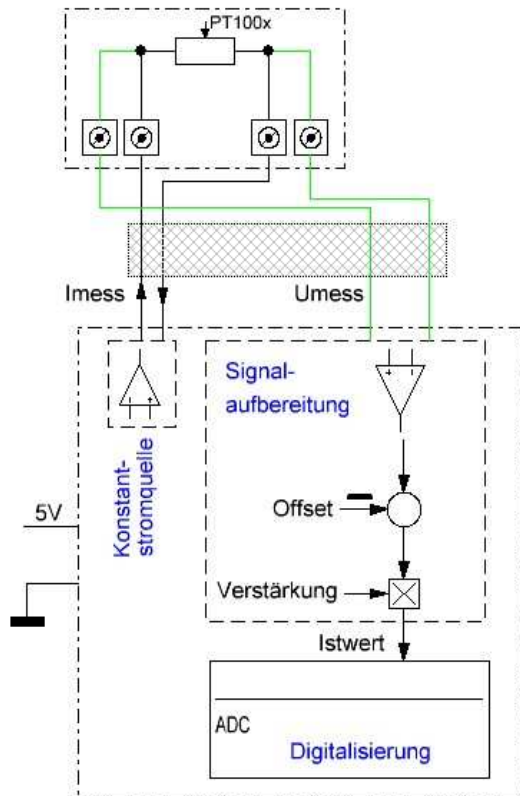


# Temperaturerfassung mit PT100x und 5V-Stromversorgung

## Prinzipschaltbild



Eine Konstantstromquelle [ $I_{mess}$ ] speist den Sensor. Die Spannung direkt am Sensor [ $U_{mess}$ ] wird erfasst und in den Messbereich für den ADC transformiert [ $Istwert$ ]. Dies ist eine der Bedingungen, um eine möglichst gute analoge Auflösung zu erhalten.

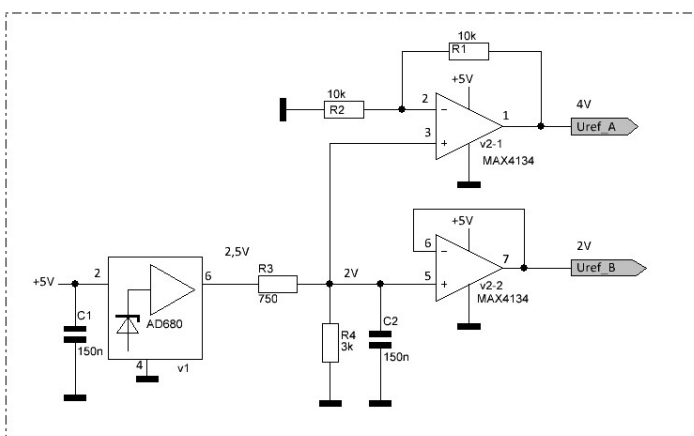
Im Betrieb benötigt man auch eine Ausfallerkennung für den Sensor. Diese erfolgt normalerweise über eine Einschränkung des Messbereiches. Es wird angenommen, dass die Erfassung gestört ist, wenn der Istwert unterhalb, bzw. oberhalb einer Spannungsgrenze liegt.

Zur Minimierung von leitungsgebundenen Störungen, werden alle Aus- und Eingänge über Schutzwiderstände geführt. Passive Hardwareglättungen filtern die Messwerte. Die Elektronikmasse ist nicht nach außen geführt.

Als Konstantstrom wird für PT100 Sensoren 2 mA, für PT1000 Sensoren, 1 mA empfohlen.

## Beschreibung der Hardware

### Referenzspannungen



Das Referenzelement AD680 erzeugt eine präzise 2,5 V Spannung. Die beiden OPs erzeugen daraus die Referenzspannungen 2 V und 4 V. Weil diese direkt in den Messwert eingehen wird ein Referenzelement statt der Stromversorgung verwendet.

Zusätzlich können sie zum Abgleich der Digitalisierung verwendet werden, so dass die Hardware und Software abgleichsfrei ausgeführt werden kann.

