beispiel	<p>Förderband</p> 



I-Regelstrecke (integrale Regelstrecke, Strecke ohne Ausgleich)	
Sprungantworten	
	
Symbole	
Beispiel	

✂ Aufgabe:

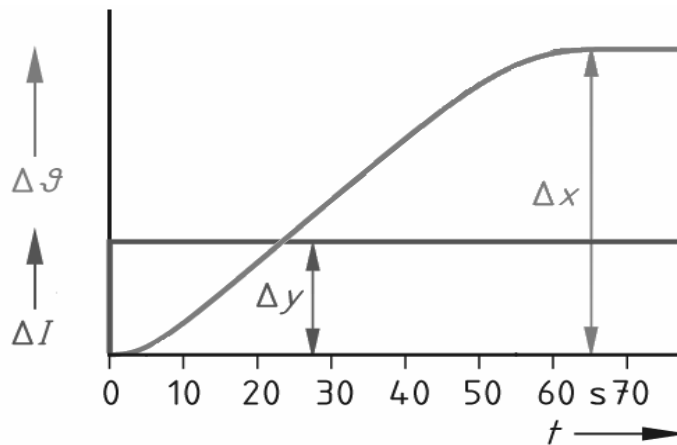
Vervollständige zur Wiederholung die Tabelle auf der folgenden Seite.

Tabelle: Regelstrecken			Beispiel		Sprungantwort	Schaltbild	Übertragungsbeiwert
			Regelstrecke	Regelgröße			
Bezeichnung der Regelstrecke	PT	Elektrischer Widerstand 					
		Druckluftkessel 					
		Heizung 					
		Behälter 					
		Spindel 					
		Regelstrecken mit Ausgleich					
		Regelstrecken ohne Ausgleich					

⌘ Aufgabe:

Bei einer elektrischen Heizspirale wird der Strom von 1,5A auf 3A erhöht. Die Temperatur der Spirale steigt dabei von 120°C auf 160°C. Es ergibt sich eine Sprungantwort nach dem unten stehenden Bild. Ermittle hierzu:

- den Typ der Regelstrecke
- die Zeitkonstanten der Regelstrecke
- die Regelbarkeit der Strecke
- den Kennwert der Strecke



## Wiederholungsfragen

1. Erkläre den Begriff „Regelstrecke“. Nenne ein Beispiel einer Regelaufgabe und der dazu gehörigen Regelstrecke.
2. Nenne die beiden grundsätzlichen Typen von Regelstrecken mit jeweils einem Beispiel.
3. P-Regelstrecken werden anhand ihres Zeitverhaltens unterschieden. Nenne drei unterschiedliche P-Regelstrecken (Bezeichnung, Kurzzeichen, Beispiel) und erkläre, worin sie sich unterscheiden.
4. Benenne bei PT2-Regelstrecken die auftretenden Zeitkonstanten und erkläre, wie sie grafisch ermittelt werden können (Beispielzeichnung).
5. Erkläre, mit welchem „Testsignal“ die Kennwerte einer Regelstrecke ermittelt werden.
6. Nenne ein Beispiel einer Strecke mit Totzeit.
7. Erkläre, warum Strecken mit Totzeit oder großen Verzögerungszeiten als schwer regelbar gelten.
8. Gib eine Faustformel an, nach der die Regelbarkeit einer Strecke mit Verzögerungszeiten beurteilt werden kann. Gib für die Fälle „gut“ und „schlecht“ regelbar jeweils ein Zahlenbeispiel an.

