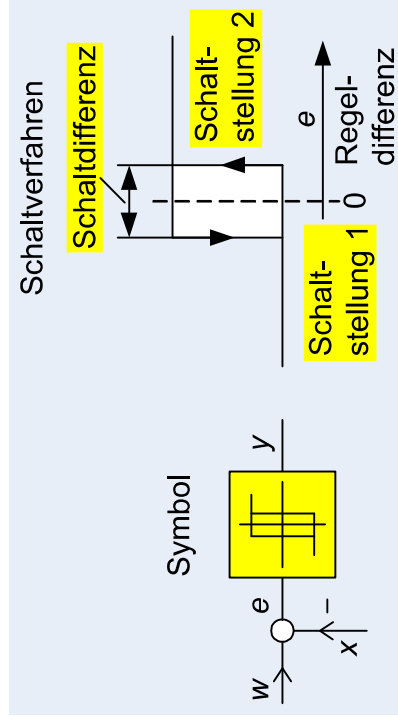


## 3.3.1 Schaltende Regler (unstetige Regler)

verändern die Stellgröße **unstetig** durch Schalten in zwei oder mehr Stufen

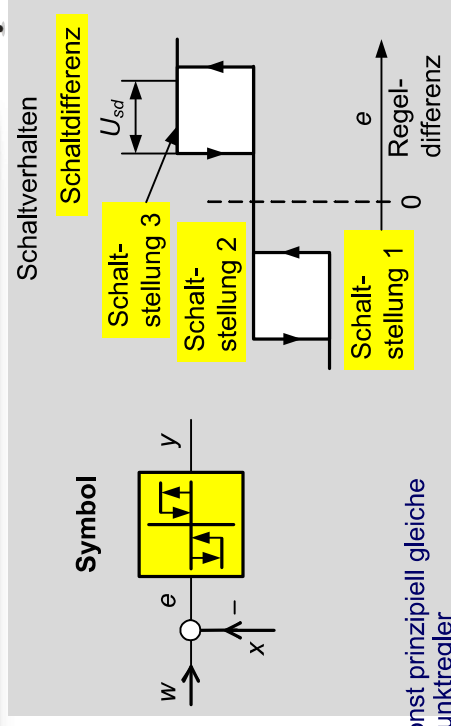
## Zweipunktregler



2 eindeutige Schalterstellungen (EIN/AUS)

häufig verwendet für einfache **Temperaturregelung (Bimetallregler)**

## Dreipunktregler



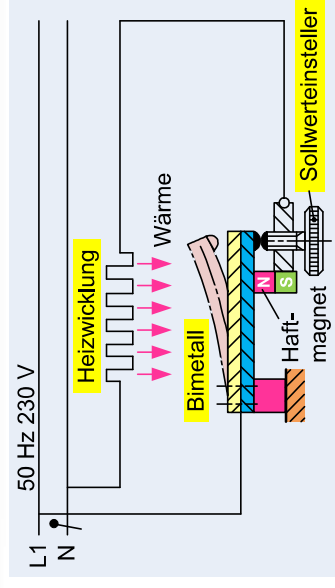
3 Schalterstellungen, sonst prinzipiell gleiche Arbeitsweise wie Zweipunktregler

**Beispiel:** Temperaturregelung mit 3 Schalterstellungen (z.B. Klimaanlage)

- (1) Heizung EIN
  - (2) Heizung/Kühlung AUS
  - (3) Kühlung EIN
- auch hier **Schalthysterese**

金属材料 (材料)

起停式控制



bei niedriger Temperatur ist die Heizung **an**;  
steigt die Temperatur über den Sollwert an,  
verbiegt sich der Bimetallstreifen  
und die Heizung ist **aus**;

unterschreitet die Temperatur einen **unteren Grenzwert**,  
schaltet der **abgekühlte** Bimetallstreifen die Heizung wieder ein  
ein Haftmagnet sorgt für **schlagartiges Umschalten**,  
um Funkenbildung zu vermeiden;  
dadurch entsteht eine **Schaltdifferenz (Schalthysterese)**  
zwischen Aus- und Einschalttemperatur