## Konstantstromquelle

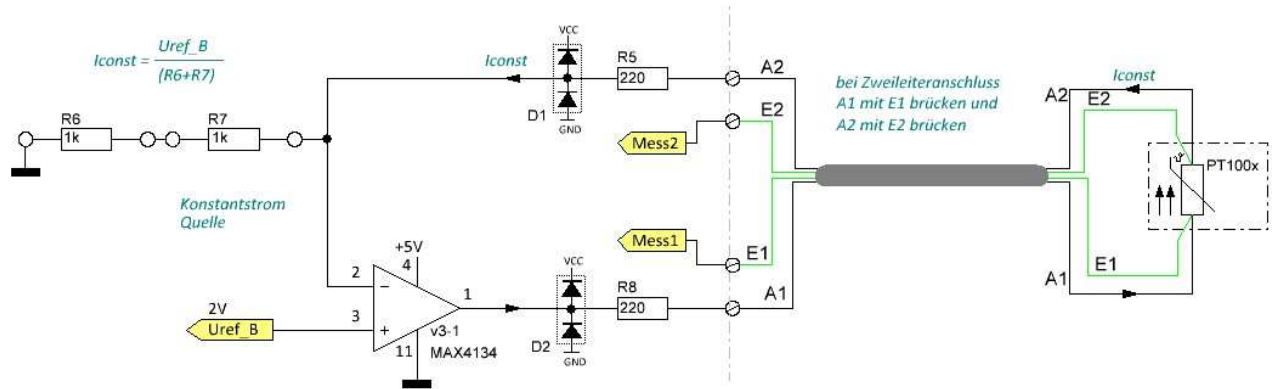


Bild 1: Konstantstromquelle

Jeder Temperatursensor wird von einer eigenen Konstantstromquelle mit dem Meßstrom gespeist. Der Temperatursensor kann mit Vier- oder Zweileiter-Verdrahtung angeschlossen werden. Der Vierleiteranschluss kann vor allem bei PT100 Sensoren notwendig werden, weil hier, wegen des niedrigen Sensorwiderstandes, der Leitungswiderstand bereits einen nennenswerten Einfluss auf die Messung haben kann. Über ein zweites Leitungspaar wird die Spannung direkt am Sensor auf hochohmige Eingänge der Erfassung geführt. Der Widerstandsverlauf des Sensors über der Temperatur ist in der Norm EN60751 (DIN 43760 Elektrische Thermometer) festgelegt.

$R_s$ : typischer Widerstandswert des Sensors bei 0°C in Ohm;

$R_T$ : Sensorwiderstand in Ohm, bei der Temperatur T in °C

T: Temperatur in °C

Konstanten:  $k_1 = 3,90802 \cdot 10^{-3}$   $k_2 = 0,580195 \cdot 10^{-6}$   $k_3 = 4,2735 \cdot 10^{-12}$

Berechnung  $R_T$  im Temperaturbereich von -200°C bis 0°C:

$$R_T = R_s \cdot [1 + k_1 \cdot T - k_2 \cdot T^2 - k_3 \cdot (T - R_s) \cdot T^3]$$

Berechnung  $R_T$  im Temperaturbereich von 0°C bis 850°C:

$$R_T = R_s \cdot [1 + k_1 \cdot T - k_2 \cdot T^2]$$

Rückrechnung der Temperatur (0°C bis 850°C) aus Sensor - Widerstandswert  $R_T$  (Ω)

$$T := \frac{1}{(2 \cdot (R_s \cdot k_2))} \cdot \left( R_s \cdot k_1 - \sqrt{R_s^2 \cdot k_1^2 - 4 \cdot R_s \cdot k_2 \cdot R_T + 4 \cdot R_s^2 \cdot k_2} \right)$$

