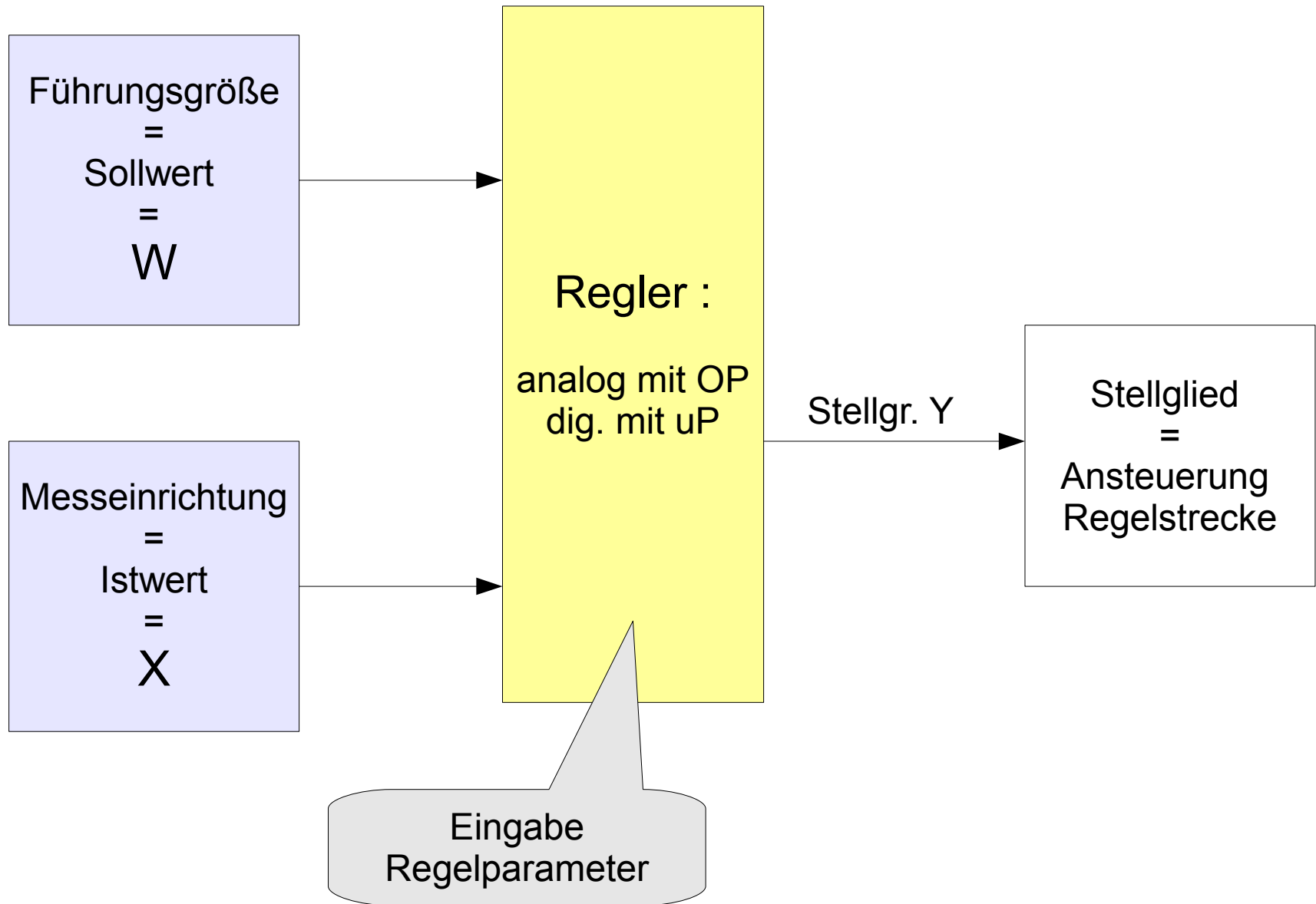


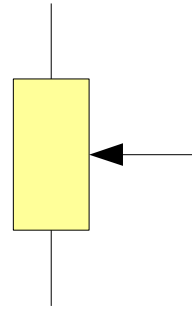
# Regelungstechnik im Unterricht => Hardwarebetrachtungen

## Blockschaltbild Regelvorrichtung



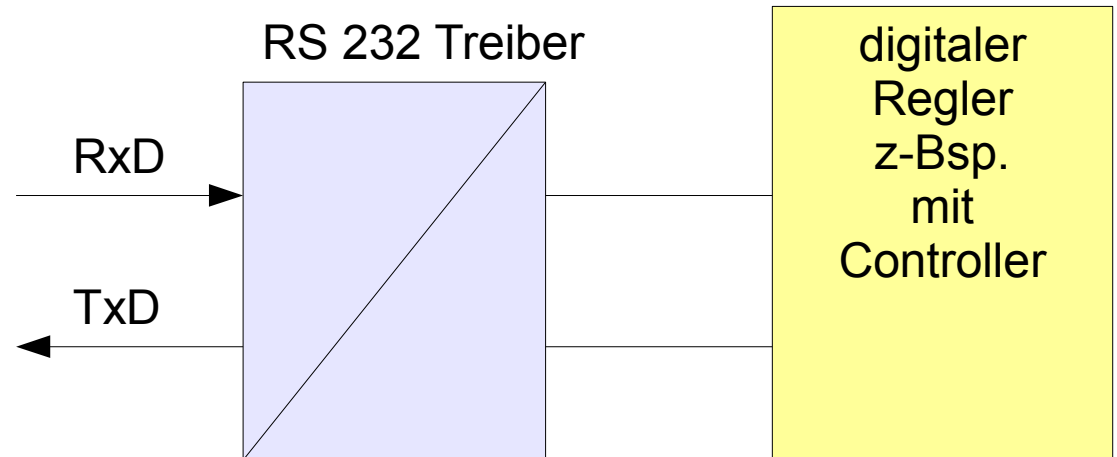
# Sollwertvorgaben

a.) Sollwert mit Poti einstellbar:

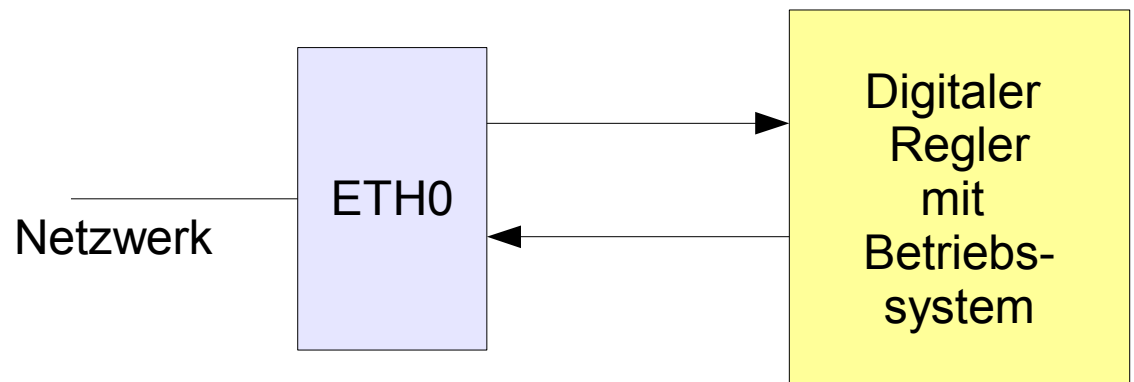


Bei digitalen Reglern muss die Spannung mit einem Analog-Digitalwandler umgesetzt werden

b.) Sollwertvorgaben über ser. Schnittstelle :