## 3.3.2 Analoge Regler (stetige Regler) / P-Regler

Die Stellgröße kann innerhalb des Stellbereichs **jeden Wert** annehmen,  
der zur Aufrechterhaltung des gewünschten Wertes

der Regelgröße erforderlich ist; vollständige **Charakterisierung durch**

**Sprungantwort**, wie schon bei Regelstrecken **阶跃响应**, **短时间内输出从0变1**.

auf einen Sprung der **Regeldifferenz** **e** **调节偏差**  
antwortet der **P-Regler** mit einem **Sprung**,  
der um den **Faktor**  $K_P$  verändert (erhöht oder  
erniedrigt je nachdem, ob  $K_P \geq 1$  oder  $K_P \leq 1$ )

Übergangsfunktion

$$y_R = K_P \cdot e$$

Kennwert

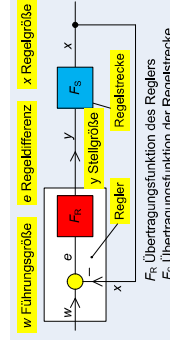
$$K_P = \frac{y_R}{e}$$

Symbol

$K_P$ : **Proportionalbeiwert (Verstärkung)**

增幅比例值: 比例越大, 调节作用越强.

**Hinweis:** gleiches Übertragungsverhalten wie P-Glied



Regelgröße x ist die **Drehzahl n**  
Führungsgröße w über Einstellschraube veränderbar (Soll-Drehzahl)

beim Anfahren ist das Ventil zunächst ganz offen (Stellgröße y)

1. 没有滞后 → 可以较快克服干扰

2. 有偏差(过差) → 由于输出值没有稳定, 就停止调节

3. 导致系统不稳定

**Verstärkung** abhängig vom Verhältnis a : b des Gestänges

**Eigenschaften von P-Reglern:**

- arbeiten ohne Verzögerung
- haben bei Streifen mit Ausgleich eine bleibende Regelabweichung
- werden bei höherer Verstärkung zwar immer genauer, neigen dann aber zum Überspringen

Beispiel: Hydraulischer Druckregler als I-Regler

Regelgröße ist der **Druck p** im rechten Rohr; Sollwert  $p_w$  wird über eine Schraube eingestellt; Stellszylinder kann über eine Klappe den Druck beeinflussen (Stellgröße)  
**Sollwert und Istwert gleich**  
⇒ Stellschleifen in Ruhe

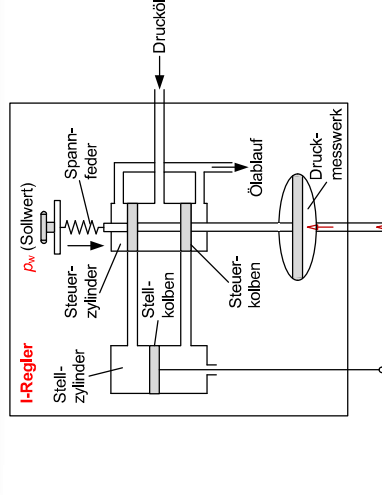
**Druck steigt durch Störung**  
⇒ Steuerkolben wird über Membran nach oben gedrückt und **Klappe** über Stellszylinder **geschlossen**, bis wieder Gleichgewicht herrscht  
**Druck sinkt durch Störung**  
⇒ Steuerkolben wird über Sperrfeder nach unten gedrückt und Klappe über Stellszylinder geöffnet bis wieder Gleichgewicht herrscht

**Hinweis:** Regeldifferenz wird immer vollständig ausgeregelt

**Eigenschaften von I-Reglern**

- keine bleibende Regeldifferenz
- langsamer als P-Regler
- Einsatz meist in Kombination mit anderen Reglern z.B. PI-Regler

1. 没有调节偏差  
2. 会有滞后作用



I-Regler

**Integralregelung**

Sprungantwort ( $e = \text{const}$ )

$$y_R = K_I \cdot e \cdot t$$

$K_I$ : Integrierbeiwert

$$\text{Integrierzeit: } T_I = \frac{1}{K_I}$$

da  $y_R$  nicht nur proportional zur Regeldifferenz, sondern auch zur **Zeit** wächst, wird mit konstanter **Stellgeschwindigkeit** geregelt