## Messwerterfassung

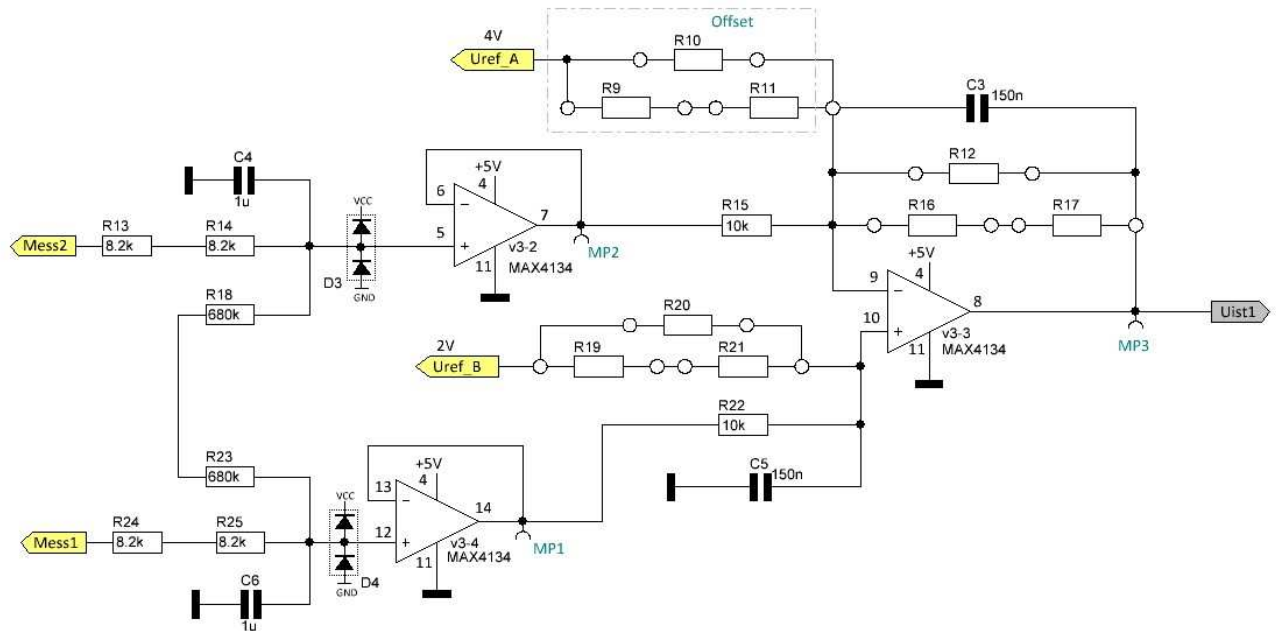


Bild 2: Messwerterfassung

Der temperaturabhängige Spannungsabfall am Meßwiderstand (Typ: PT100/PT1000) wird mit zwei von den Stromleitungen unabhängigen Meßdrähten, an den zwei Meßeingängen "E1/Mess1" und "E2/Mess2" gemessen. Dabei sind die Meßleitungen "Mess2" der Stromsenke "A2" und "Mess1" der Stromquelle "A1" zuzuordnen (siehe Bild 1). Nur so ist die richtige Polarität des Meßsignales gewährleistet. Das Spannungspotential jedes Meßsignales wird über RC-Kombinationen mit der Zeitkonstante  $(R_{24}+R_{25})$  und  $C_6$ , sowie  $(R_{13}+R_{14})$  und  $C_4$ , passiv geglättet und über die separaten Spannungsfolger (v3-2, v3-4) hochohmig entkoppelt. Der nachfolgende Differenzverstärker hat einen variabel bestückbare, aber fest eingestellte Verstärkung und Offset. Offset und Verstärkung muss so ausgelegt sein, dass das Istwertsignal ( $U_{ist1}$ ) innerhalb des Spannungsbereiches 0V bis 5V bleibt.

### Erkennung Drahtbruch und Sensorausfall

Man wählt den Temperaturbereich für das Istwertsignal ( $U_{ist1}$ ) etwas größer als notwendig.

Beispiel:

der geforderte Messbereich sei  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $100^{\circ}\text{C}$ . Jetzt dimensioniert man die Verstärkung und den Offset so, dass bei der niedrigsten Temperatur der Istwert ( $U_{ist1}$ ) etwa 0,5V beträgt, bei der höchsten Temperatur etwa 4,5V. Immer wenn der Istwert  $U_{ist1}$  unterhalb 0,5V oder oberhalb 4,5V liegt, kann der Temperaturkanal als gestört gekennzeichnet werden.

Bei Drahtbruch in der Meßleitung sorgen die Widerstände  $R_{18}$  und  $R_{23}$  dafür, dass sich die Spannung der Glättungskondensatoren  $C_4$  und  $C_6$  auf den gleichen Wert ausgleicht und damit die Pegelüberwachung ansprechen kann.

## EMV-Maßnahmen

Der Aufwand hängt sehr stark von den Umgebungsbedingungen ab. Das vorgestellte Hardwaredesign ist, so weit möglich, angelehnt an ein Design aus der Antriebstechnik (PWR mit IGBT und 3ph. Asynchronmotor, Zwischenkreisspannung 2,8kV). Modul-, Motor-, Zuluft-, Abluft und Umgebungstemperaturen sind zu erfassen. Das bedeutet auch, daß die Störeinkopplungen entsprechend hoch sind.

- Die Ausgänge der Konstantstromquelle sind über Schutzwiderstände (R5, R8) nach außen geführt. Diese bedämpfen ebenfalls Einkopplungen auf die Konstantstromquelle.
- Die Elektronikmasse wird nicht nach außen geführt.
- Glättungen für die Meßsignale Umes1 (R13, R14, C4) und Umes2 (R24, R25, C6). Wichtig dabei ist, dass diese als passive Glättungen ausgeführt sind, denn nur diese helfen gegen hochfrequente Einkopplungen (Audio-Rectification-Effekt).
- zur Erhöhung der Kriechstrecken für mögliche Fehlerfälle, sind die Glättungswiderstände und Entladewiderstände geteilt, weil ein Sensor oder Stecker in einem Fahrzeug auch mal abfallen kann.

Man muss sich aber vor Augen halten, dass die Einschränkung des analogen Arbeitsbereiches auf 5 V, im Gegensatz zum „normalen“ analogen Arbeitsbereich von  $\pm 10$  V, auch die Empfindlichkeit gegen Störeinkopplungen um den Faktor 4 erhöht.

## Bestückungsvarianten für verschieden Sensoren und Temperaturbereiche

Alle Widerstände, Metallschicht mit 0,1% Toleranz.

### Variante PT100 und Meßbereich 0°C bis 100°C

Meßstrom 2mA: R6 = 0  $\Omega$ ; R7 = 1 k $\Omega$   
Offset: R9 = 0  $\Omega$ ; R11 = 68 k $\Omega$ ; R10 = 510 k $\Omega$   
Verstärkung: R16 = 470 k $\Omega$ ; R17 = 0  $\Omega$ ; R12 = nicht bestückt  
R19 = R16; R21 = R17; R20 = R12

analoge Istwerte

Temperatur	R Sensor	Mess1	Mess2	MP1	MP2	Uist1
0 °C	100 $\Omega$	2.64 V	2.44 V	2.638 V	2.442 V	401.93 mV
25.686 °C	110 $\Omega$	2.66 V	2.44 V	2.657 V	2.443 V	1.471 V
51.572 °C	120 $\Omega$	2.688 V	2.44 V	2.677 V	2.443 V	2.54 V
77.661 °C	130 $\Omega$	2.7 V	2.44 V	2.697 V	2.443 V	3.61 V
100 °C	138.506 $\Omega$	2.717 V	2.44 V	2.714 V	2.443 V	4.519 V

