

# Temperatursensoren

## Vom Thermoelement bis zum Digitalsensor

Temperatursensoren sind allgegenwärtige Bauteile, die Temperaturen der jeweils umgebenden Medien bzw. von Gegenständen aufnehmen und als elektrisches Signal in vielfältigen Formen ausgeben – vom einfachen Spannungsverlauf bis hin zum vollständigen digitalen Wert für die direkte Weiterverarbeitung in der digitalen Welt. Wir betrachten, primär aus praktischer Anwendersicht des Elektroniklers, die Eigenschaften der für ihn wichtigsten Arten von Temperatursensoren, und zeigen anhand einiger Anwendungen, wie man die Signale analoger und digitaler Sensoren auswerten kann.



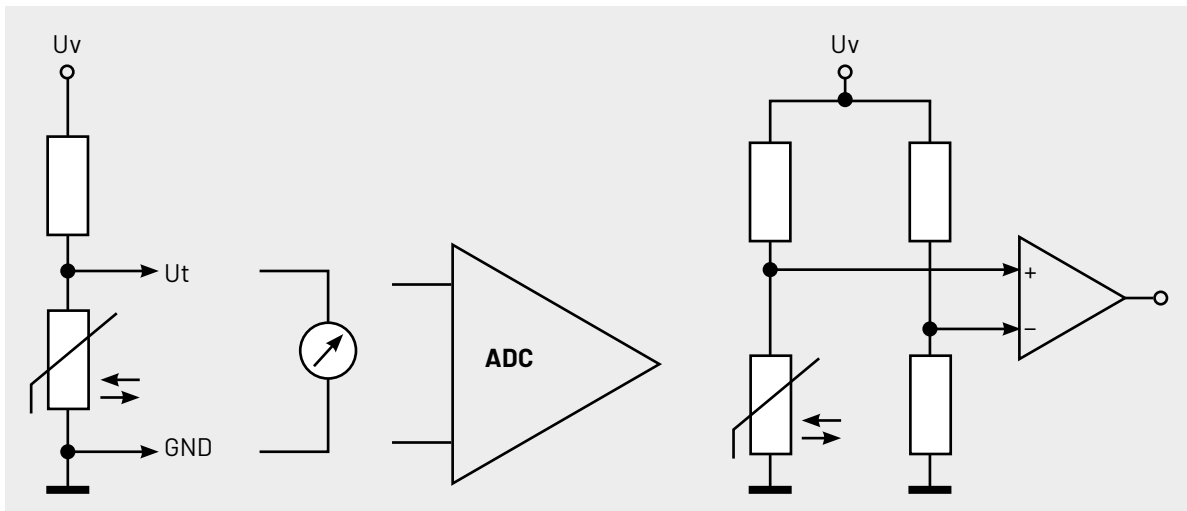
### Temperaturabhängige Widerstände

Zu den verbreitetsten und besonders einfach auswertbaren Temperatursensoren zählen diverse Arten von temperaturabhängigen Widerständen. Sie liefern je nach Material, aus dem sie bestehen, bei Temperaturveränderungen eine Widerstandsände-

rung, entsprechend dem Widerstandsverlauf des jeweiligen Materials. Diese Widerstandsänderung wird dann durch nachfolgende Auswerteschaltungen verarbeitet.

Betrachten wir jeweils kurz die einzelnen und wichtigsten Arten dieser Widerstände.

Bild 1: Grundschal-tungen für das Auswerten eines Thermistors mit einfachem Spannungsteiler und in einer Messbrücke



**Der Thermistor**

„Thermistor“ ist der Oberbegriff für einen Widerstand, der sich genau entsprechend einer bestimmten Kennlinie in seinem Wert verändert, wenn sich seine Temperatur modifiziert.

Bild 1 zeigt das Schaltzeichen sowie die Art der grundsätzlichen Gewinnung einer zum verändernden Widerstandswert des Thermistors proportionalen Signalspannung über einen Spannungsteiler. Diese Signalspannung kann direkt über ein analoges Messinstrument angezeigt oder über einen Analog-digital-Wandler (ADC) für eine digitale Auswertung verarbeitet werden. Unter [1] wird detailliert beschrieben, wie man einen Thermistor mit einem Arduino auswertet.

Vielfach wird auch die Messung in einer Messbrücke (Bild 1 rechts) angewandt. Hier erhält man durch die Widerstandskombination mit drei bekannten Widerständen und zwei kombinierten Spannungsteilern eine hohe Messgenauigkeit und kann den Nachteil der nicht linearen Kennlinie auch weitgehend kompensieren.

Die Widerstandsangabe des Thermistors bezieht sich immer auf eine vom Hersteller angegebene Ausgangstemperatur, meist 25 °C.

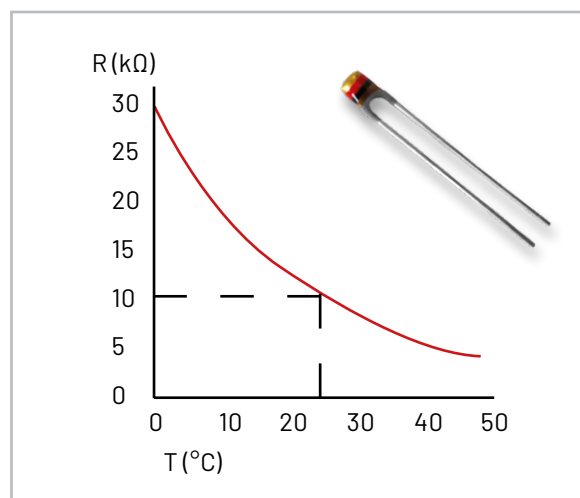


Bild 2: Typische Kennlinie eines NTC – hier eines NTC, der 10 kΩ bei 25 °C hat. Das Produktbild zeigt eine verbreitete Bauform des NTC.