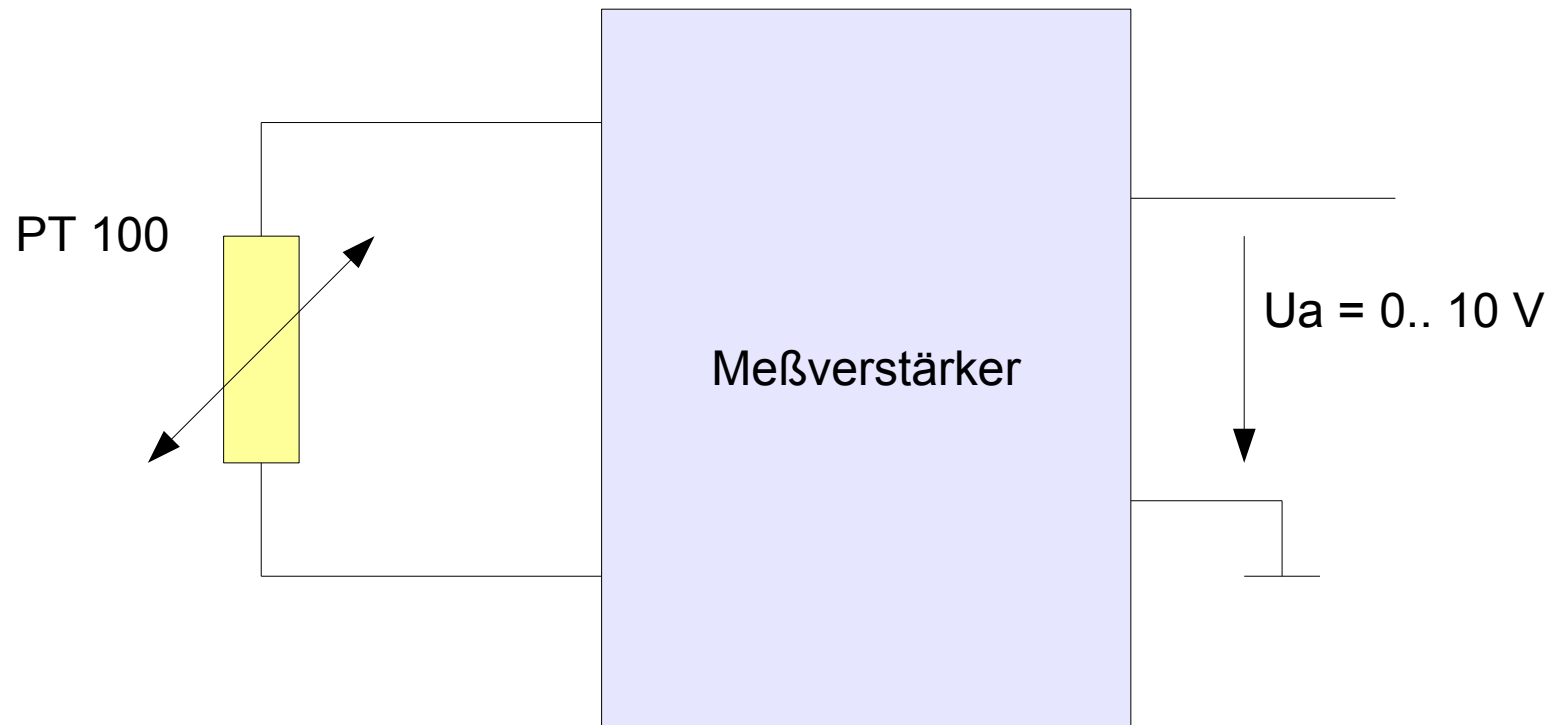


c.) Sollwertvorgaben über Ethernet



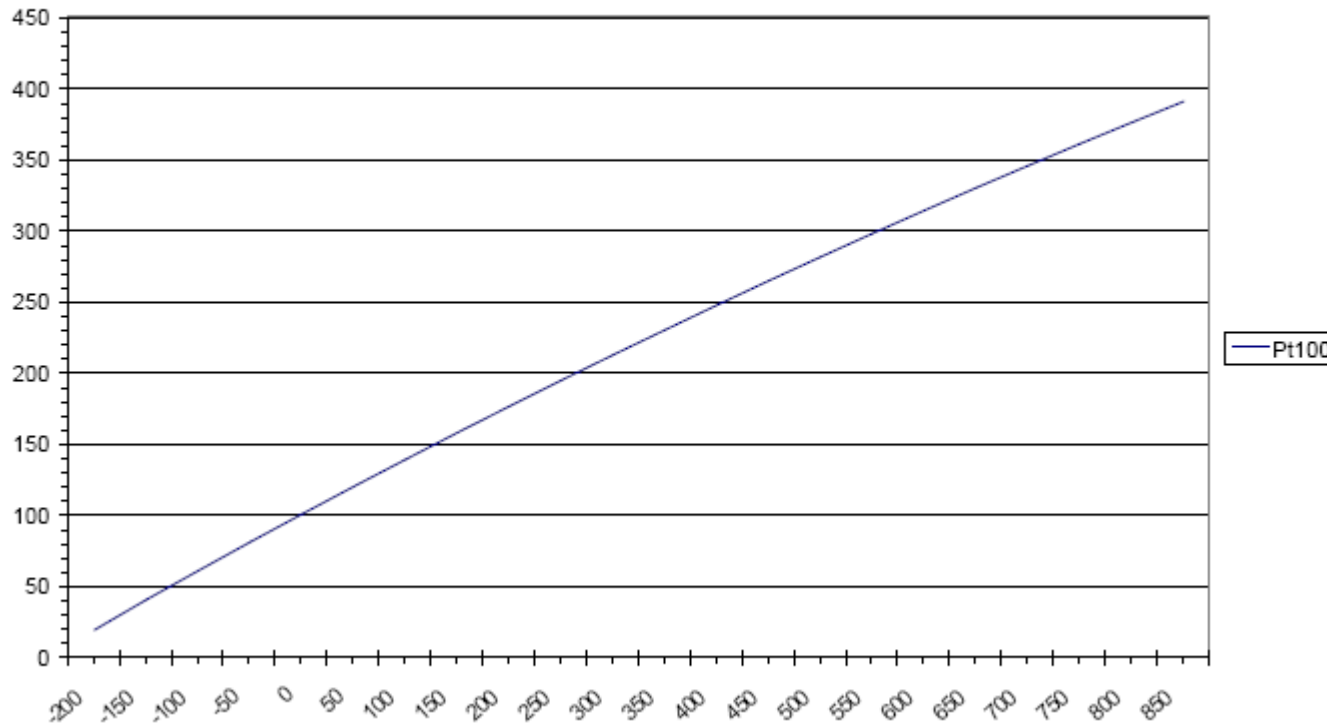
# Istwerterfassung

Analoge Sensoren am Beispiel des Temperatursensors PT100 :



# Temperaturfühler PT100 :

Widerstandswerte Pt100 Sensoren

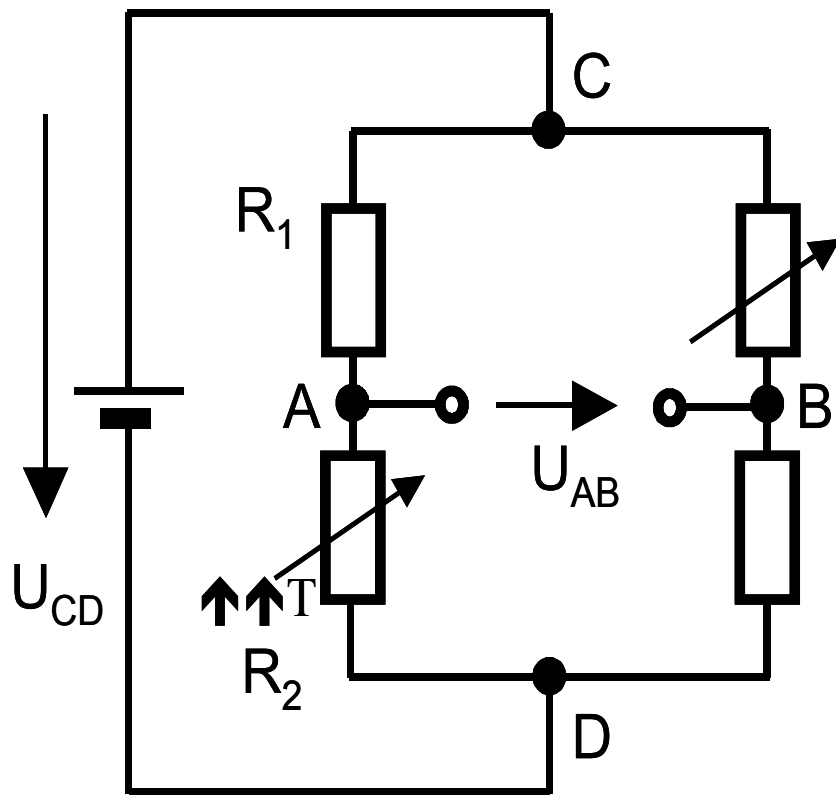


Pt100 => Platindraht Sensor

Fühlerwerte in  
tabellarischer Form

|     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0   | 100,000 | 100,391 | 100,781 | 101,172 | 101,562 | 101,953 | 102,343 | 102,733 | 103,123 | 103,513 |
| 10  | 103,902 | 104,681 | 104,681 | 105,071 | 105,460 | 105,849 | 106,238 | 106,627 | 107,016 | 107,404 |
| 20  | 107,793 | 108,181 | 108,570 | 108,958 | 109,346 | 109,734 | 110,122 | 110,509 | 110,897 | 111,284 |
| 30  | 111,672 | 112,059 | 112,446 | 112,833 | 113,220 | 113,607 | 113,994 | 114,380 | 114,767 | 115,153 |
| 40  | 115,539 | 115,925 | 116,311 | 116,697 | 117,083 | 117,469 | 117,854 | 118,240 | 118,625 | 119,010 |
| 50  | 119,395 | 119,780 | 120,165 | 120,550 | 120,934 | 121,319 | 121,703 | 122,087 | 122,471 | 122,855 |
| 60  | 123,239 | 123,623 | 124,007 | 124,390 | 124,774 | 125,157 | 125,540 | 125,923 | 126,306 | 126,689 |
| 70  | 127,072 | 127,454 | 127,837 | 128,219 | 128,602 | 128,984 | 129,366 | 129,748 | 130,130 | 130,511 |
| 80  | 130,893 | 131,274 | 131,656 | 132,037 | 132,418 | 132,799 | 133,180 | 133,561 | 133,941 | 134,322 |
| 90  | 134,702 | 135,083 | 135,463 | 135,843 | 136,223 | 136,603 | 136,982 | 137,362 | 137,741 | 138,121 |
| 100 | 138,500 | 138,879 | 139,258 | 139,637 | 140,016 | 140,395 | 140,773 | 141,152 | 141,530 | 141,908 |

# Meßverstärker — Instrumentation amplifier



Die Sensor-Meßsignale sind in der Regel so gering, dass sie zur weiteren Verarbeitung verstärkt werden müssen.

Eine typische Messaufnehmer-Schaltung ist die Brückenschaltung. Offset-Werte können hiermit einfach kompensiert werden, die Empfindlichkeit ist sehr hoch und das Ausgangssignal ist eine Differenzspannung.

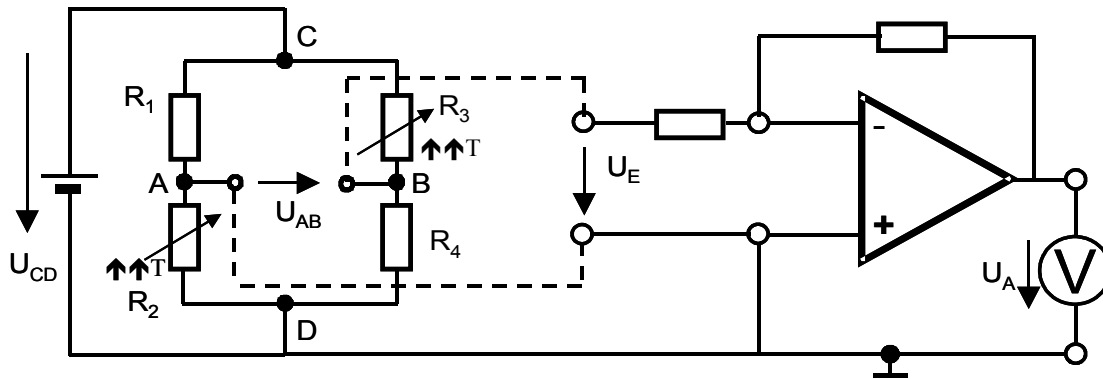
Will man ein solches Signal verstärken, so muss der Verstärker besondere Eigenschaften aufweisen:

- \* **Hohe Linearität**
- \* **Geringe Drift**
- \* **Konstanter Verstärkungsfaktor**