*Daten basieren auf Simulation mit PSpice*

### Variante PT100 und Meßbereich -40°C bis 100°C

Meßstrom 2mA: R6 = 0  $\Omega$ ; R7 = 1 k $\Omega$   
Offset: R9 = 0  $\Omega$ ; R11 = 82 k $\Omega$ ; R10 = 430 k $\Omega$   
Verstärkung: R16 = 330 k $\Omega$ ; R17 = 0  $\Omega$ ; R12 = nicht bestückt  
R19 = R16; R21 = R17; R20 = R12

analoge Istwerte

Temperatur	R Sensor	Mess1	Mess2	MP1	MP2	Uist1
-40 °C	84.271 $\Omega$	2.609 V	2.44 V	2.607 V	2.442 V	667.83 mV
0 °C	100 $\Omega$	2.64 V	2.44 V	2.638 V	2.442 V	1.826 V
25.686 °C	110 $\Omega$	2.66 V	2.44 V	2.657 V	2.443 V	2.562 V
51.572 °C	120 $\Omega$	2.68 V	2.44 V	2.677 V	2.443 V	3.298 V
77.661 °C	130 $\Omega$	2.7 V	2.44 V	2.697 V	2.443 V	4.035 V
100 °C	138.506 $\Omega$	2.717 V	2.44 V	2.714 V	2.443 V	4.660 V

Daten basieren auf Simulation mit PSpice

**Variante PT1000 und Meßbereich 0°C bis 100°C**

Meßstrom 1mA: R6 = 1 k $\Omega$ ; R7 = 1 k $\Omega$   
 Offset: R9 = 0  $\Omega$ ; R11 = 8.2 k $\Omega$ ; R10 = 150 k $\Omega$   
 Verstärkung: R16 = 56 k $\Omega$ ; R17 = 0  $\Omega$ ; R12 = 680 k $\Omega$   
 R19 = R16; R21 = R17; R20 = R12

analoge Istwerte

Temperatur	R Sensor	Mess1	Mess2	MP1	MP2	Uist1
0 °C	1000 $\Omega$	3.219 V	2.22 V	3.208 V	2.232 V	473.2 mV
25.686 °C	1100 $\Omega$	3.319 V	2.22 V	3.306 V	2.233 V	1.528 V
51.572 °C	1200 $\Omega$	3.419	2.22 V	3.405 V	2.234 V	2.583 V
77.661 °C	1300 $\Omega$	3.519 V	2.22 V	3.504	2.235 V	3.637 V
100 °C	1385 $\Omega$	3.604 V	2.22 V	3.587 V	2.236 V	4.533 V

Daten basieren auf Simulation mit PSpice

**Variante PT1000 und Meßbereich -40°C bis 100°C**

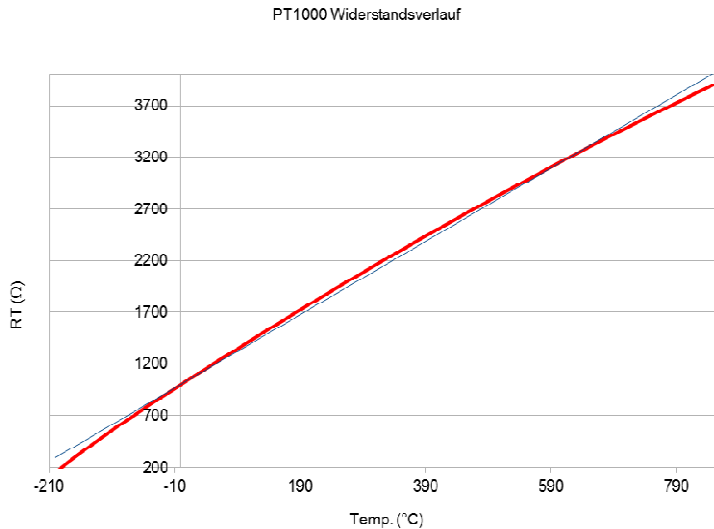
Meßstrom 1mA: R6 = 1 k $\Omega$ ; R7 = 1 k $\Omega$   
 Offset: R9 = 0  $\Omega$ ; R11 = 10 k $\Omega$ ; R10 = 330 k $\Omega$   
 Verstärkung: R16 = 43 k $\Omega$ ; R17 = 0  $\Omega$ ; R12 = nicht bestückt  
 R19 = R16; R21 = R17; R20 = R12

analoge Istwerte

Temperatur	R Sensor	Mess1	Mess2	MP1	MP2	Uist1
-40 °C	842.47 $\Omega$	3.062 V	2.22 V	3.052 V	2.23 V	456 mV
0 °C	1000 $\Omega$	3.219 V	2.22 V	3.208 V	2.232 V	1.675 V
25.686 °C	1100 $\Omega$	3.319 V	2.22 V	3.306 V	2.233 V	2.449 V
51.572 °C	1200 $\Omega$	3.419 V	2.22 V	3.405 V	2.234 V	3.223 V
77.661 °C	1300 $\Omega$	3.519 V	3.504 V	3.504 V	2.235 V	3.997 V
100 °C	1385 $\Omega$	3.604 V	3.587 V	3.587 V	2.236 V	4.654 V