**Der Heißeleiter (NTC)**

Thermistoren unterteilen sich in zwei Hauptgruppen, da ist einmal der Heißeleiter (NTC), dessen Widerstand sinkt, je wärmer er wird. Das heißt, er weist einen negativen Temperaturkoeffizienten auf. Bild 2 zeigt neben einer typischen NTC-Bauform die charakteristische Kennlinie eines NTC. Hier sieht man deutlich das nicht lineare Verhalten des Heißeleiters – ein Nachteil, den man mit kompensierenden Maßnahmen, z. B. Linearisierung per Software-Tabelle oder zusätzlichen Bauelementen, ausgleichen muss. Deshalb liefern die Hersteller im Datenblatt des Bauteils eine Tabelle für die Umrechnung mit. Der Heiße-

leiter ist mit seinem Einsatzbereich bis etwa 250 °C ein Allrounder in der Temperaturmesstechnik – er sticht u. a. durch schnelles Ansprechen und hohe Messempfindlichkeit hervor. Allerdings hat er auch Eigenschaften, die ihn für hochgenaue, wiederholbare Messungen weniger einsetzbar machen: Die Konstanz der Messwerte über längere Einsatzzeiträume ist vor allem unter wechselnden Umgebungsbedingungen gering. Deshalb setzt man das preiswerte Bauelement auch vorwiegend in Schaltungen ein, in denen es nicht auf höchste Genauigkeit ankommt, sondern etwa zur Signalisierung bei Erreichen von Grenzwerten.

Neben dem Einsatz als Messsensor findet man den NTC auch im Einsatz als Einschaltstrombegrenzer. Hier wird er für kurze Zeit einer Last vorgeschaltet, die im Einschaltmoment einen vielfach höheren Strom aufnimmt als im Betrieb. Um hier Leitungen nicht zu überlasten und Leitungsschutzschalter nicht unnötig auszulösen, setzt man den NTC ein. Er begrenzt im kalten Zustand unmittelbar nach dem Einschalten den Strom und verringert danach seinen Widerstand. Typische Anwendung sind Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten, Motoren und Netzteile (Bild 3). Bei Motoren wird so ein Sanftanlauf realisiert.

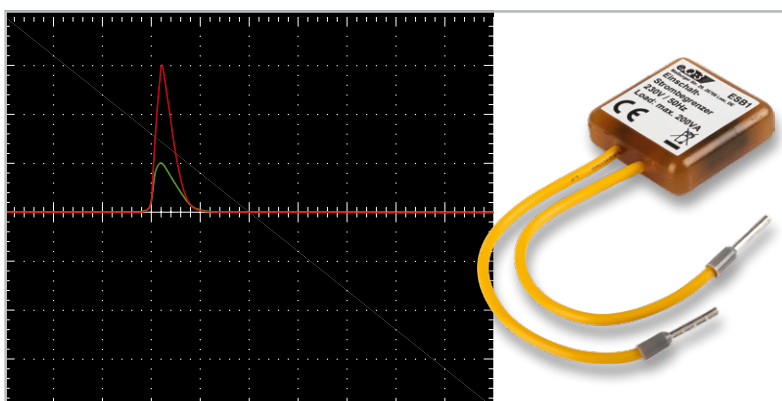


Bild 3: Ein NTC ist das wesentliche Bauteil eines Einschaltstrombegrenzers. Im Oszilloskopbild sieht man deutlich dessen Wirkung.

### Der Kaltleiter (PTC)

Die zweite Thermistor-Art ist der PTC – er erhöht seinen Widerstand, je stärker er erwärmt wird (positiver Temperaturkoeffizient), und wird deshalb als Kaltleiter bezeichnet. Hier kommen vorwiegend reine Metalle wie z. B. Platin zum Einsatz, aber auch andere stromleitende Materialien. Platinwiderstände findet man z. B. mit der Reihenbezeichnung Pt100 oder Pt1000, sie haben im Gegensatz zum NTC eine deutlich linearere Kennlinie (Bild 4), sind im Einsatz sehr präzise und auch über einen weiten Bereich bis über 800 °C auswertbar. Die 100 weist als Beispiel auf den Widerstandswert bei 0 °C hin, also 100 Ω/0 °C. Die Pt-Sensoren findet man in vielen Bauformen, als Einschraub-, Mantel- oder Kabelsensor.

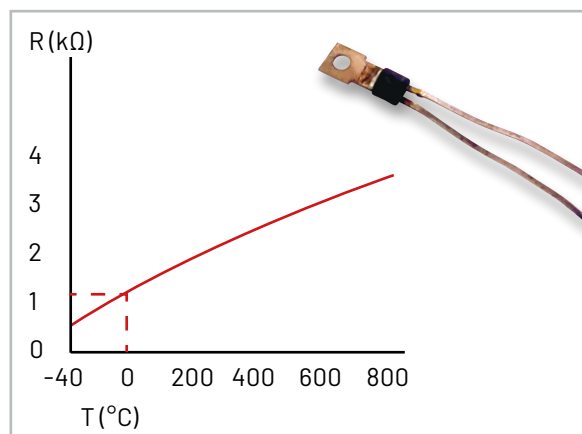


Bild 4: Typische, nahezu lineare Kennlinie eines Platin-Kaltleiters (PTC), hier eines Pt1000