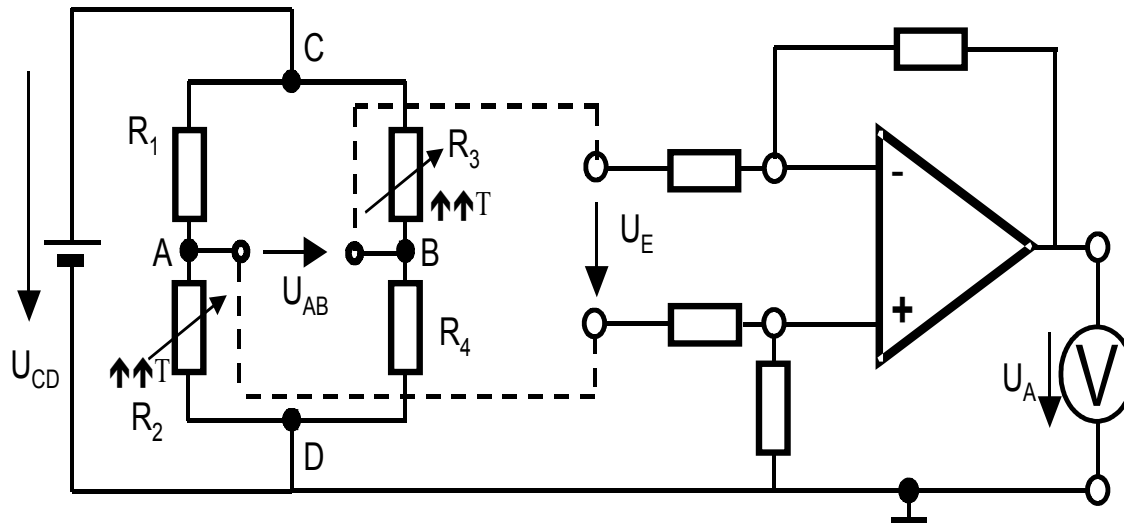
# Signalverstärkung mit OP

Typische Sensorschaltung

Signalverstärkung mit OP  
Inverter



Problem: Die Eingänge des Verstärkers sind elektrisch nicht gleichwertig  
- Ein Teil der Sensorbrücke ist kurzgeschlossen ( $R_2$ )



Das Ausgangssignal der Brückenschaltung ist eine Differenzspannung, welche nicht auf ein Massepotential bezogen ist. Eine OP-Verstärkerschaltung als Differenzverstärker würde Abhilfe schaffen.

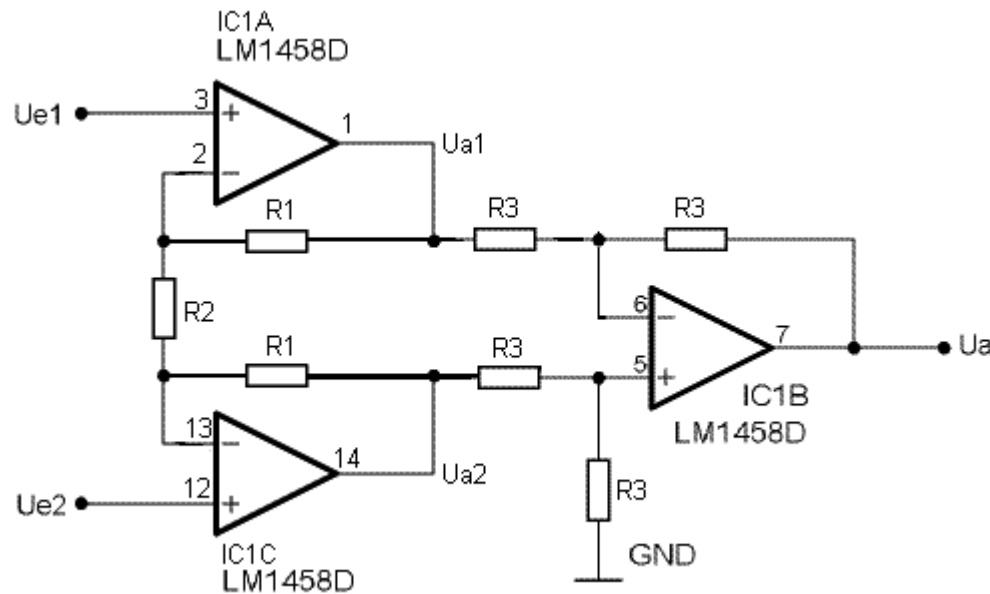
Aber auch hier gibt es Probleme, die für eine Messschaltung nicht tolerierbar sind.

Die verschiedenen Eingänge belasten unterschiedlich stark das Brückensignal. Außerdem sind die Eingänge nicht gleichwertig auf Massepotential bezogen.

Ein wichtiges Merkmal ist, dass der Verstärkungsfaktor der beiden Eingänge nicht wirklich gleich sein kann. Widerstandstoleranzen verhindern dies.

# Messverstärker => Instrumentenverstärker

Instrumentenverstärker :



Es ergibt sich als Ausgangsspannung:

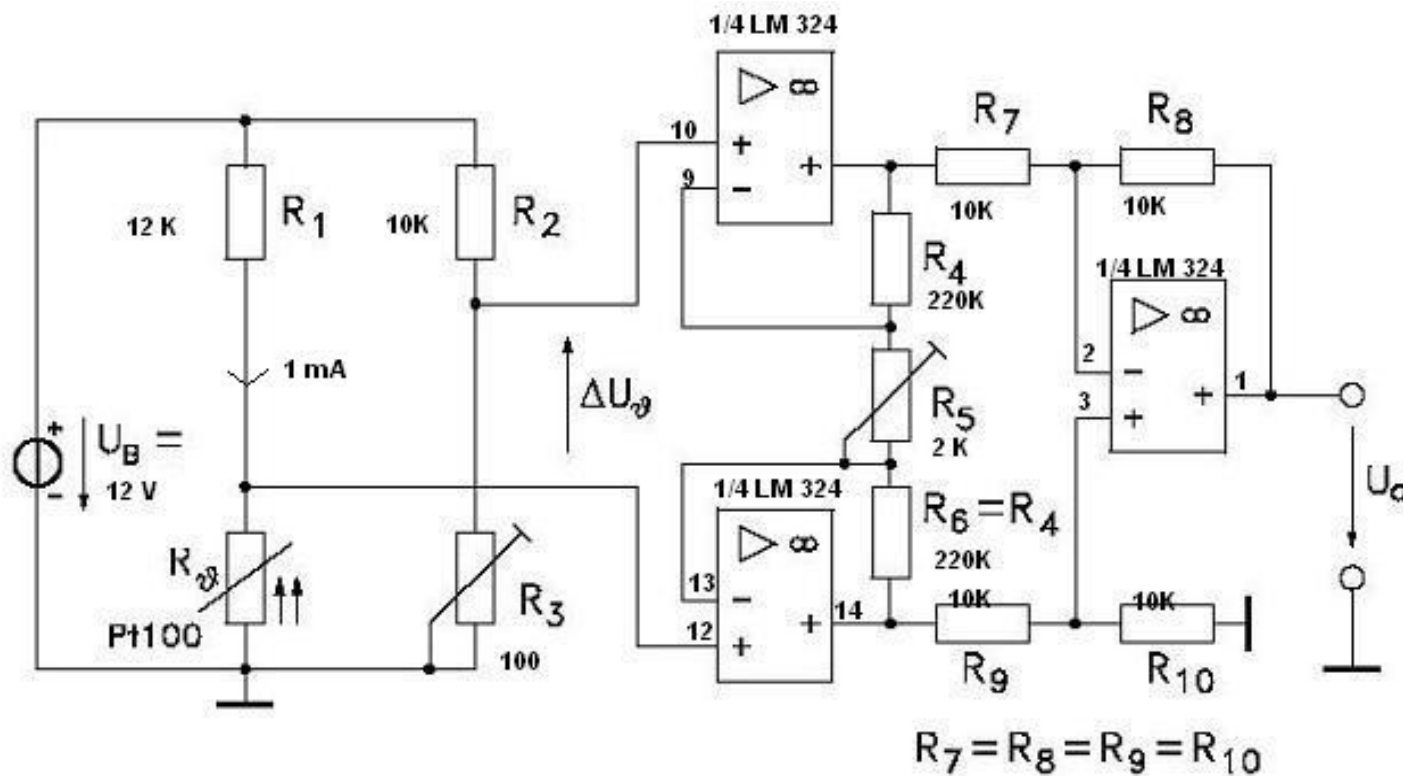
$$U_a = (U_{e2} - U_{e1}) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_1}{R_2}\right)$$

Die Differenzverstärkung beträgt demnach:

$$V = \left(1 + \frac{2 \cdot R_1}{R_2}\right)$$

Vorteil dieser Schaltung : nur mit Veränderung von R2 kann die Verstärkung verändert werden

# Meßwertverstärker mit Temperatursensor



Mit  $R_5$  kann die Verstärkung bestimmt werden , mit  $R_3$  wird der Nullabgleich der Eingangsbrücke vorgenommen

# Digitale Temperaturfühler

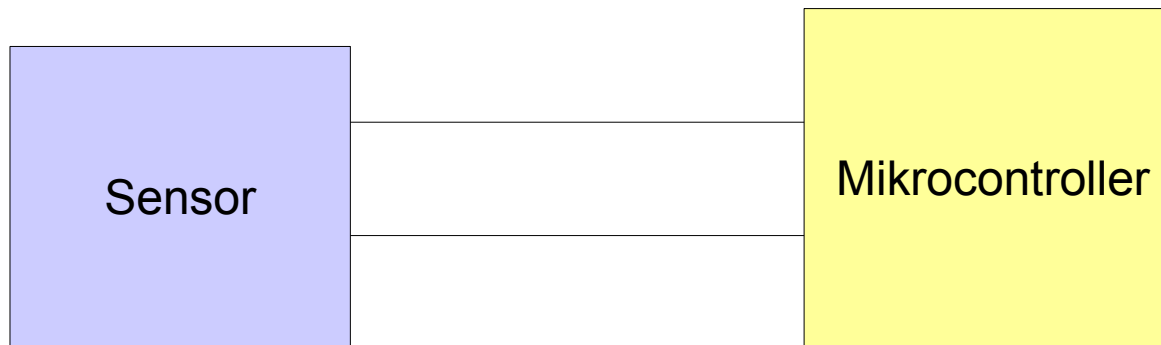
Für viele Standardanwendungen werden heute vermehrt digitale Sensoren eingebaut :