Daten basieren auf Simulation mit PSpice

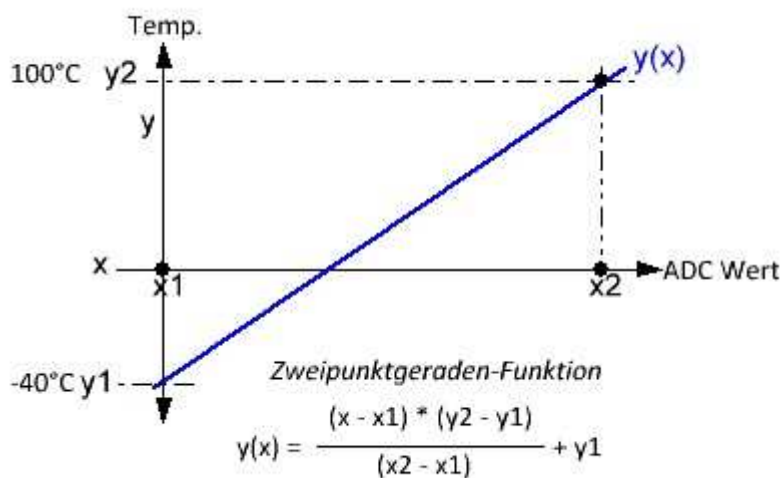
## Linearisierung bzw. Skalierung des Meßwertes



Im Diagramm ist der Widerstandsverlauf eines PT1000 Sensors über der Temperatur dargestellt, zusätzlich eine lineare Trendlinie, um einen (optisch) besseren Vergleich zu ermöglichen.

Weil der Istwert für die Digitalisierung ( $U_{ist1}$ ), neben dem Offset, auch noch mit einer Verstärkung versehen ist, erhält man natürlich auch eine entsprechend größere Abweichung. Die Digitalisierung selbst erfolgt über einen ADC, mit einer Datenbreite von 10-Bit (z.B. ATmega328P).

Eine Linearisierung und Skalierung des Istwertes macht man am Besten in der Software, z.B. mit Hilfe einer Zweipunktgeraden – Funktion.

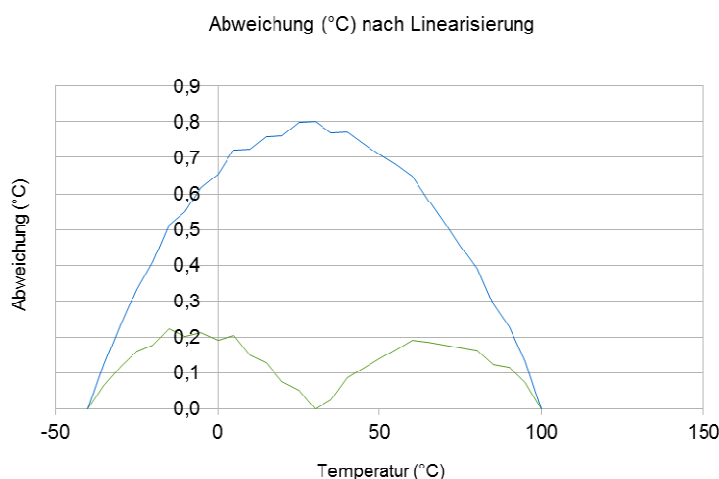


Die Gerade ist durch die Punkte  $x_1$ ,  $x_2$  sowie  $y_1$  und  $y_2$  definiert. Jetzt lässt sich jeder Punkt  $y(x)$  auf der Geraden berechnen. Setzt man  $x_1$  und  $x_2$  auf die ADC-Werte für  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $100^{\circ}\text{C}$  und  $y_1$  und  $y_2$  auf die Temperaturwerte  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $100^{\circ}\text{C}$ , so lässt sich aus dem ADC-Istwert direkt die entsprechende Temperatur in C berechnen. Statt  $^{\circ}\text{C}$  kann man natürlich auch ein anderes Istwertformat wählen z.B.  $(^{\circ}\text{C} * 10)$  ergäbe die Temperatur in  $0,1^{\circ}\text{C}$ , aber als Integerwert.

Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht die Linearisierung und Skalierung des Istwertes.

Temp. (°C)	Widerstand (Ω)	Istwert (V)	Istwert 10-Bit ADC	lin.Istw. Zwei ZPG (°C)	lin.Istw. Eine ZPG (°C)	Abweichung zwei ZPG (°C)	Abweichung eine ZPG (°C)
-40	842,466	0,456	93	-40,0	-40,0	0,0	0,0
-35	862,319	0,610	125	-34,9	-34,9	0,1	0,1
-30	882,118	0,763	156	-29,9	-29,8	0,1	0,2
-25	901,868	0,916	188	-24,8	-24,7	0,2	0,3
-20	921,573	1,068	219	-19,8	-19,6	0,2	0,4
-15	941,235	1,221	250	-14,8	-14,5	0,2	0,5
-10	960,857	1,372	281	-9,8	-9,5	0,2	0,5
-5	980,445	1,524	312	-4,8	-4,4	0,2	0,6
0	1000,000	1,675	343	0,2	0,7	0,2	0,7
5	1019,526	1,827	374	5,2	5,7	0,2	0,7
10	1039,022	1,977	405	10,2	10,7	0,2	0,7
15	1058,490	2,128	436	15,1	15,8	0,1	0,8
20	1077,928	2,278	467	20,1	20,8	0,1	0,8
25	1097,338	2,429	497	25,1	25,8	0,1	0,8
30	1116,718	2,579	528	30,0	30,8	0,0	0,8
35	1136,070	2,728	559	35,0	35,8	0,0	0,8
40	1155,392	2,878	589	40,1	40,8	0,1	0,8
45	1174,686	3,027	620	45,1	45,7	0,1	0,7
50	1193,951	3,176	650	50,1	50,7	0,1	0,7
55	1213,186	3,325	681	55,2	55,7	0,2	0,7
60	1232,392	3,474	711	60,2	60,6	0,2	0,6
65	1251,570	3,622	742	65,2	65,6	0,2	0,6
70	1270,718	3,770	772	70,2	70,5	0,2	0,5
75	1289,838	3,918	802	75,2	75,5	0,2	0,5
80	1308,928	4,066	833	80,2	80,4	0,2	0,4
85	1327,990	4,213	863	85,1	85,3	0,1	0,3
90	1347,022	4,361	893	90,1	90,2	0,1	0,2
95	1366,026	4,508	923	95,1	95,1	0,1	0,1
100	1385,000	4,654	953	100,0	100,0	0,0	0,0