$$y_y = \frac{y_R}{t} = K_I \cdot e = \frac{e}{T_I}$$

allgemein gilt für beliebige Regeldifferenz  $e$

$$y_I = K_I \cdot \int_{t_0}^t e \cdot dt$$

积分时间越短, 调节作用越强

**Hinweis:** entspricht I-Glied bei Regelstrecken

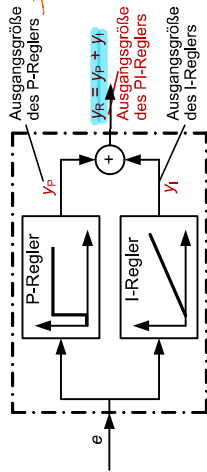


Institut für Technische Informatik

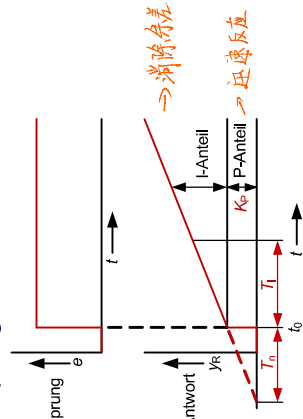
PI-Regler 比例积分调节

**Parallelschaltung von P- und I-Regler**

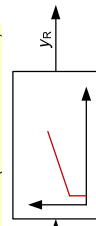
并联



Sprungantwort

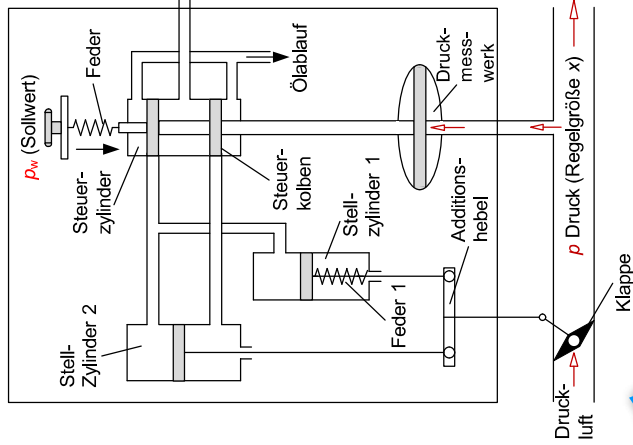


Symbol:



# Beispiel: Hydraulischer Druckregler als PI-Regler

Funktionsweise wie bei I-Regler, nur zusätzlich noch P-Regler (Stellzylinder 1), Addition beider Reglerausgänge über Hebel



Kennwerte (2 Parameter):

$$\text{Nachstellzeit: } T_n = K_P \cdot T_I$$

$$\text{Proportionalbeiwert: } K_P$$

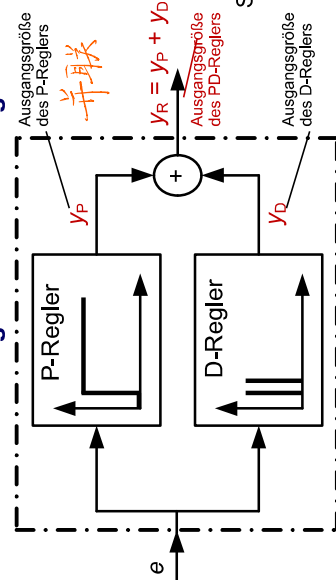
## Eigenschaften von PI-Reglern:

- reagieren gleich schnell wie P-Regler
- regeln die Regeldifferenz auf Null wie I-Regler, d.h. keine bleibende Regeldifferenz

1. kann wie I-Regler -一样迅速反应
2. 可以像积分调节 -一样消除静差

## PD-Regler (1/2) 比例微分调节

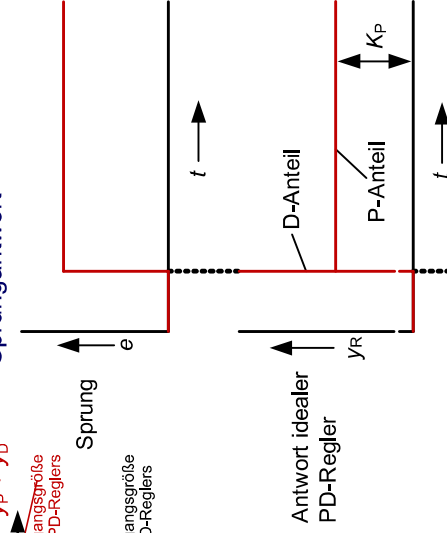
### Parallelschaltung von P- und D-Regler