## **Vorteile :**

- \* keine analogen Verstärker oder zusätzliche Hardware notwendig
- \* unempfindlicher gegen Störeinflüsse
- \* billiger
- \* definierter Temperaturbereich mit definierter Genauigkeit
- \* über Bussysteme sind mehrere Sensoren an einer Leitung möglich

## **Nachteile :**

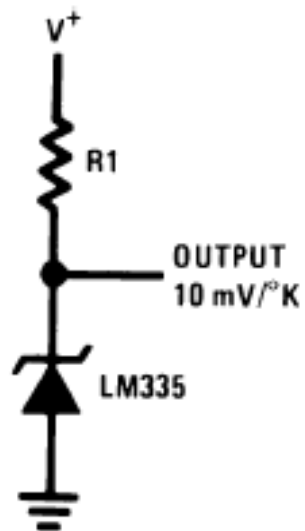
- \* begrenzte Auflösung / Genauigkeit von 8 .. 10 Bit üblich, damit nicht für hochgenaue Anwendungen vorgesehen
- \* kann nur in Verbindung mit einem Controller verwendet werden



# Integrierter Sensor mit analogem Ausgang

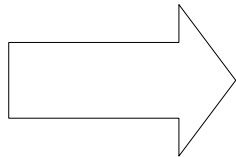
z.Bsp . LM135 :

Basic Temperature Sensor



DS005698-2

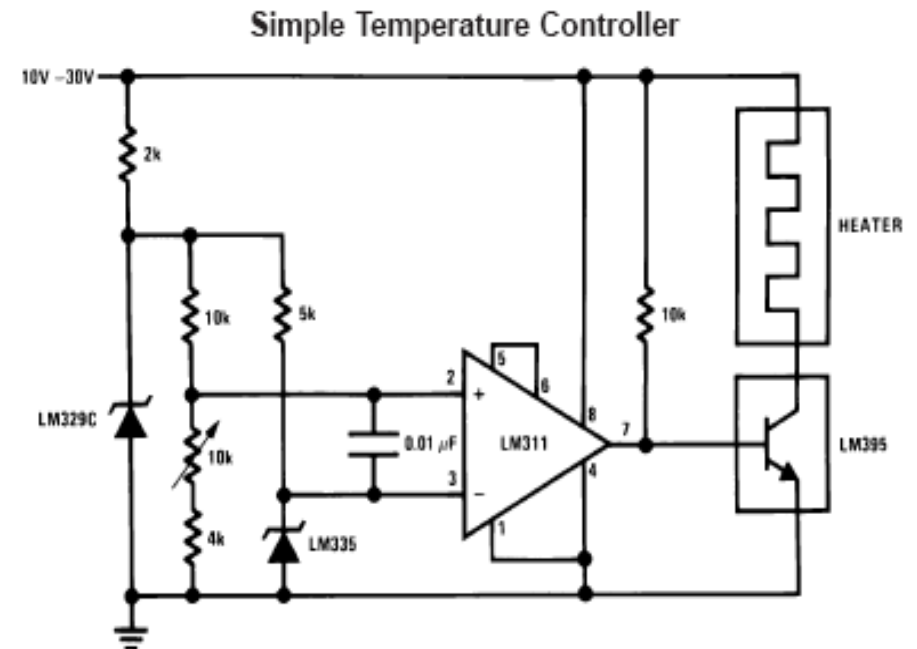
Damit einfachste  
Temperatur –  
Zweipunktregelung  
möglich



Wichtigste Daten :

Temperaturbereich : -55 ... +150 Grad

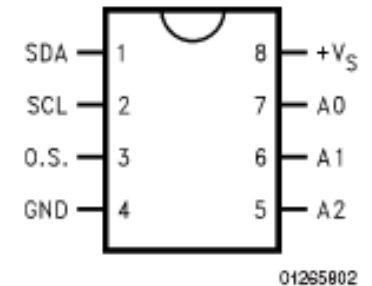
Genauigkeit : 1 Grad (ohne Abgleich)



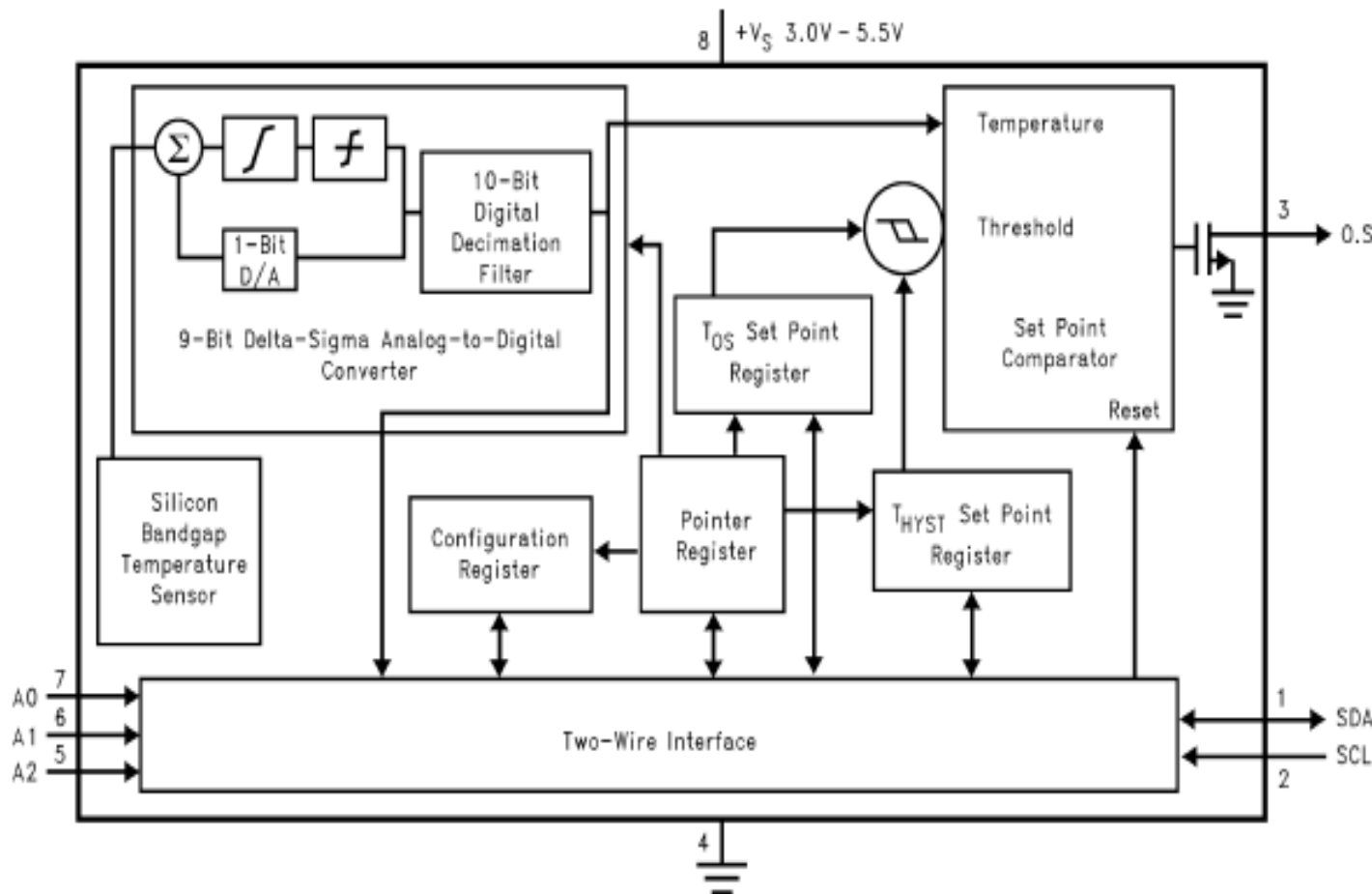
DS005698-5

# Integrierter Sensor LM75 mit digitalem Ausgang ( I<sup>2</sup>C – Bus )

SOP-8 and Mini SOP-8



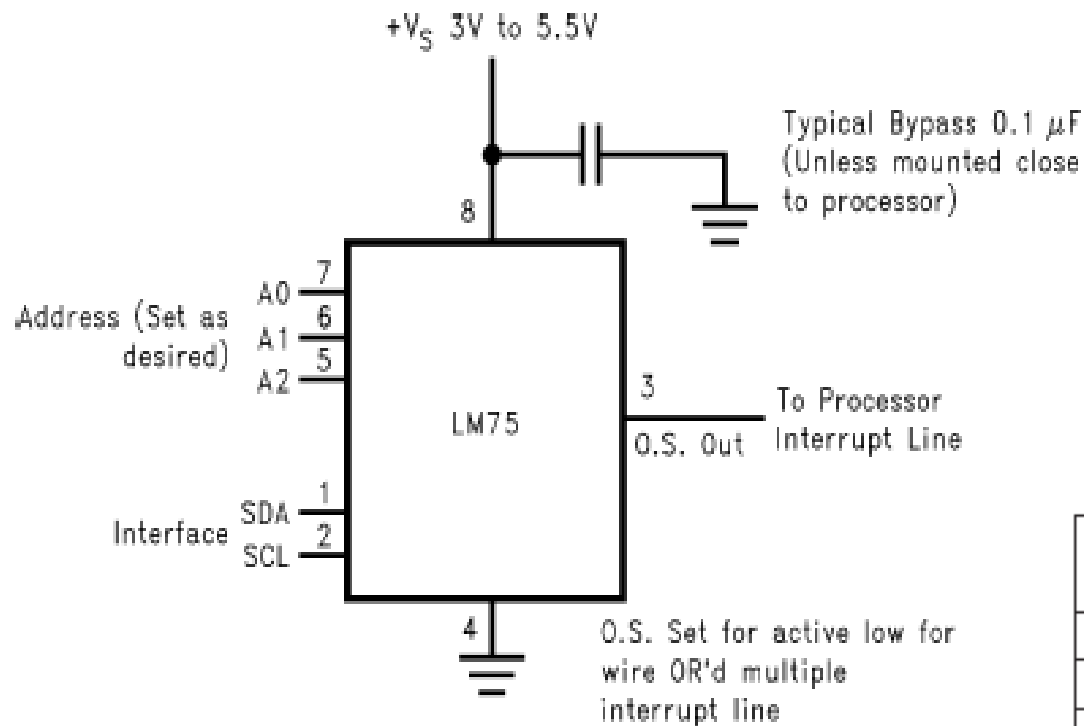
Simplified Block Diagram



Temperaturfühler mit Logikbaustein in einem IC zusammengefasst. Mit A0, A1 und A2 kann eine Bausteinadresse eingestellt werden, an den Pin's SDA (serial data) sowie SCL (serial clock) können die Temperaturwerte ausgelesen werden.