Daten basieren auf Simulation mit PSpice



Im Diagramm ist die Linearisierung über eine und zwei Zweipunktgeraden dargestellt.

Verwendet man eine ZPG mit den Punkten

$x_1 = 93_{\text{ADC}}$ ;  $x_2 = 953_{\text{ADC}}$ ;  $y_1 = -40^{\circ}\text{C}$ ;  $y_2 = 100^{\circ}\text{C}$

man erhält maximal  $0,8^{\circ}\text{C}$  Abweichung.

Im Bereich 30 bis  $100^{\circ}\text{C}$  benutzt man

$x_1 = 528_{\text{ADC}}$ ;  $x_2 = 953_{\text{ADC}}$ ;  $y_1 = 30^{\circ}\text{C}$ ;  $y_2 = 100^{\circ}\text{C}$

und man erhält maximal etwas mehr als  $0,2^{\circ}\text{C}$  Abweichung.

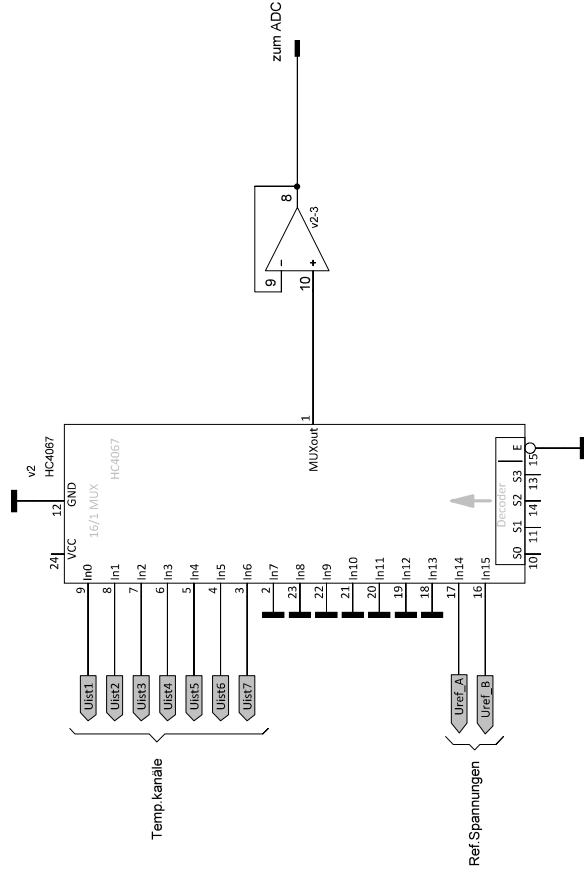
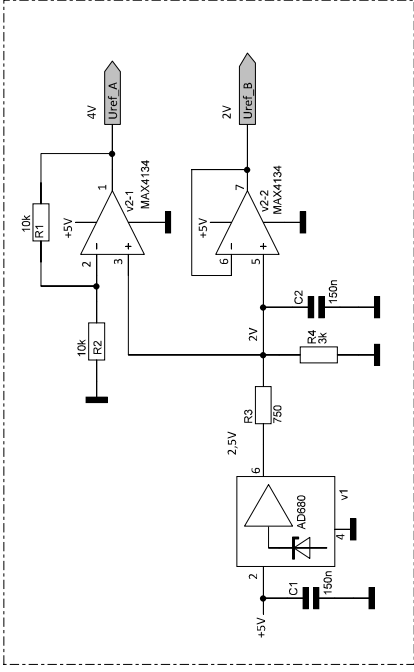
### **Abkürzungen/Anmerkungen**