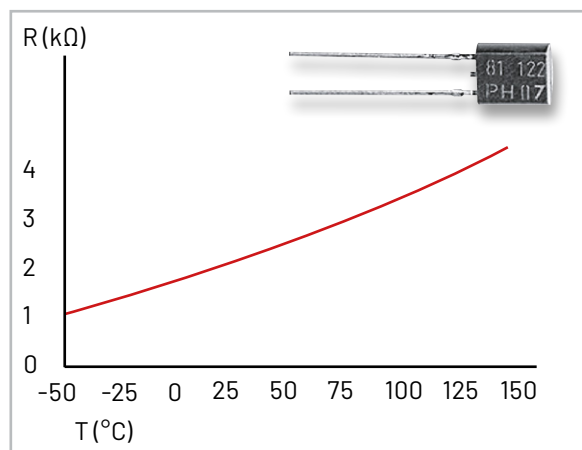


Bild 5: Typische Kennlinie eines Silizium-PTC, hier eines KTY-Sensors



Bild 6: Bauformen von Kaltleitern, die man zur Strombegrenzung/Thermosicherung einsetzt

Sehr verbreitet und preiswert sind hier auch die auf Silizium basierenden KTY-Sensoren (Silizium-Widerstandssensoren), die nur eine leicht nicht lineare Kennlinie aufweisen, wie man in Bild 5 sehen kann.

Kaltleiter kommen im Bereich bis 150 °C zum Einsatz und sind, neben allgemeinem Einsatz als Temperaturfühler in vielen Bauformen oft in Netztransformatoren und Elektromotorwicklungen als Überstromschutz verbaut.

Ein weiterer Einsatzbereich von PTCs als Strombegrenzung („Thermosicherung“) ist der als selbstzurückstellende Sicherungen in Stromversorgungsschaltungen. Hier werden meist keramische PTCs mit einer speziellen Kennlinie eingesetzt, die ab einem bestimmten Temperaturwert steil ansteigt und so den Stromfluss stark begrenzt. Bild 6 zeigt typische Bauformen dieser PTCs.

### Das Thermoelement

Das Thermoelement besteht hauptsächlich aus zwei an der Messstelle verbundenen Metalldrähten aus unterschiedlichen Metallen (Bild 7). Die Wirkungsweise beruht auf dem Seebeck-Effekt, auch thermoelektrischer Effekt genannt. Hier wird eine Spannung aus der Temperaturdifferenz entlang dieser verschiedenen Leiter (die bei Erwärmung ein unterschiedliches Temperaturverhalten haben) zwischen der Messstelle und der Vergleichsstelle gewonnen. Die Vergleichsstelle ist der Übergang der beiden thermoelektrischen Drähte auf den Kabelanschluss aus Kupfer. Die einfachste Methode für die Differenzermittlung ist die Messung der Temperatur an der Vergleichsstelle. Die so gewonnene Spannung ist sehr gering (im  $\mu\text{V}$ -Bereich) und muss idealerweise möglichst nahe an der Vergleichsstelle gepuffert und verstärkt werden.

Als Material wird meist eine Kombination aus Nickel und Chrom oder Nickel und Aluminium eingesetzt, die technische Bezeichnung für diese Temperatursensor-Art lautet „Thermoelement Typ K“ oder kurz: K-Type. Der Plusleiter wird beim K-Type-Sensor durch eine Nickel-Chrom-Legierung gebildet, der Minusleiter besteht aus Nickel.

Die Messstelle ist je nach Einsatzvorhaben offen als kleine Perle oder in einem geschlossenen Gehäuse z. B. für Messungen in Flüssigkeiten oder Gasen oder auch als Anlegefühler ausgeführt. Typisch für das Thermoelement ist der weite Messbereich, der je nach Ausführung von -250 °C bis herauf auf +1200 °C reichen kann. Deshalb ist diese Art des Temperatursensors auch weit in industriellen Anlagen und Prozessen verbreitet.

Neben dem K-Type-Thermoelement gibt es weitere Typen, so z. B. Typ J, eine Kombination aus Eisen und einer Kupfer-Nickel-Legierung.

Eine wichtige Komponente des Thermoelements ist die Anschlussleitung, die aus genau definierten Materialien besteht und nicht beliebig ersetzt oder verlängert werden darf. Deshalb sind auch die Thermoelemente mit ihrer Anschlussleitung und dem Anschluss (Stecker oder Kabelschuhe) ab Werk konfektioniert, und es ist der richtig gepolte Anschluss an die Messschaltung zu beachten, siehe Stecker in Bild 7.

Das Verhalten eines Thermoelements ist nicht linear, über den Erfassungsbereich finden wir hier gekrümmte und weitgehend lineare Bereiche. Deshalb helfen hier Tabellen bei der Messwertaufbereitung und Linearisierung.

### Analoge Halbleiter-Temperatursensoren

Halbleiter verhalten sich immer temperaturabhängig, dies kann man für Halbleiter-Temperatursensoren ausnutzen, indem man spezielle Halbleiterstrukturen als eigentlichen Sensor einsetzt, deren Verhalten definiert ist. Sie sind mit einer analogen Schaltung zur Verarbeitung des Messwerts in einem Gehäuse integriert und geben am Ende je nach Typ einen genauen Spannungs- oder Stromwert je Temperatureinheit aus.