# Integrierter Sensor mit digitalem Ausgang ( I<sup>2</sup>C – Bus ) 2

Beispiel : LM 75

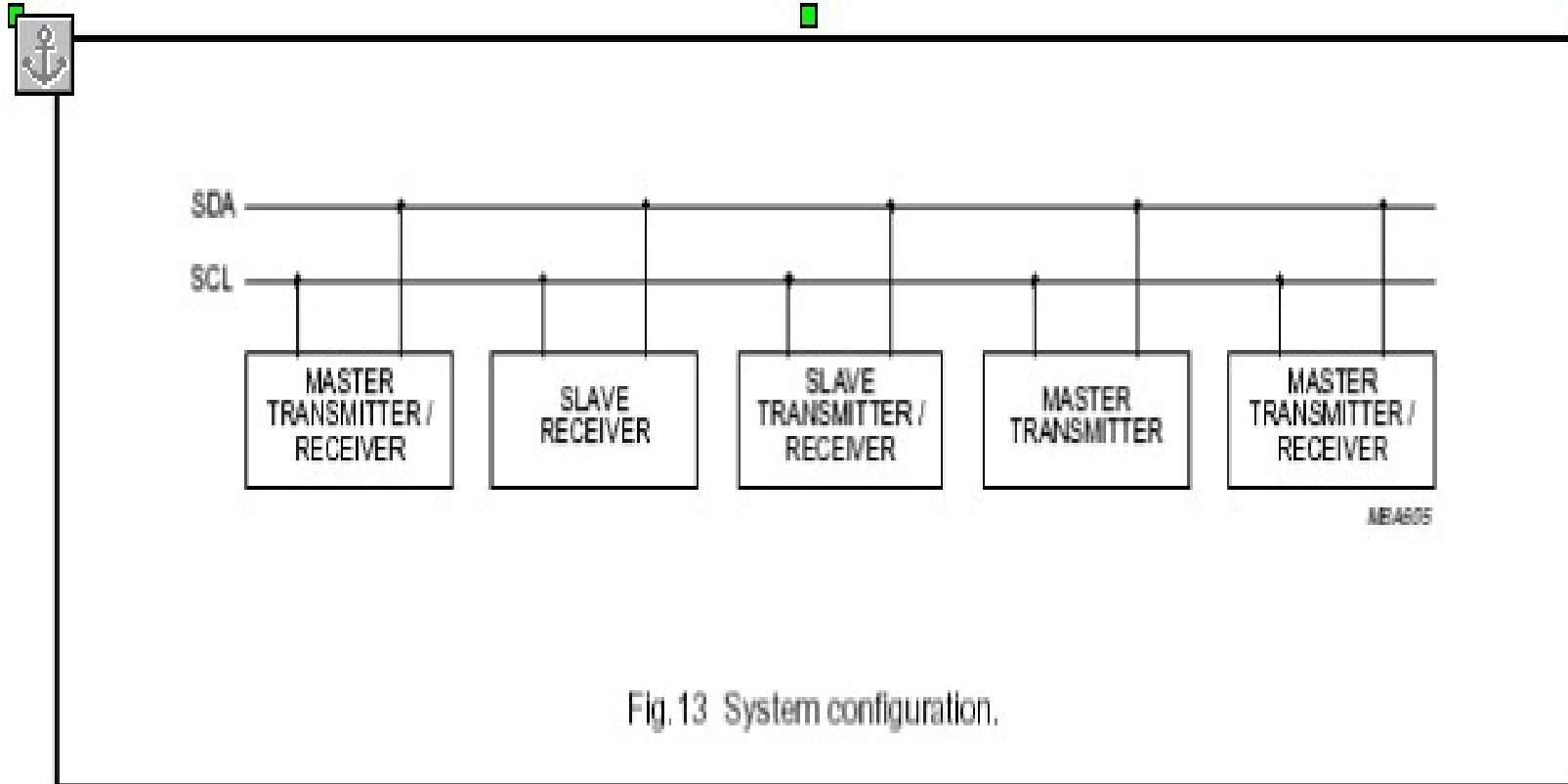


Temperatur – Wert als digitaler Wert : Bereich von 125 Grad bis - 55 Grad in 0.5 Grad Schritten

| Temperature | Digital Output |      |
|-------------|----------------|------|
|             | Binary         | Hex  |
| +125°C      | 0 1111 1010    | 0FAh |
| +25°C       | 0 0011 0010    | 032h |
| +0.5°C      | 0 0000 0001    | 001h |
| 0°C         | 0 0000 0000    | 000h |
| -0.5°C      | 1 1111 1111    | 1FFh |
| -25°C       | 1 1100 1110    | 1CEh |
| -55°C       | 1 1001 0010    | 192h |

FIGURE 1. Typical Application

# I2C Bussystem



Über eine einfache Zwei-Draht Verbindung können verschiedene Komponenten vernetzt werden .

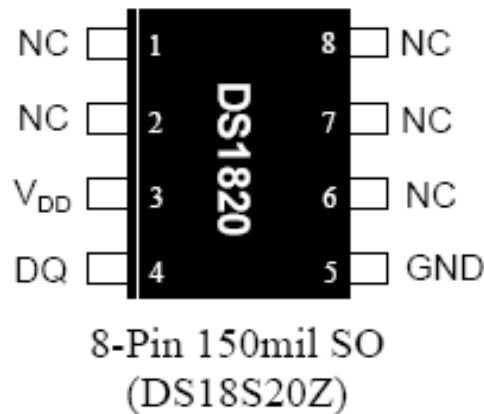
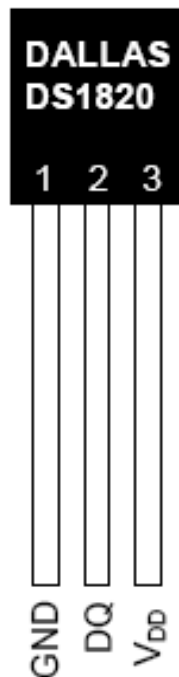
Vorteile : rel. Einfaches Protokoll , große Auswahl an Bausteinen

Nachteil : keine allzugroße Geschwindigkeit , Multi Mastersystem  
rel. aufwendiges Management .

# Digitaler Temperaturfühler mit einem Anschluss :

## DS18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

### PIN ASSIGNMENT



(BOTTOM VIEW)

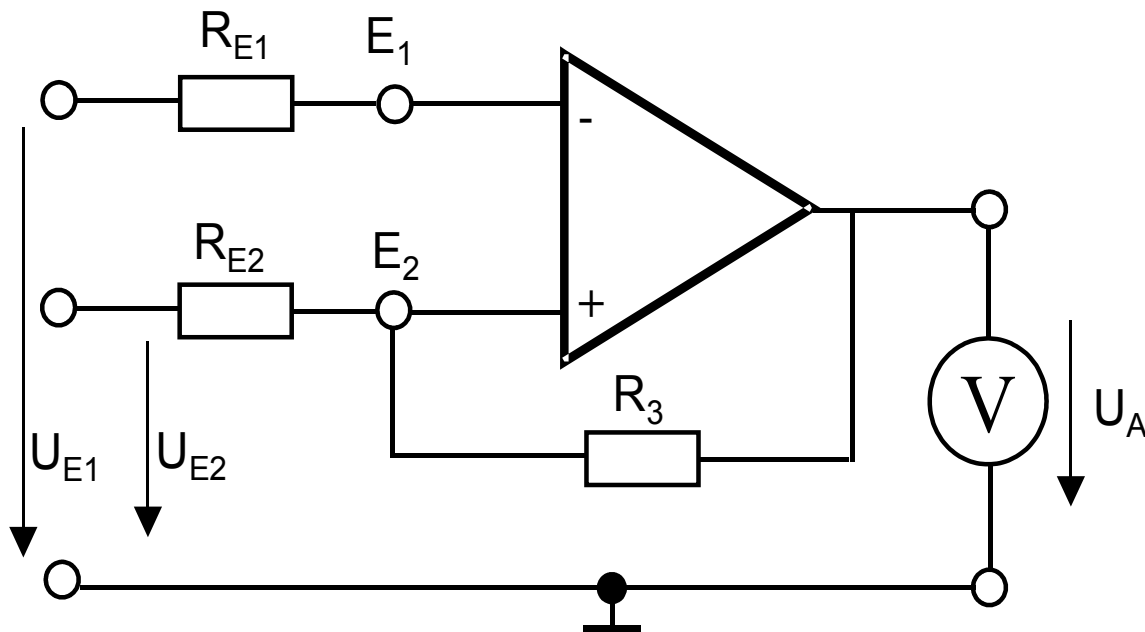
TO-92  
(DS18S20)

- \*  $V_{CC}$  optional von 3.3 ... 5V
- \* Genauigkeit : 0.5 Grad im Bereich von -55 bis +125 Grad
- \* 9 Bit Auflösung
- \* Programmierbare Zusatzfunktionen wie Alarm Temp. ....
- \* Anschluss Busfähig