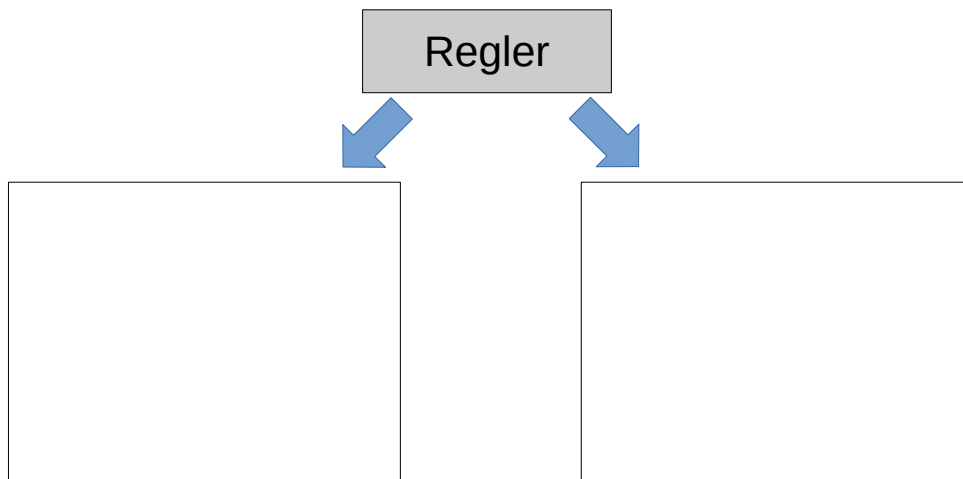
#### 4. Regler

Aufgabe:

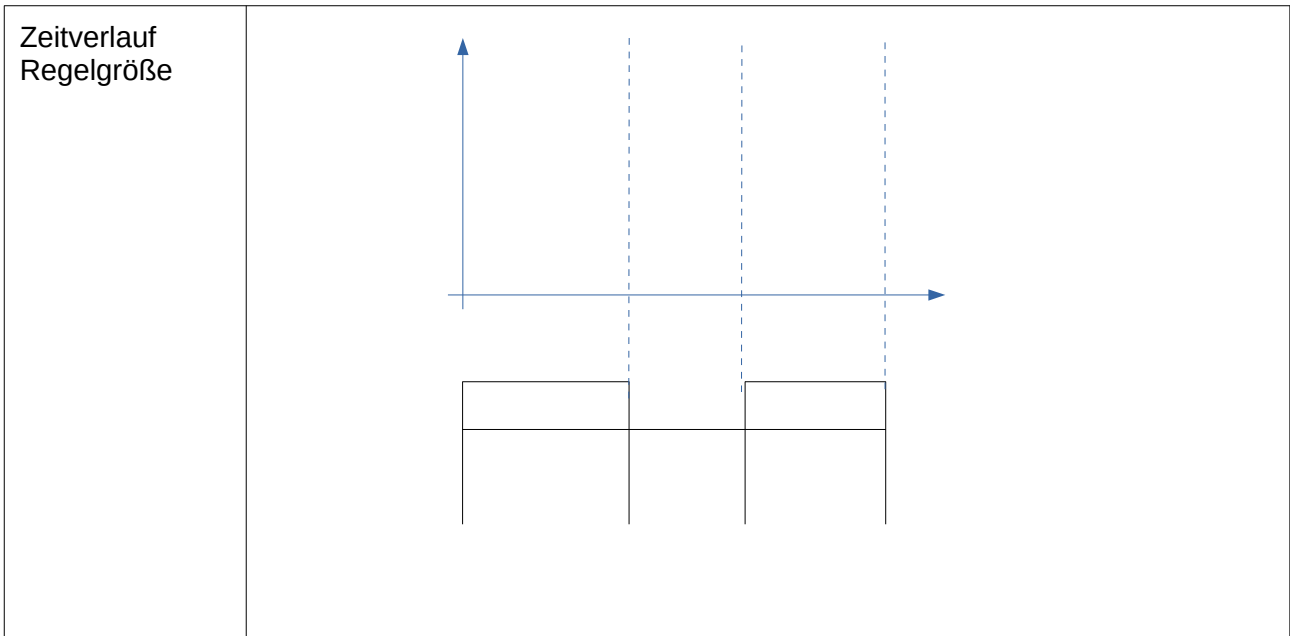
---



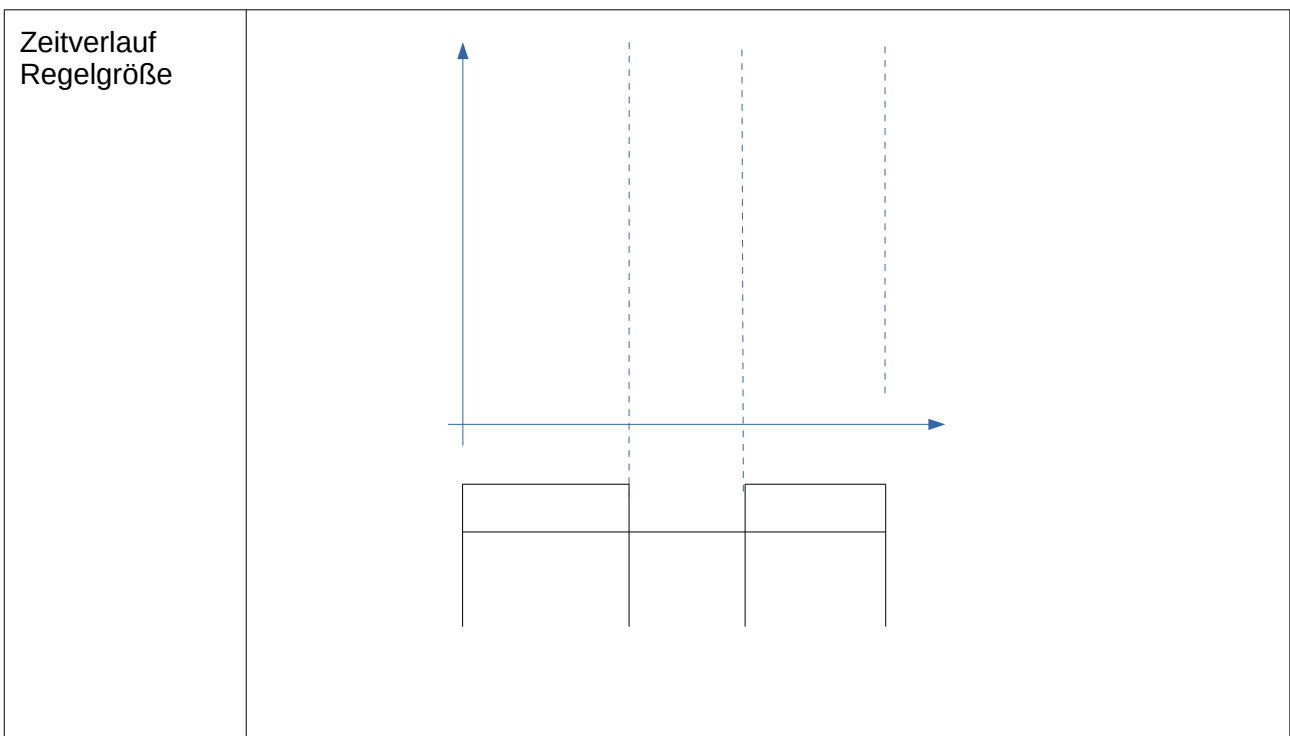
---



Zweipunktregler	
Funktion	
Eigenschaft	
Blockschaltbild mit Kennlinie	
Beispiel	



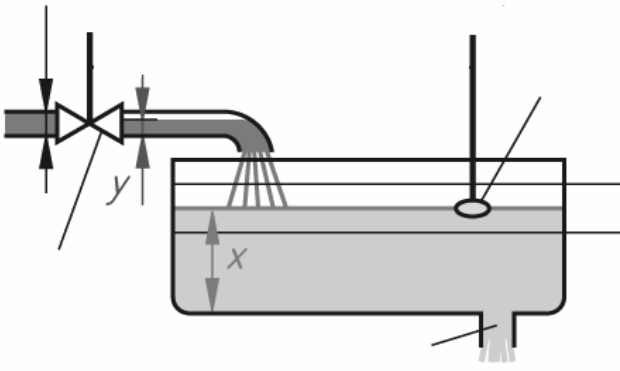
Dreipunktregler	
Funktion	
Eigenschaft	
Blockschaltbild mit Kennlinie	
Beispiel	