Ein solcher, wenn auch schon seit vielen Jahren im Einsatz befindlicher Vertreter dieser Sensorart ist der LM35 (Bild 8), der als umfangreiche Familie mit vielen Spezifikationen, insbesondere der Messtempe-

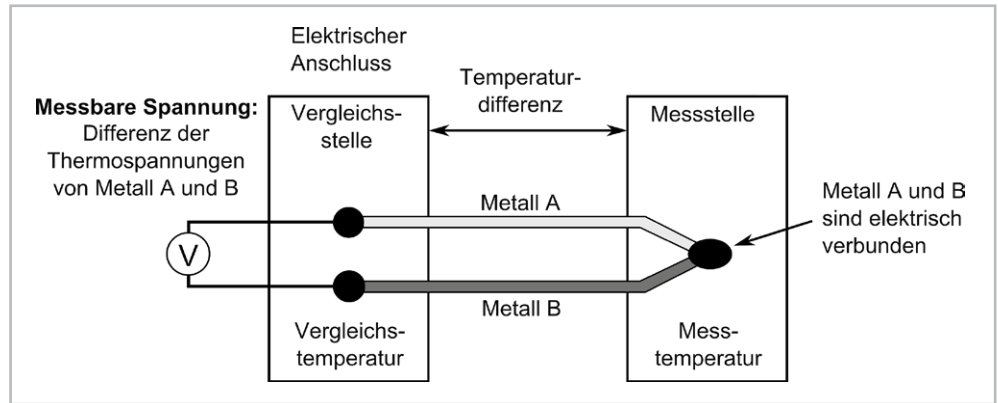
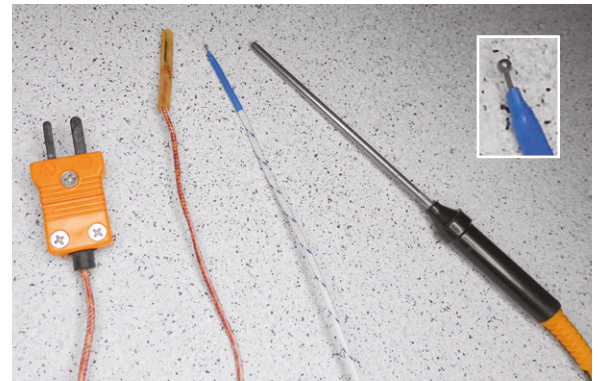


Bild 7:  
 Oben: Funktionsschema des Thermoelements  
 Grafik: Wikipedia  
 Unten: Einige charakteristische Bauformen und der typische, gepolte Stecker eines Thermoelements. Rechts oben im Foto ist die elektrische Verbindung an der Messstelle gut zu sehen.



raturbereiche, existiert. Die Familie ist je nach Typ von  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$  einsetzbar und basiert (wie übrigens viele Halbleitersensoren) auf einem Silizium-Sperrschicht-Sensor (Band-Gap-Temperatursensor). Hier wird das Temperaturverhalten im p-n-Übergang erfasst, durch eine ebenfalls integrierte Konstantstromquelle ergibt sich eine lineare Temperaturkurve. Ein Pufferverstärker gibt beim LM35 schließlich den Temperaturwert als analoges Ausgangssignal mit  $10,0\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  und hoher Linearität aus. Die Genauigkeit wird bei  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  mit  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  angegeben.

Diese Eigenschaften machen es einfach, die Temperatur direkt per Zeigermessgerät (Bild 9) anzuzeigen. Bild 10 zeigt eine Applikationsschaltung von Texas Instruments für die Analog-digital-Umsetzung mittels ADC.

Die beschriebene Umsetzung des Ausgangssignals macht natürlich auch eine direkte Anbindung an den Analogeingang eines Mikrocontrollers einfach. In [2] ist ein Beispiel für die Anbindung an einen ESP32 sehr ausführlich dokumentiert.

Beim Einsatz dieses Sensors ist zu beachten, dass die Betriebsspannung möglichst stabil sein sollte, da sie auch für die Erzeugung der Referenzspannung für die Konstantstromquelle herangezogen wird. Und man sollte bei längeren Signalleitungen einen Blick in das Datenblatt [3] werfen und den Anweisungen dort folgen, etwa mit verdritelter Leitung.

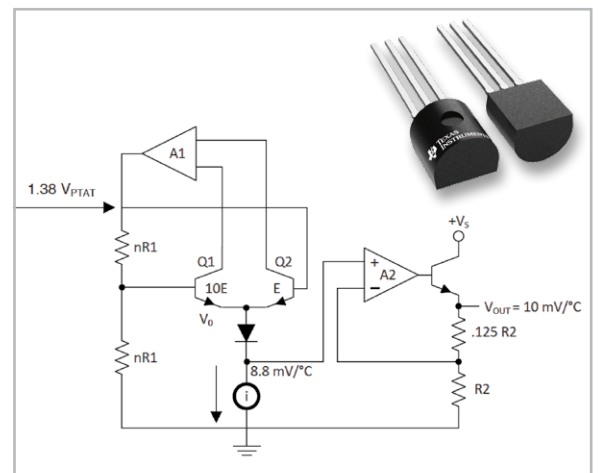


Bild 8: Der Innenbau des LM35. Der Sensor, hier im TO92-Gehäuse, wird u. a. auch als SMD-8-Pin-SOIC und verkapselt in einer Metallhülle geliefert. Grafik/Bild: Texas Instruments