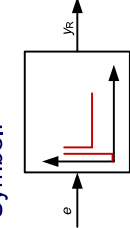
当偏差出现,

1. 由于偏差值, 比例控制会有反应
2. 由于偏差速率, 微分控制会有反应

Spurgangantwort

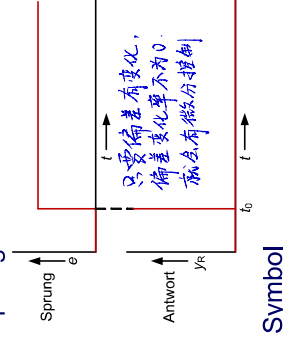


Symbol:

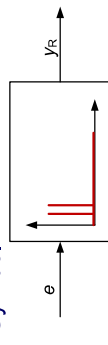


# D-Regler 微分调节

Spurgangantwort



Symbol:



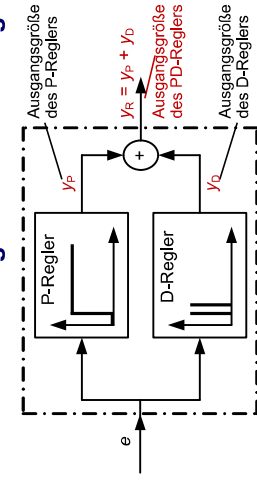
Eigenschaften: 单独使用没有意义

- alleine als Regler nicht brauchbar, da er nur auf Änderungen reagieren kann
- regelt konstante Regeldifferenz
- nicht aus 不能消除静差 (单独的 D-Regler)
- Kombination mit anderen Reglern 需与其它控制器并用

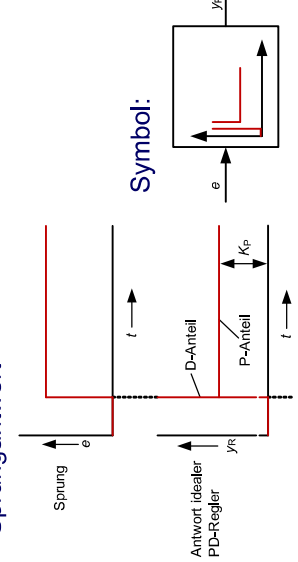


## PD-Regler (2/2)

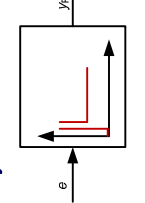
### Parallelschaltung von P- und D-Regler



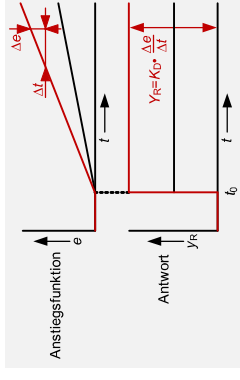
Spurgangantwort



Symbol:



Regler differenziert (bildet 1. Ableitung) des Eingangssignals; 尖峰脉冲 aus Sprung wird damit ein unendlich hoher Nadelimpuls (Dirac-Stoß), daher besser Charakterisierung über Anstiegsantwort



在偏差量出现初期, 偏差变化率不为0, 故会有微分控制

$$\text{Differentialbeiwert } K_D = \frac{\Delta t \cdot y_R}{\Delta e}$$

$$K_D \text{ Zeitkonstante des D-Reglers } T_I = K_D$$

$$\text{Sprungantwort (Näherung mit } 1/t) \quad y_R = K_D \cdot \frac{e}{t} = T_I \cdot \frac{e}{t}$$

$$\text{allgemein (bel. Funktion e) } y_D = K_D \cdot \frac{de}{dt}$$



Spurgangantwort (Näherung):