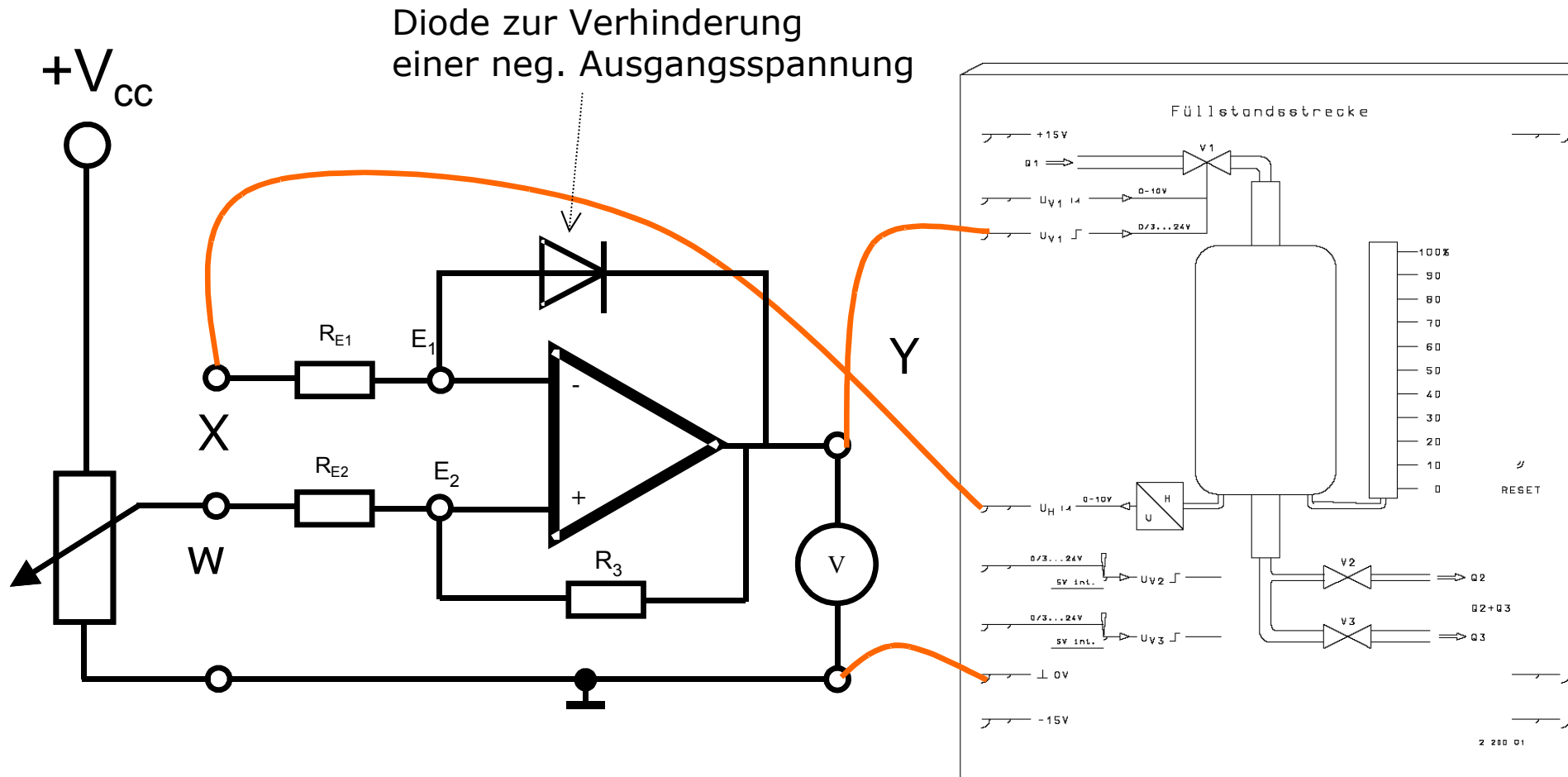
# Reglerschaltungen: Zweipunkt Regler mit Hysterese

Spannungs-Komparator  
mit Hysterese

$$U_H = \frac{R_{E2}}{R_{E2} + R_3} \Delta U_A$$



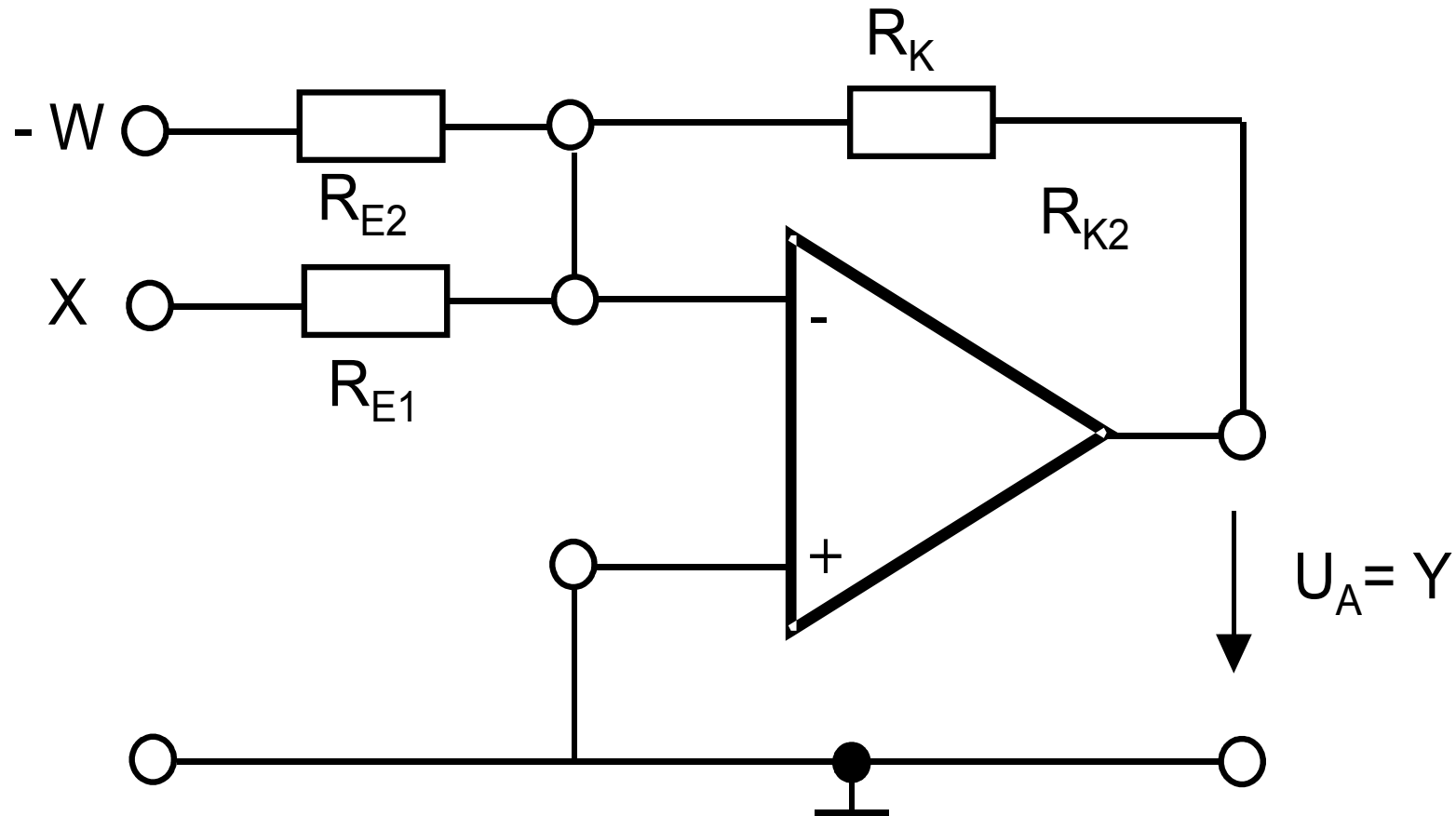
# Füllstandsregelung mit Zweipkt-Regler



Füllstandsregelung mit Zweipunktregler

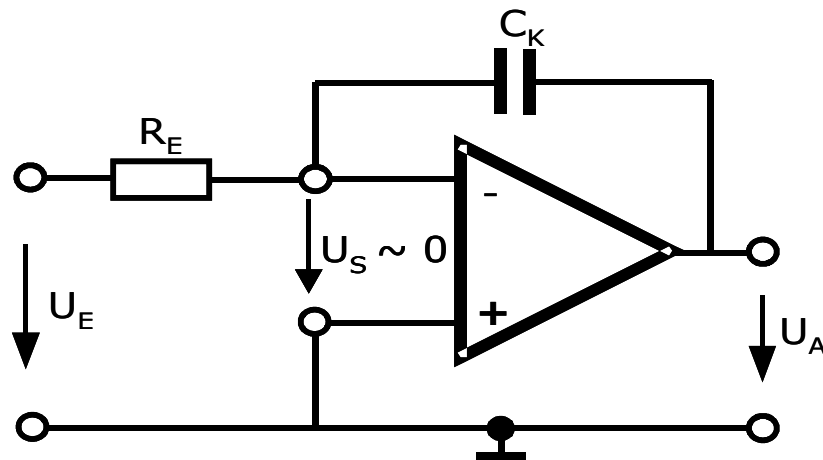
# Summierverstärker als P-Regler

Summierverstärker als P-Regler



# I – Regler mit OP

Der invertierende Verstärker  
mit Kondensator im Rückkoppelweg  
*Was ist nun anders?*