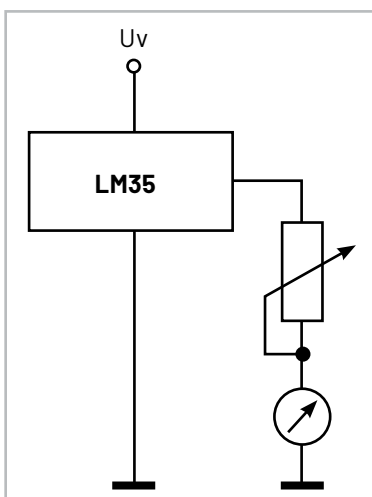


Bild 9: Einfache Thermometerschaltung mit dem LM35

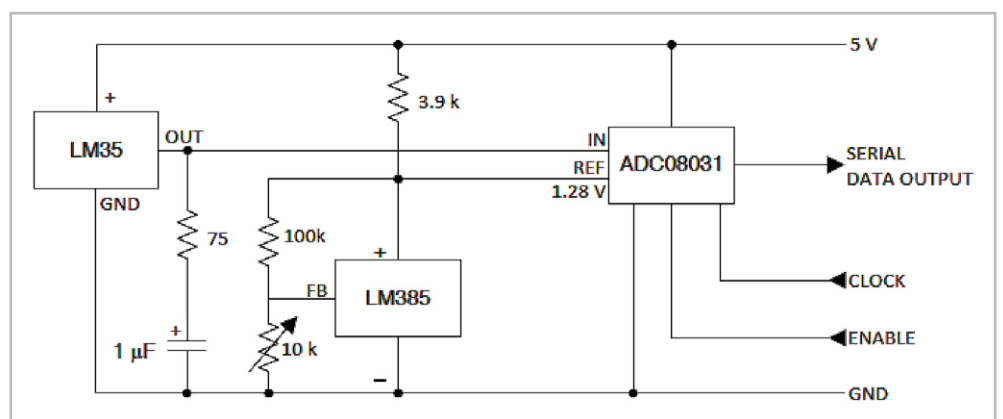


Bild 10: Der LM35 mit einem nachgeschalteten ADC, der ein serielles Digitalsignal ausgibt. Grafik: Texas Instruments

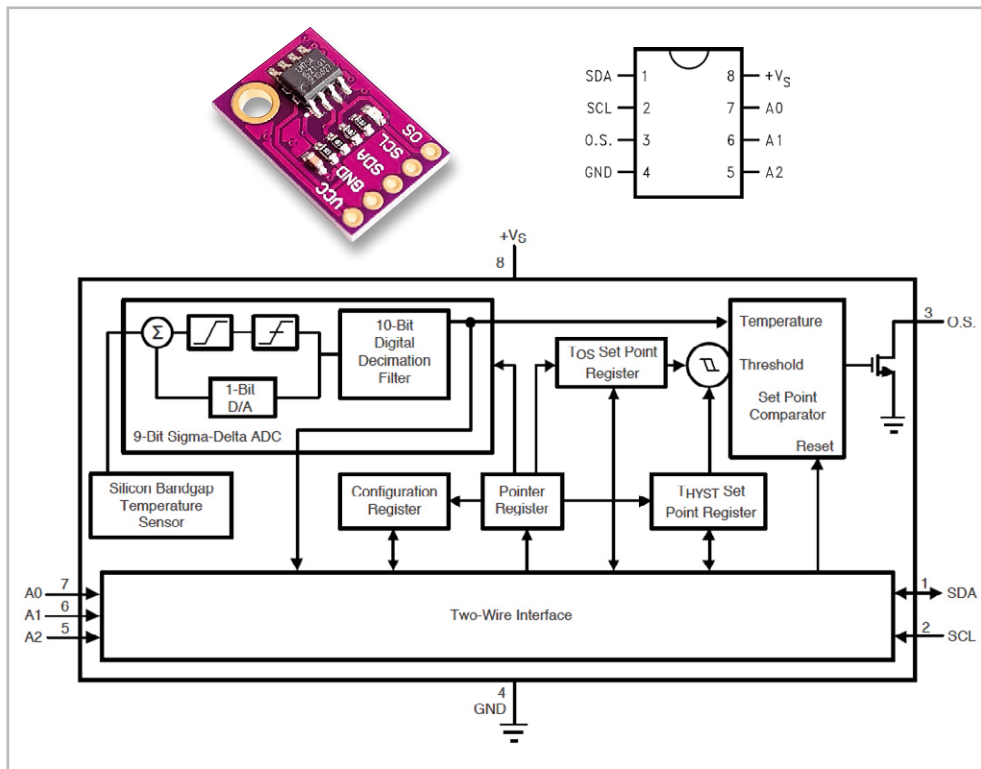


Bild 11: Der LM75 besitzt einen integrierten ADC und ein I<sup>2</sup>C-Digitalinterface. Grafik: Texas Instruments

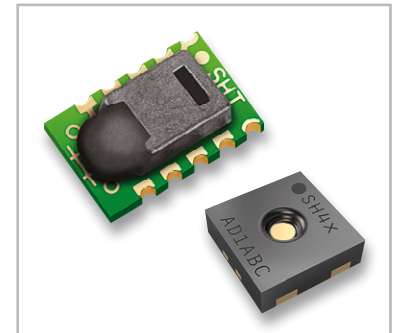


Bild 12: Klassiker für die Luftfeuchte- und Temperaturmessung: der Digitalsensor SHT11 und sein aktueller Nachfolger, der SHT40, der nur noch 1,5 x 1,5 x 0,5 mm groß ist  
Bilder: Sensirion

## Digitale Temperatursensoren

Digitale Temperatursensoren sind in der heutigen digital geprägten Elektronik nicht mehr wegzudenken. Sie basieren meist ebenfalls auf Halbleitersensoren, sind aber auch kombiniert mit anderen Technologien und Sensoren wie z. B. Luftfeuchte- oder Luftdrucksensoren, und geben die Temperaturdaten digital aufbereitet über nahezu alle gängigen Bus-Arten aus, von 1-Wire bis SPI oder I<sup>2</sup>C. Es gibt auch Sensoren, die die intern gewandelten Temperaturwerte als leicht von Controllern auszuwertendes PWM-Signal ausgeben. Betrachten wir einige der verbreitetsten Sensoren jeweils kurz näher.

### Der Allrounder LM75

Ein klassischer und sehr universell einsetzbarer Vertreter des digitalen Sensors ist der LM 75/76 – Bild 11 zeigt den LM75 auf einem Breakout-Board und seine Innenschaltung/Pinbelegung. Auch er beruht auf dem bereits beschriebenen Silizium-Band-gap-Sensor, dessen Daten aufwendig intern aufbereitet und schließlich über eine adressierbare I<sup>2</sup>C-Schnittstelle ausgegeben werden. Ein programmierbarer Übertemperatur-Signalausgang ergänzt die Ausstattung dieses weit verbreiteten Sensors. Er arbeitet sehr stromsparend im Bereich von 3 bis 5 V Betriebsspannung und kann Temperaturen zwischen -55 °C und +125 °C erfassen.