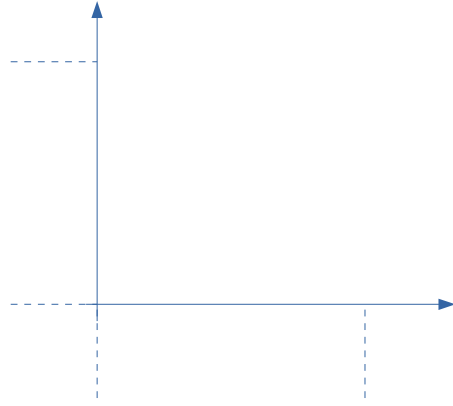
**P-Regler (Proportionalregler)**

Funktion

Beispiel:  
 Füllstands-  
 regelung



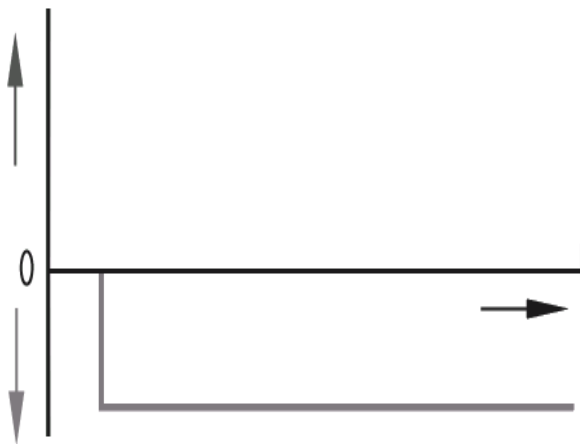
Kennlinie,  
 Größen

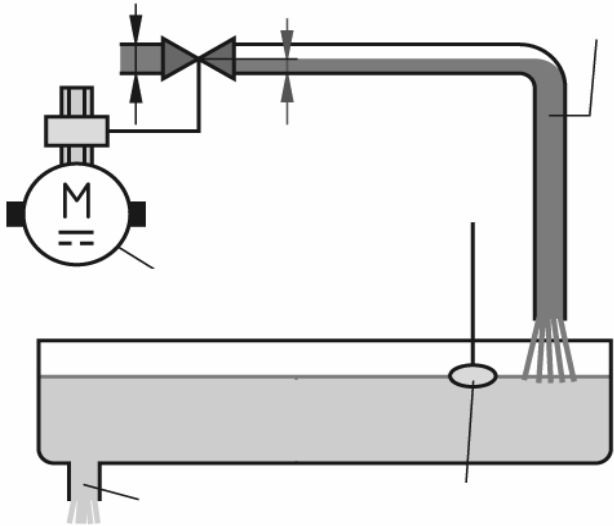
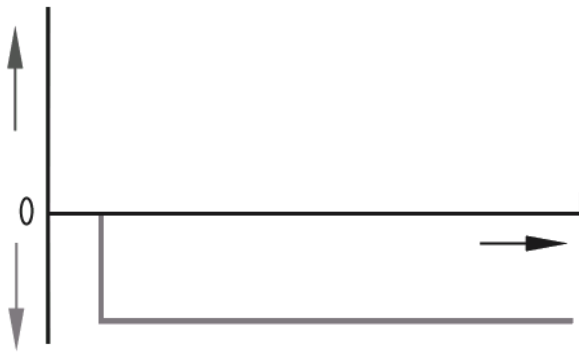


Kenngröße,  
 Formeln

Eigenschaft



P-Regler (Proportionalregler)	
Block-schaltbild	
Sprung-antwort	
Beispiel	

I-Regler (Integralregler)	
Funktion	
Modell- vorstellung	
Sprung- antwort, Größen	

I-Regler (Integralregler)	
Kenngröße, Formeln	
Eigenschaft	
Block- schaltbild	
Beispiel	

D-Regler (Differenzial-Regler)	
Funktion	
Modell- vorstellung	
Sprung- antwort,  Beispiel Stellgrößen änderung	
Eigenschaft	

D-Regler (Differenzial-Regler)

Block-  
schaltbild



Beispiel für den Einsatz von D-Reglern:

ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm, auch Fahrerassistenzsystem genannt) bei Fahrzeugen

*Ein Fahrerassistenzsystem versucht durch gezieltes Bremsen einzelner Räder, ein Schleudern des Fahrzeugs im Grenzbereich in Kurven sowohl beim Übersteuern als auch beim Untersteuern zu verhindern und dem Fahrer so die Kontrolle über das Fahrzeug zu sichern.*