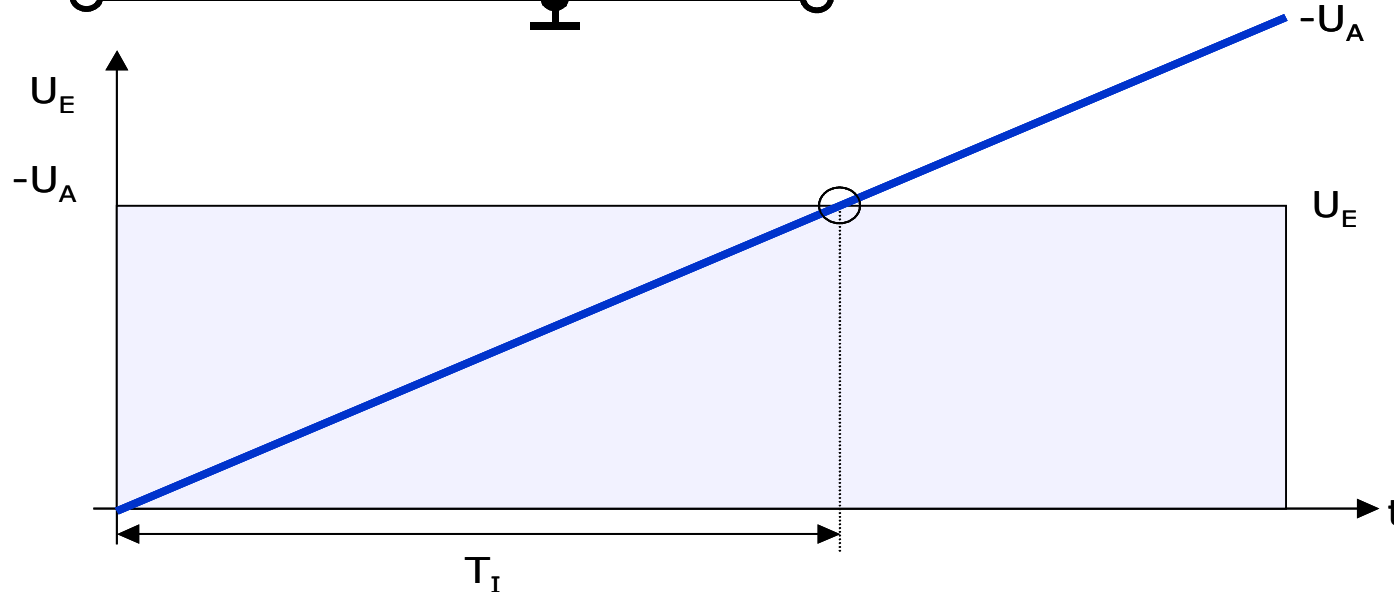


→ OP als Integrierer

$$I_E = U_E / R_E$$

$$(U_E / R_E) t = -(C_K U_A)$$

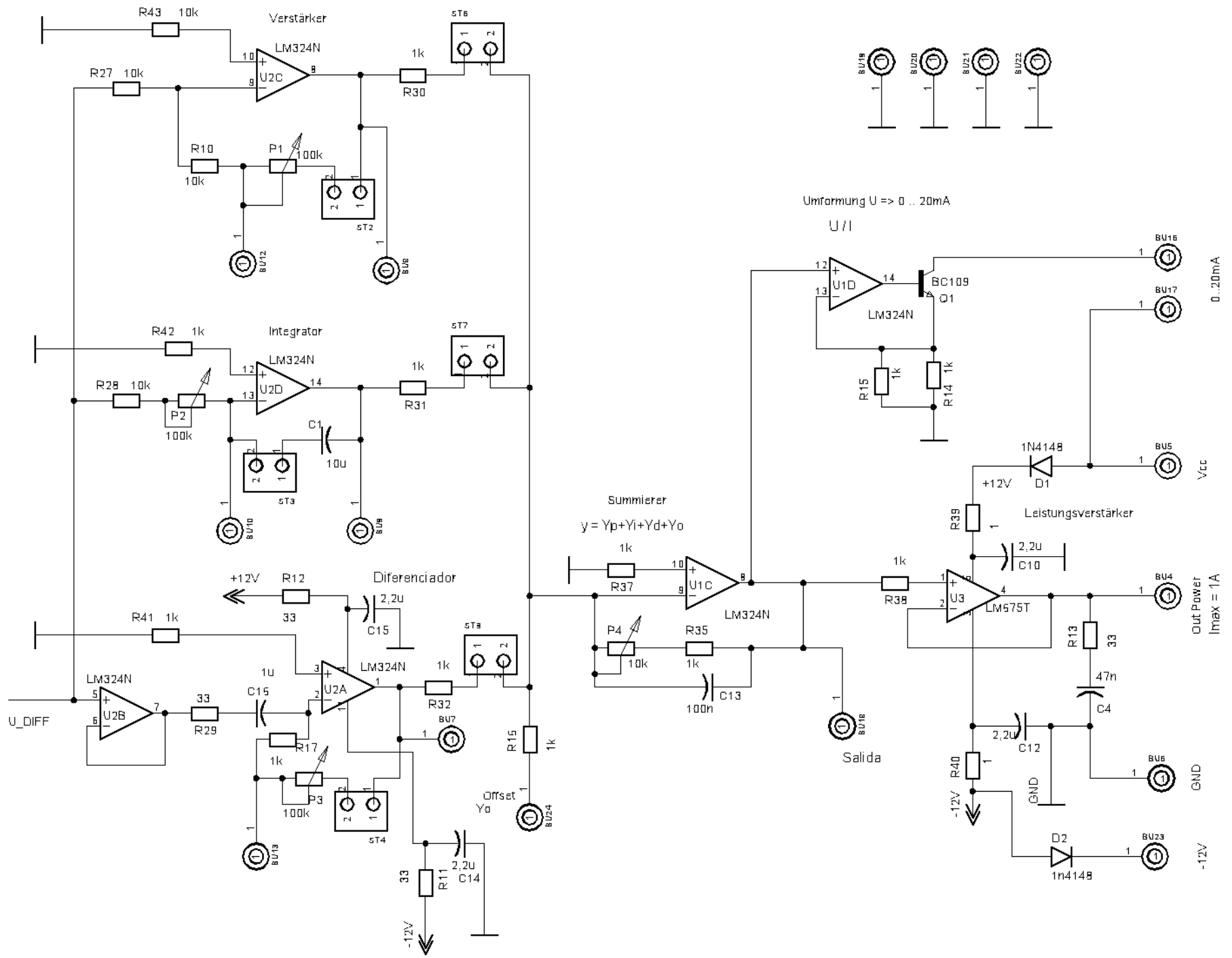
$$-U_A = \frac{1}{R_E * C_K} U_E t$$



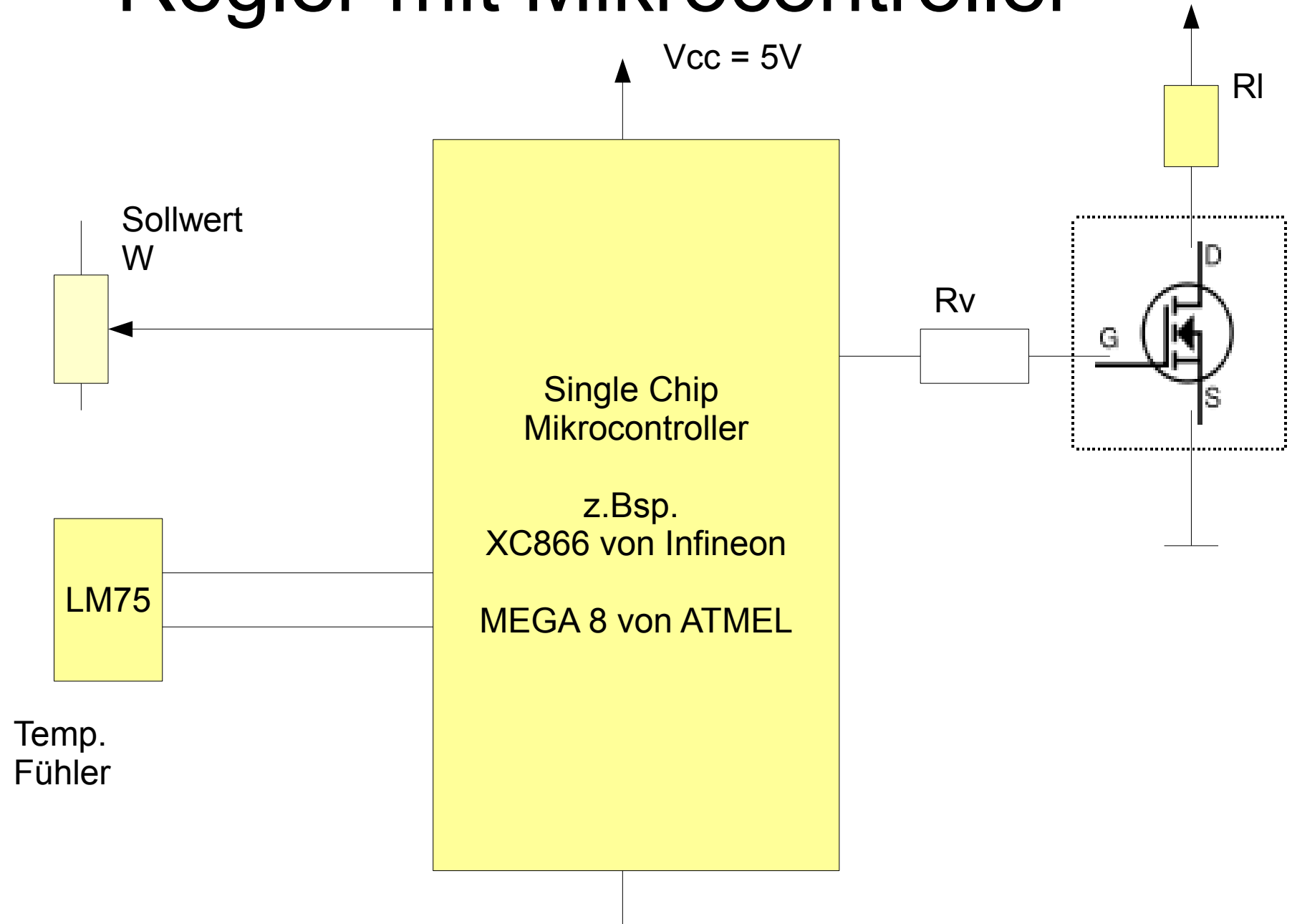
$$|u_E| = |u_A|$$

$$T_I = R_E * C_K$$

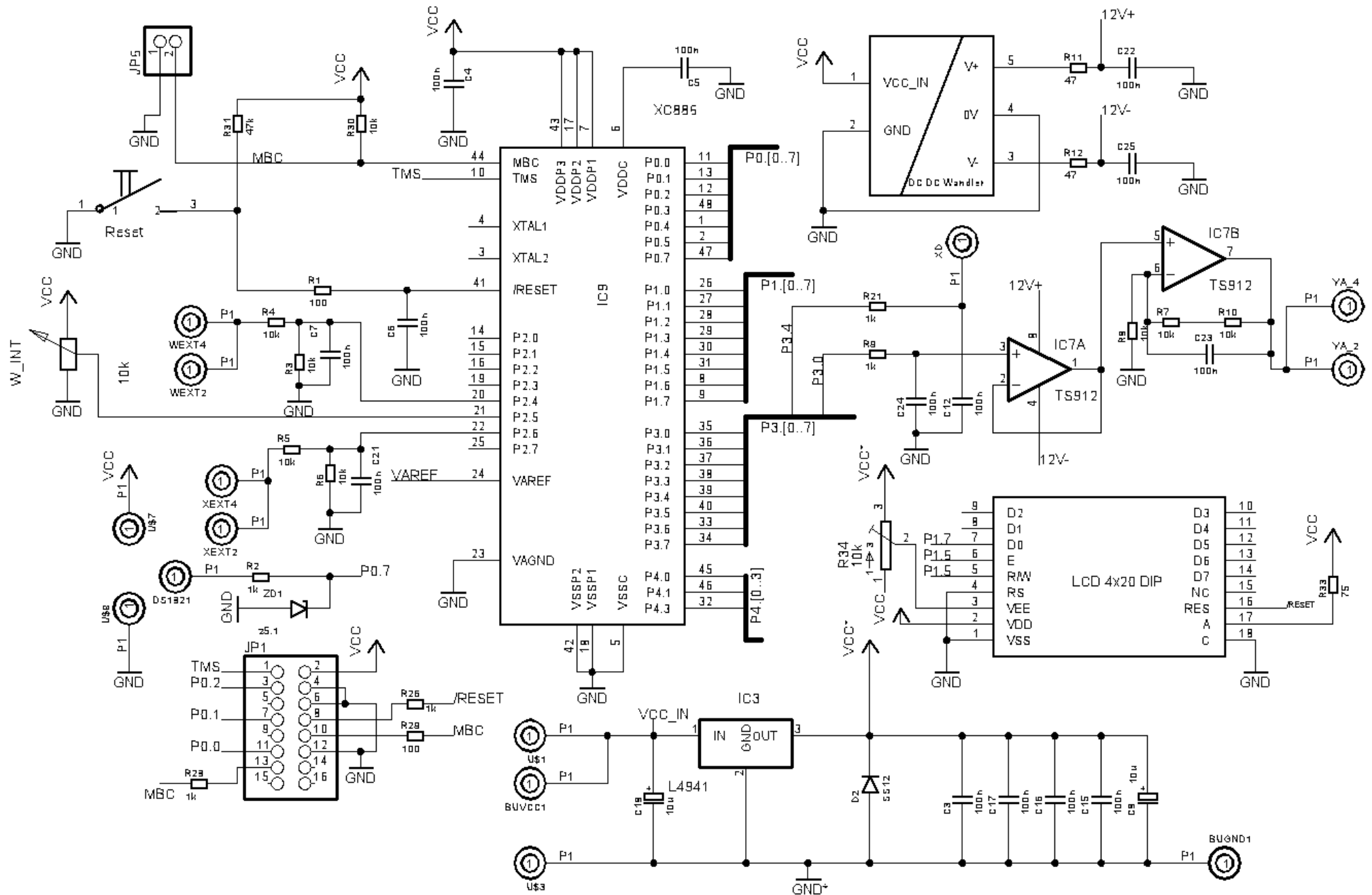
# Komplettschaltung didaktischer Analogregler



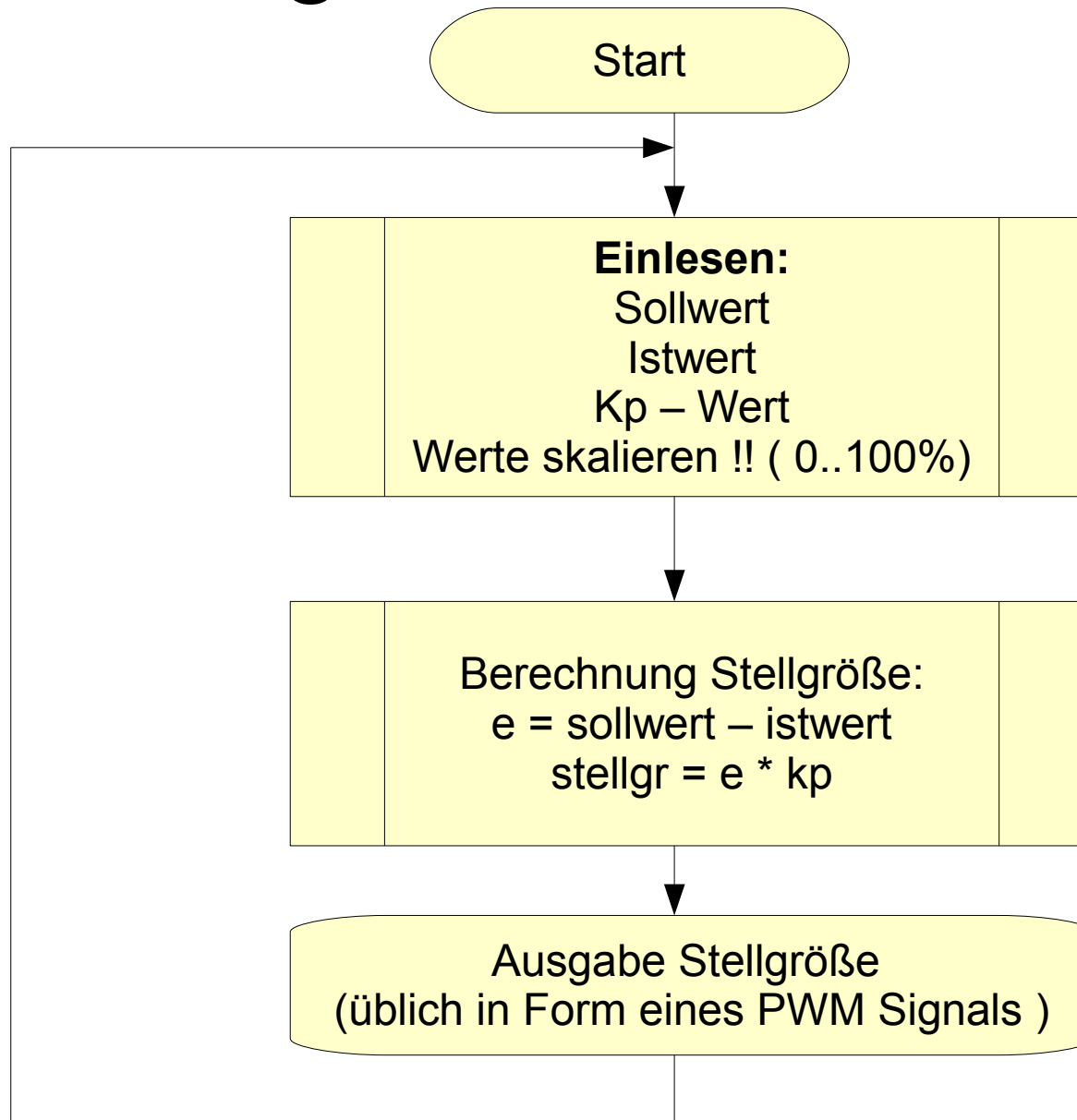
# Regler mit Mikrocontroller



# Beispiel Mikrocontroller Schaltung



# Regler mit uP => Software



# C Programm für P – Regler :

```
Istwert  = adcin ( analogkanal_4) ;  
Sollwert = adcin (analogkanal_5) ;
```

Einlesen des Sensorwertes  
/Sollwert – Poti über die  
Analogeingänge  
evtl. Skalierung notwendig

```
diff      = sollwert – istwert ;
```

```
stellgr   = diff * kp_wert ;
```

Regeldifferenz : mit  
Vorzeichen berechnen

Kp – Wert : Eingabe über Porti oder  
Taster ,  
Stellgröße => Ausgabe über PWM üblich  
Achtung : Stellgröße darf nicht größer  
100 % und nicht kleiner 0 % werden

# Programmierung PI Regler

Differenzengleichung für den zeitdiskreten PI Regler :

$$y_k = K_p * e + (K_p * T_a * e_{\text{summ}}) / T_n$$

mit  $y_k$  = Stellgröße

$K_p$  = Proportionalbeiwert

$T_a$  = Abtastzeit

$e_{\text{summ}}$  = Summe aller Regeldifferenzen

$T_n$  = Nachstellzeit

---

in der Programmiersprache C könnte der Code so aussehen :