### SHT-Sensoren von Sensirion – Klassiker der Kombisensoren

Das H in der Bezeichnung deutet bereits auf die erweiterte Funktion hin – die SHT-Sensoren von Sensirion messen nicht nur Temperaturen, sondern auch die Luftfeuchte und sind deshalb enorm beliebte Sensoren in der Klimatechnik, in Wetterstationen usw. Es gibt sie mit analoger Ausgabe, PWM-Schnittstelle und I<sup>2</sup>C-Schnittstelle. Frühe Typen wie der SHT11 verfügen über eine I<sup>2</sup>C-ähnliche Schnittstelle namens „sensibus“. In Bild 12 sind der inzwischen nicht mehr gefertigte SHT11 und der moderne Nachfolger SHT40 zu sehen.

Die ab Werk kalibrierten Sensoren sind sehr langzeitstabil, hochauflösend (12/14 bit) und decken neben dem Feuchtebereich von 0 bis 100 % rH den Temperaturbereich zwischen -40 °C und +125 °C ab. Der aktuelle SHT40 sticht mit besonders geringer Stromaufnahme (Ø 0,4 µA, Ruhe: 80 nA) hervor. Er verfügt über I<sup>2</sup>C und eine feste Adressierung. Bild 13 zeigt seine Innenschaltung sowie die Anbindung an einen Controller.

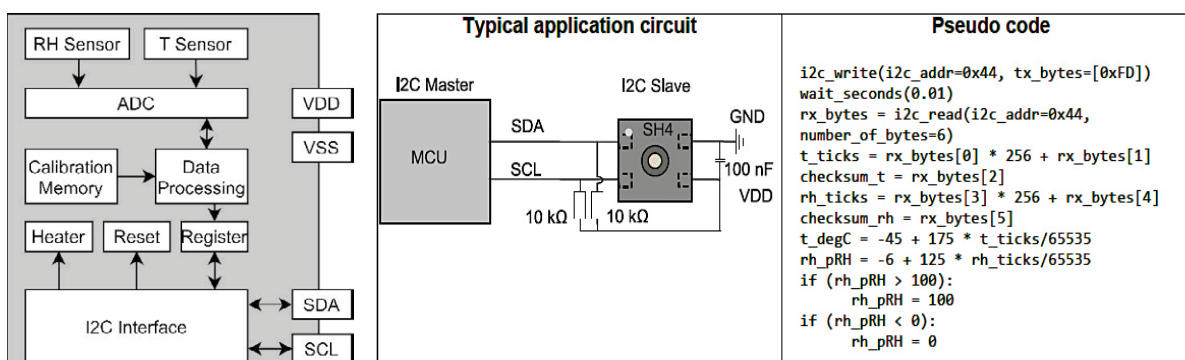


Bild 13: Blockschaltbild des Sensirion SHT40 und seine Anbindung an einen Mikrocontroller  
Bilder: Sensirion

### Mit integrierter Thermostatfunktion – DS-Reihe von Maxim

Die digitalen Temperatursensoren von Maxim Integrated/Analog Devices, so der DS75, DS1621, DS1631, DS1721 usw. besitzen neben der internen Signalaufbereitung und Umsetzung auf I<sup>2</sup>C (adressierbar) einen mit einer Schalt-Hysterese programmierbaren Thermostat-Schaltausgang, der für viele Anwendungen, vor allem in der Klimatisierung, sehr praktisch ist. Für die Speicherung der programmierten Bedingungen enthält er einen nicht flüchtigen Speicher, kann also nach der Programmierung auch als eigenständiger Thermostat arbeiten.

Die in verschiedenen Gehäuseformen erhältlichen Sensoren erfassen einen Temperaturbereich von -55 °C bis +125 °C. Bild 14 zeigt das Blockschaltbild des DS1621.

Mit einem sogenannten 1-Wire-Bus kommen der äußerst beliebte DS1820 und seine Derivate wie der heute meist eingesetzte DS18B20 daher. Der in verschiedenen Bauformen (SO-/TO92-Gehäuse oder verkapselt) gelieferte Sensor verfügt über nur eine einzige Busleitung und wird so nur mit den drei Leitungen Bus, Masse und Plus angeschlossen. Der Leitungsaufwand kann sogar durch die sogenannte parasitäre Speisung noch gesenkt werden, indem über die Busleitung in den Datenübertragungspausen die Betriebsspannung eingespeist und im Sensor zwischengespeichert wird (Bild 15). 1-Wire ist ein relativ langsames, serielles Protokoll, was in dieser Anwendung jedoch nicht stört. Dafür können längere Kabelstrecken zum Sensor störungsfrei und mit einfachen Kabeln gestaltet werden.

Das hier eingesetzte Master-Slave-Bus-Handling erlaubt auch den parallelen Anschluss zahlreicher dieser Sensoren an den Bus und damit den einfachen Aufbau auch größerer Messnetze. In [4] ist die Controller-Programmierung nebst der zugehörigen 1-Wire-Library ausführlich erläutert.