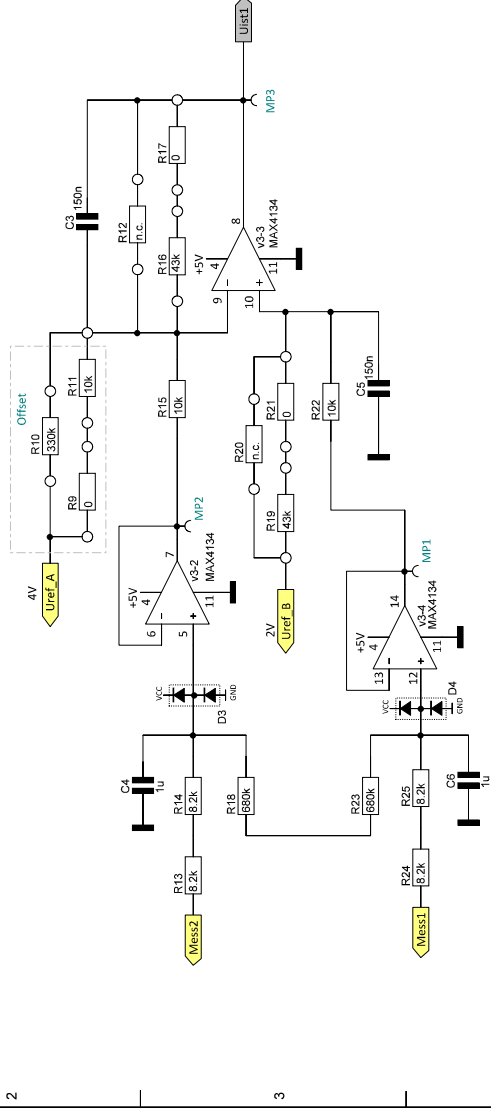
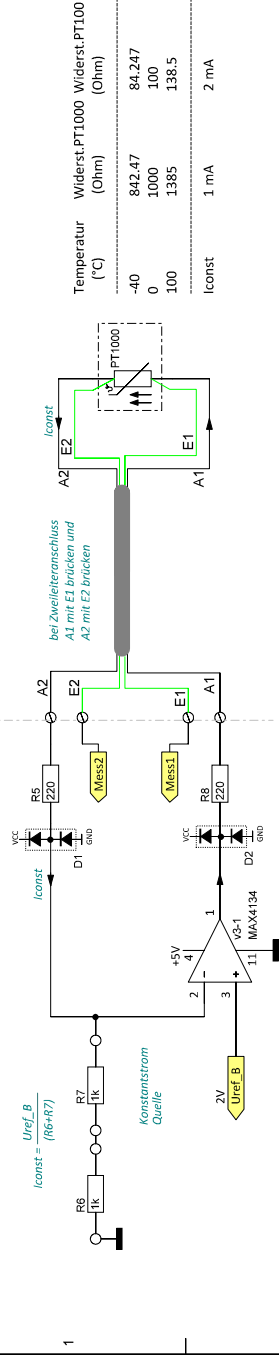
A1     ADC: AnalogDigitalConverter

A2     Datenbreite ADC ATmega328P kann auch auf 8-Bit reduziert werden.