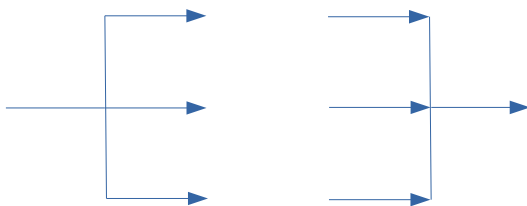
*Damit ESP auf kritische Fahrsituationen reagieren kann, vergleicht das System permanent (bis zu 150-mal pro Sekunde) den Fahrerwunsch mit dem Fahrzustand. Der Lenkwinkelsensor liefert den Fahrerwunsch hinsichtlich der Fahrtrichtung. Motormanagement, die ABS-Drehzahlsensoren und der Gierratensensor (Gierrate = Querbewegung) liefern die Daten des Fahrzeugverhaltens. Ein weiterer Beschleunigungssensor detektiert bei neueren Systemen auch eine Drehung in der Längsachse des Autos (bedeutet Gefahr des Überschlagens). Wenn eine wesentliche Abweichung des berechneten Fahrzustandes vom Fahrerwunsch festgestellt wird, greift das System ein. Ein Übersteuern wird durch Abbremsen des kurvenäußeren Vorderrades, ein Untersteuern durch Abbremsung des kurveninneren Hinterrades korrigiert. Die Radposition spielt dabei eine doppelte Rolle: Einerseits erzeugt die Bremskraft auf der kurveninneren Seite ein Giermoment, das das Eindrehen unterstützt, und umgekehrt. Andererseits verliert ein gebremstes Rad an Seitenführungsfähigkeit, d. h. Bremskraft an der Hinterachse unterstützt das Eindrehen, und umgekehrt.*



ESP im Einsatz

## Reglerkombinationen: PI, PD, PID

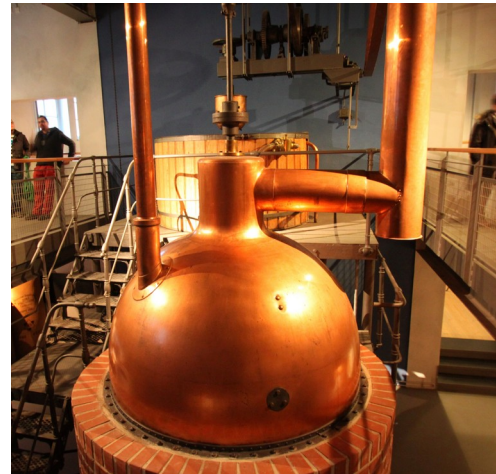
Wie gesehen, haben alle drei Reglergrundtypen ihre speziellen Eigenschaften. Jeder Regler hat „Vorteile“ und „Nachteile“. Bei anspruchsvollen Regelungsaufgaben kommen allerdings diese Reglergrundtypen nur selten allein stehend vor. Die Reglergrundformen P, I und D werden dagegen meistens **kombiniert**, d.h. die Reglereingänge und Reglerausgänge werden **parallel geschaltet**.



Jeder Regler „kümmert“ sich dabei um den Teil der Regelaufgabe, für den er am Besten geeignet ist. Dabei können dann die Anteile der Reglerausgänge am Gesamt-Ausgangssignal je nach Anwendungsfall **im Verhältnis zueinander eingestellt werden**. Hier kommt es dann wieder darauf an, was geregelt werden soll. So kann es einmal sein, dass eine besonders genaue Regelung gewünscht ist, der ganze Regelungsvorgang aber nicht zeitkritisch ist. Ein Beispiel wäre hier z.B. die Temperatur in einem Sudkessel einer Brauerei. Hier müssen bestimmte Temperaturverläufe möglichst genau eingehalten werden, die zeitlichen Änderungen der Temperaturen bewegen sich dabei aber im Stundenbereich. Ein D-Anteil ist dann kaum nötig, der I-Anteil aber sehr wohl.

Dagegen ist bei schnellen Fluggeräten eine Reaktion im Millisekundenbereich gefragt um kritische Flugzustände zu stabilisieren oder z.B. Ausweichmanöver automatisiert zu fliegen. Dies wäre der ideale Einsatzbereich eines Reglers mit D-Anteil.

Auf der nächsten Seite wird anhand der Reglerkombination PID das Prinzip beispielhaft dargestellt.