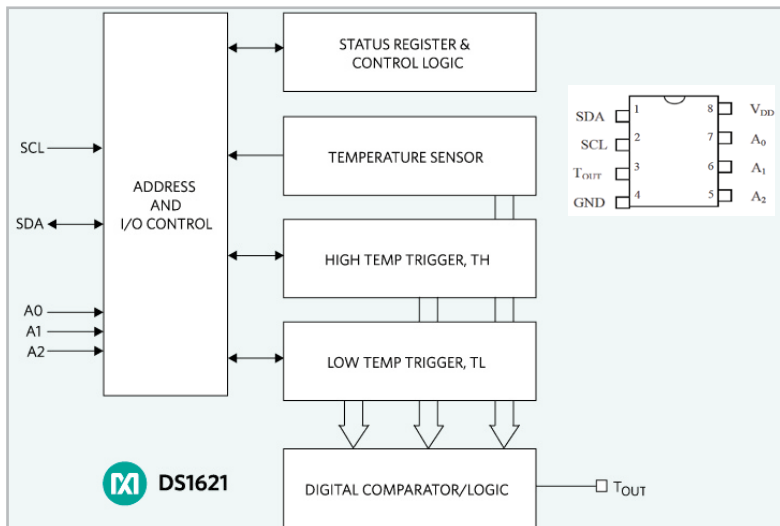


Bild 14: Mit integrierter, programmierbarer Thermostatfunktion: der DS1621  
Grafik: Maxim Integrated/Analog Devices

### Die BMP-/BME-Universalisten von Bosch

Bosch Sensortec entwickelt seit vielen Jahren kompakte Klimasensoren mit SPI- und I<sup>2</sup>C-Bus, die sehr vielfältig, von der Smartwatch über Smartphone und Haustechnik-Anwendungen bis zur Consumer-Wetterstation, eingesetzt werden. Wir erwähnen diese Sensoren im Rahmen dieses Artikels vor allem wegen ihrer Vielseitigkeit, weniger als präzise Temperatursensoren. Warum? Bei der BMP-Reihe, z. B. dem beliebten BMP180, liegt der Schwerpunkt auf dem Einsatz als Luftdrucksensor (BMP – Pressure). Universeller und noch präziser sind die Sensoren der BME-Reihe als komplette Klimasensoren (BME – Environment), z. B. der Luftgütesensor BME280.

Entsprechend den Einsatzprioritäten sind die integrierten Silizium-Temperatursensoren, vor allem in der frühen BMP-Reihe, eher eine Zugabe, denn sie haben den Ruf der stärkeren Temperaturdrift durch Erwärmung des Gesamtchips. Somit sind sie mit einer Genauigkeit von bis zu ±1,5 °C je nach Temperaturbereich zur exakten und reproduzierbaren Temperaturmessung nicht immer geeignet. Der integrierte Temperatursensor ist laut Datenblatt primär für die Berechnung der Temperaturkompensation der Druck- und Luftfeuchtesensoren vorgesehen, erst danach kommt die Anwendung als Umgebungstemperatursensor im normalen klimatischen Bereich bis 65 °C mit einer Genauigkeit bei ±0,5 °C.

Die Generation der BME-Reihe – hier hat der BME280 auf preiswert verkauften Breakout-Boards (Bild 16) für eigene Controller-Anwendungen die Nase vorn – ist komplexer aufgebaut, denn hier sind mehrere Sensoren auf engem Raum zusammengefasst.

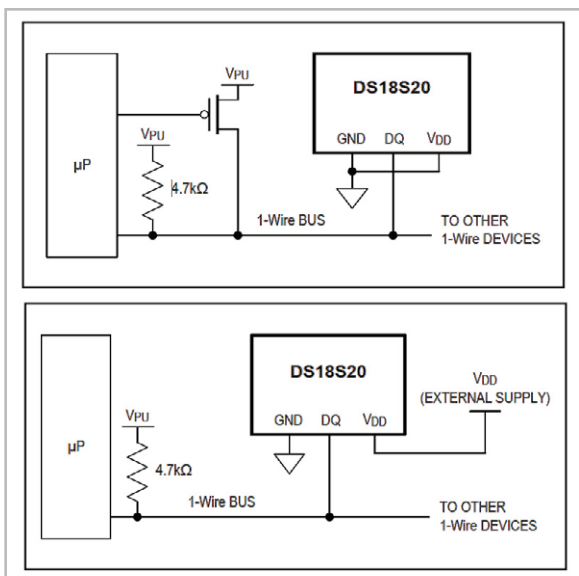


Bild 15: Die Anbindung des DS18X20 kann über die parasitäre Speisung (oben) als echter 1-Wire-Anschluss, aber auch über eine eigene kontinuierliche Stromversorgung (unten) erfolgen.  
Grafik: Maxim Integrated/Analog Devices

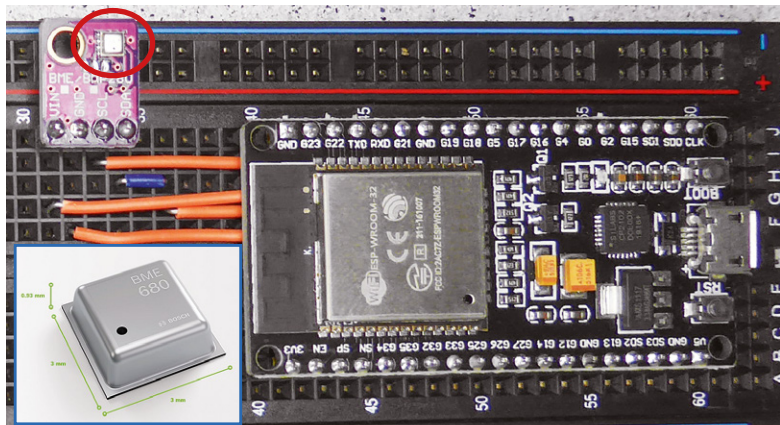


Bild 16: Winziger Luftdruck-/Temperatursensor – der BME280 in einer Mikrocontroller-Applikation. Links ist der in der Abbildung stark vergrößerte aktuelle Environment-Sensor BME 680 zu sehen (Bild BME680: Bosch Sensortec).