$$y_R = y_P + y_D = K_P \cdot e + K_D \cdot \frac{e}{t}$$

$$= K_P \cdot e \left( 1 + \frac{K_D}{K_P \cdot t} \right)$$

$$= K_P \cdot e \left( 1 + \frac{T_I}{t} \right)$$

$$T_v = \frac{K_D}{K_P} = \frac{T_I}{K_P}$$

提前时间 Vorhaltezeit

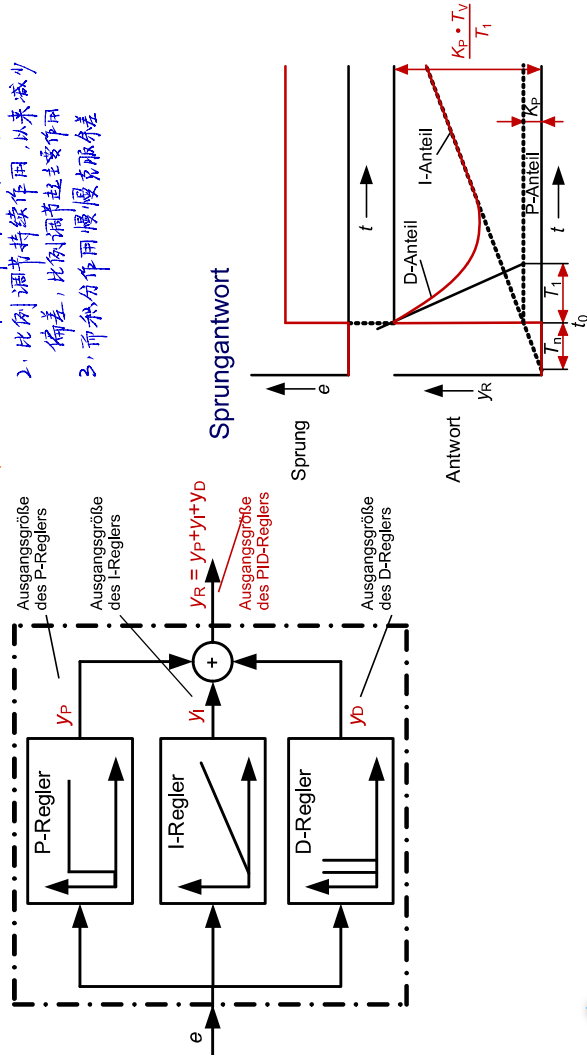
$K_P$  Proportionalbeiwert

1. 比例调节和比例积分
2. 有调节偏差

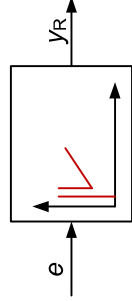
- Eigenschaften:
- schneller als P- und PI-Regler
  - aber: bleibende Regeldifferenz (z.B. Kaskadenregelungen)

## Parallelschaltung von P-, I- und D-Regler 并联

1. 偏差阶段出现时, 微分调节出现大幅动作, 抑制偏差的跃变.
2. 比例调节持续作用, 以来减少偏差, 比例调节起主要作用
3. 而积分作用慢慢克服静态误差



## Symbol PID-Regler



### Eigenschaften:

- so schnell wie PD-Regler
- regelt Regeldifferenz zu Null wie PI-Regler, d.h. keine bleibende Regelabweichung
- aber: komplizierte Einstellung der drei Parameter 1. und PD-Regler in der Regel

2. 可以消除调节偏差
3. 有三个参数有些复杂

适用于对调节速度和精度有要求的控制器.

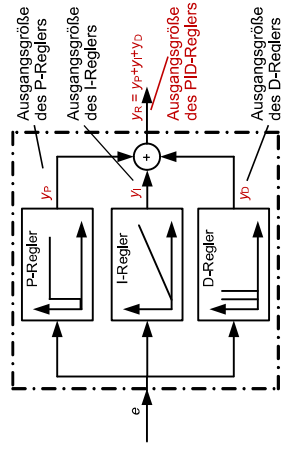
Einsatz bei **hohen Anforderungen** an Regelgeschwindigkeit und Genauigkeit; **universeller** analoger Regler (enthält alle anderen als Spezialfall)

Basis für digitale Regler (z.B. in SPS)

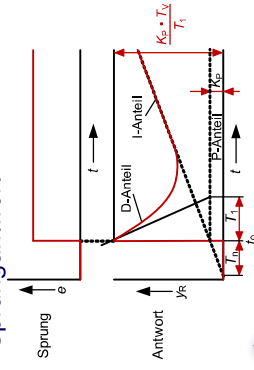
Implementierungen analoger Regler (alle Typen):

- mechanisch
- hydraulisch
- elektronisch (meist mit Operationsverstärkern)

## Parallelschaltung von P-, I- und D-Regler



### Sprungantwort



## 3.3.3 Digitale Regler (1/2) 数字化调节