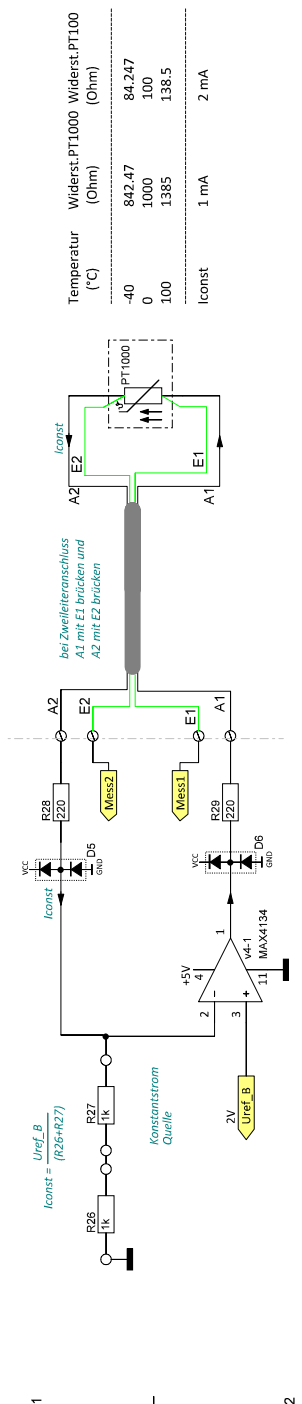
A3     ZPG: Zweipunktgeraden-Funktion



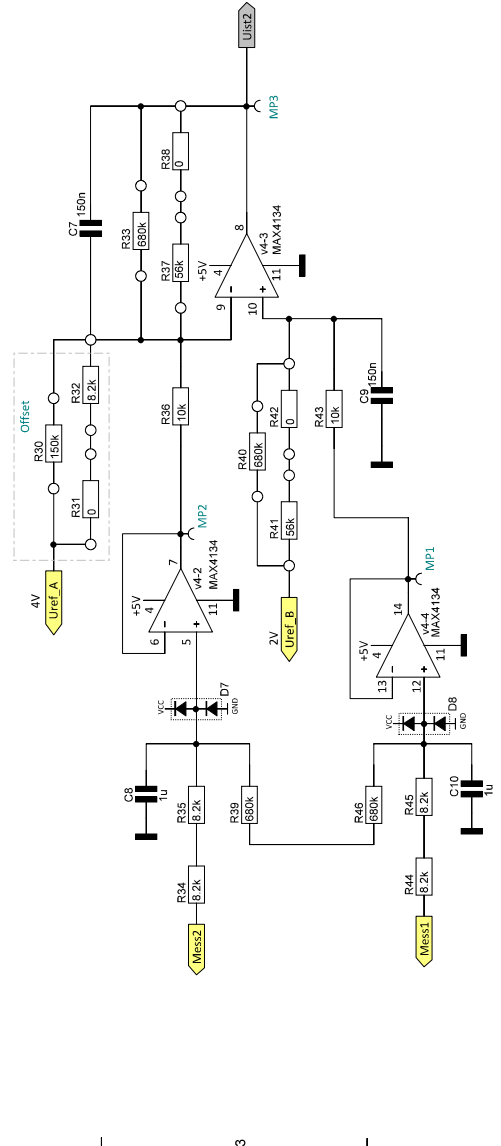


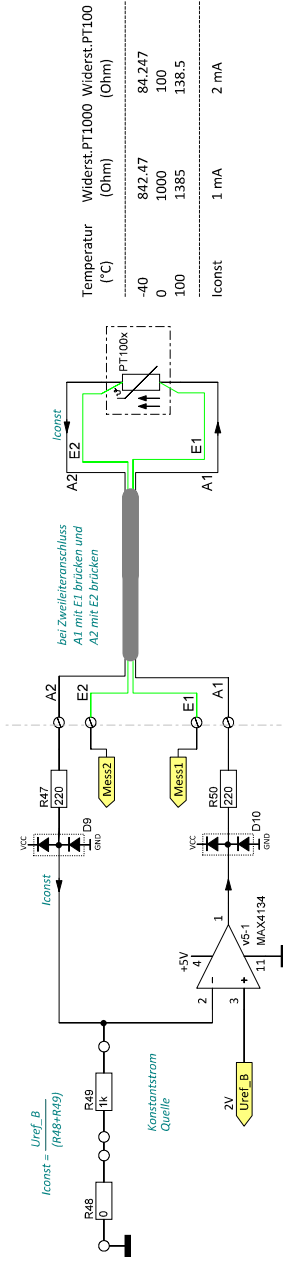


Temperatur (°C)	Widerst.PT1000 (Ohm)	Widerst.PT100 (Ohm)
-40	842.47	84.247
0	1000	100
100	1385	138.5
Iconst	1 mA	2 mA



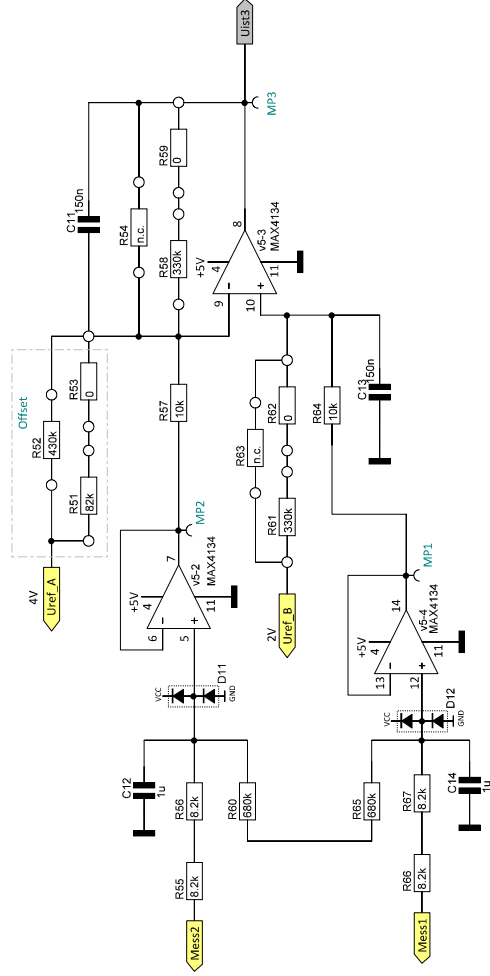
Temperatur (°C)	Widerst.PT1000 (Ohm)	Widerst.PT1000 (Ohm)
-40	842.47	84.247
0	1000	100
100	1385	138.5
Iconst	1 mA	2 mA

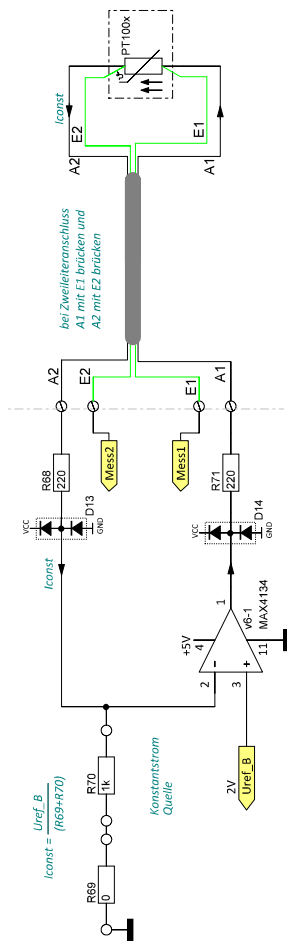




Temperatur (°C)	Widerst.PT1000 (Ohm)	Widerst.PT100 (Ohm)
-40	842.47	84.247
0	1000	100
100	1385	138.5

Iconst 1 mA 2 mA





Temperatur (°C)	Widerst.PT1000 (Ohm)	Widerst.PT100 (Ohm)
-40	842.47	84.247
0	1000	100
100	1385	138.5

Iconst 1 mA 2 mA