**$e$**  =  **$sollw - istw$**  ;

**$esum$**  =  **$esum + e$**  ; // I Anteil , Vorzeichenbehaftet rechnen !!

**$stellgr$**  =  **$kp * diff + ( kp * esumm * Ta ) / Tn$**

Achtung : bei schneller Abtastzeit von z.Bsp. 1 mSek gibt der Zählerwert des I Anteiles sehr kleine Werte => es muss mit großer Genauigkeit / Auflösung gerechnet werden .

# PI Regler

## Vorteile des digitalen Reglers :

- \* genaue Berechnung und Darstellung der Regelgrößen möglich
- \* I Anteil ohne Drift oder Bauteiltoleranzen
- \* auch sehr große I Anteile gut realisierbar
- \* nur bei extrem schnellen Regelvorgängen ist eine analoge Schaltung von Vorteil
- \* Mikrocontroller mit hoher Rechenleistung werden immer billiger

# Dig. PID Algorithmus

Differenzengleichung für den zeitdiskreten PID Reglers :

$$y_k = K_p * e + \frac{(K_p * T_a * e_{\text{summ}})}{T_n} + \frac{(K_p * T_v)}{T_a} * (e - e_{\text{alt}})$$

mit  $y_k$  = Stellgröße

$K_p$  = Proportionalbeiwert

$T_a$  = Abtastzeit

$e_{\text{summ}}$  = Summe aller Regeldifferenzen

$T_n$  = Nachstellzeit

$(e - e_{\text{alt}})$  = Regeldifferenz von aktuellem Zeitpunkt minus der Regeldifferenz vom letzten Abtastzeitpunkt

Achtung : bei schnellen Abtastzeiten ist normalerweise das Ergebnis der Subtraktion von Regeldifferenzen kleiner als die Auflösung des AD – Wandlers => es müssen speziell bei langsamen Regelvorgängen hier auch langsamere Abtastzeiten  $T_a$  vorgesehen werden .