*Brauerei-Sudkessel*

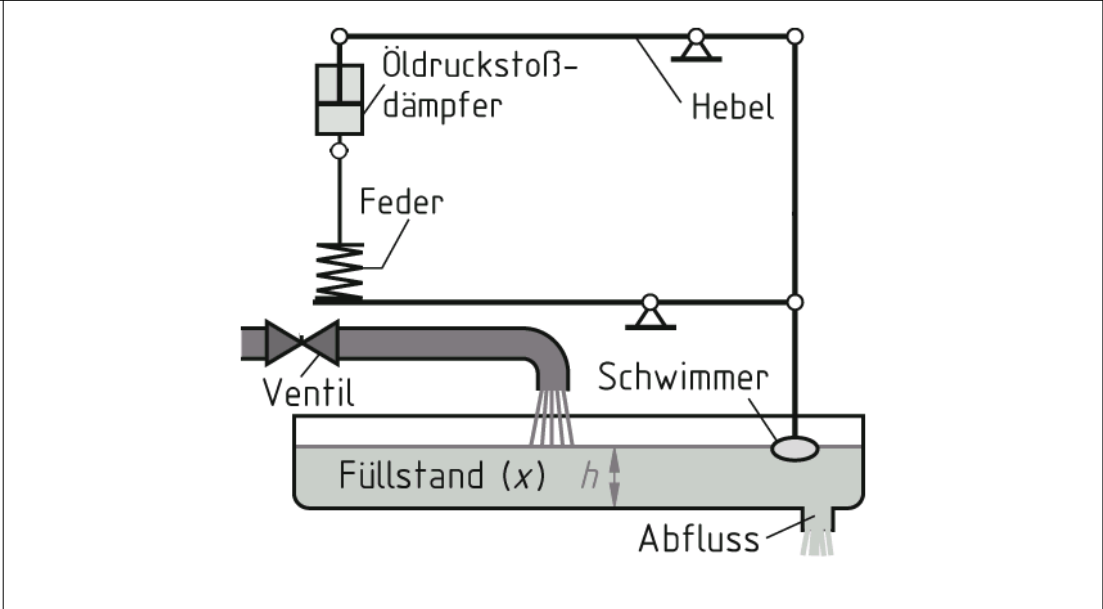


*Su-35 Jagdflugzeug*

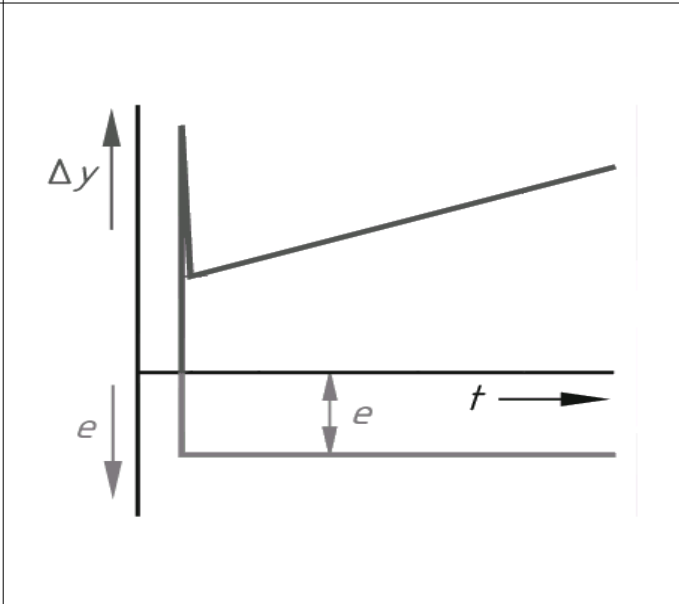
**PID-Regler (Proportional-Integral-Differenzialregler)**

Funktion

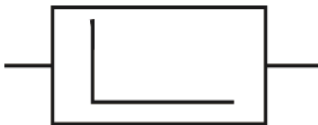
Modell-  
vorstellung



Sprung-  
antwort,  
Größen



Eigenschaft

PID-Regler ( <b>P</b> roportional- <b>I</b> ntegral- <b>D</b> ifferenzialregler)	
Block-schaltbild	
Beispiel	



Reglerauswahl: Kleine Übersicht

Regelstrecke		Regler				
Typ	Beispiel					
$P_0$						
$P_{T1}$						
$P_{Tn}$						
$P_{Tt}$						
$I_0$						
$I_{T1}$						
-- instabil, - nicht geeignet, + geeignet, ++ gut geeignet, (F) bei Führung, (S) bei Störung						

**Universalregler**

---



---



---

Einsatzbereiche			
Funktionsumfang			
Schnittstellen			
interne Funktionen			
Einheitssignale		minimal	maximal
	pneumatisch:		
	elektrisch		