Die technische Spitze stellt derzeit wohl der BME 680 dar, er enthält auf gerade einmal 3 x 3 mm zusätzlich noch einen VOC-Sensor und kann so die Grundlage von Luftgüte-Messgeräten bilden. Er ist außerdem, trotz des geheizten Gassensors, auf geringen Stromverbrauch ausgerichtet – eine wichtige Basis für portable Geräte und Wearables.

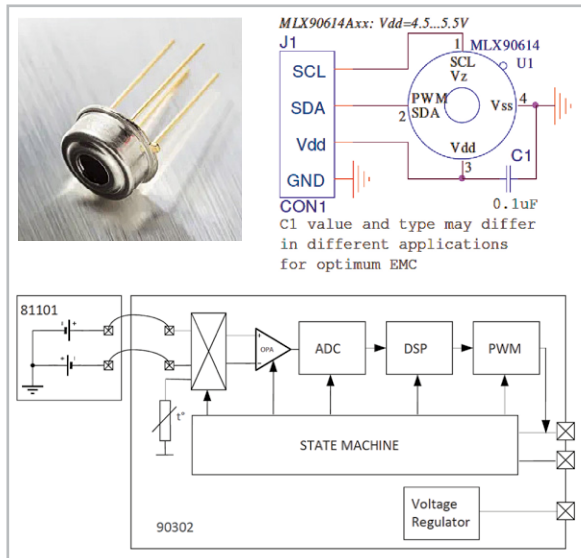


Bild 17: Der Infrarot-Temperatursensor MLX90614 lässt sich via I<sup>2</sup>C sehr einfach an einen Mikrocontroller anbinden. Grafik/Bild: Melexis

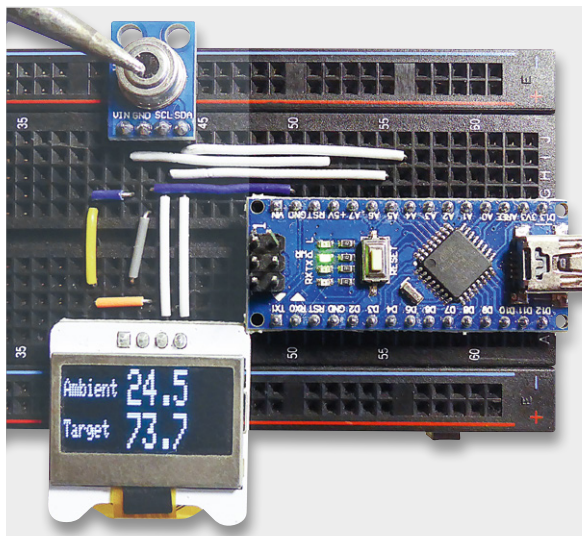


Bild 18: Eine typische, kleine Mikrocontroller-Applikation für die berührungslose Temperaturmessung mit einem Arduino Nano und einem Infrarot-Temperatursensor MLX90614

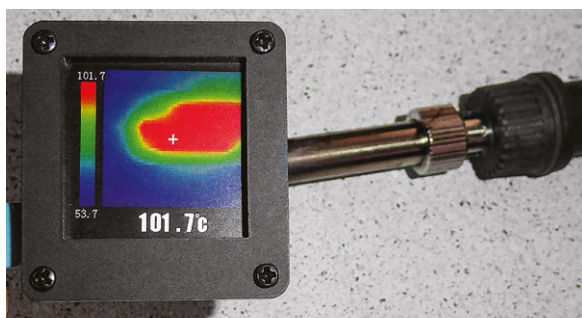


Bild 19: Mit dem Infrarot-Temperatursensor MLX90614 lässt sich bereits eine rudimentäre Wärmebildkamera aufbauen – hier registriert sie das Aufheizen einer Lötspitzen Spitze.

## Kontaktlos messen

Kontaktloses Messen von Temperaturen ist heute allgegenwärtig – vom Fieberthermometer bis hin zum professionellen Infrarot-Thermometer oder der Wärmebildkamera. Hier wird der Effekt genutzt, dass alle Materialien ab dem absoluten Nullpunkt aufwärts (0 K) einen unsichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums als Wärmestrahlung abgeben – die Infrarotstrahlung.

Dies nutzt man in der Technik der berührungslosen Temperaturmessung aus, indem man die vom Messobjekt ausgehende Wärmestrahlung mit einer Optik bündelt. So gelangt sie konzentriert auf einen Infrarotsensor. In diesem wird die aufgefangene Wärmeenergie im Bereich von 0,7 bis 20 µm Wellenlänge nach dem Prinzip der Thermosäule in ein elektrisches Signal umgewandelt, das – nach Berücksichtigung weiterer Faktoren, u. a. der Umgebungstemperatur – eine quantitative Aussage zur Temperatur des Messgegenstands ermöglicht.

Noch weiter geht man, indem man mehrere dieser Infrarot-Detektoren in einem Array anordnet. Hier kann in einem von der vorgeschalteten Optik bestimmten Erfassungsbereich über die nachfolgende Rechentechnik ein Bild dieses Areals zusammengesetzt werden, das die Wärmeverteilung in diesem Areal abbildet – das Prinzip der Wärmebildkamera.

Einer der inzwischen beliebtesten IR-Thermometer-Sensoren ist der MLX90614 (Bild 17) von Melexis. Der sehr komplexe Sensor beherbergt neben der eigentlichen IR-Thermopile-Sensoranordnung auch einen wesentlichen Teil der Auswerteelektronik in Form eines ASICs, der einen rauscharmen Signalverstärker, einen 17-Bit-ADC und einen leistungsstarken DSP enthält. Der MLX90614 erfasst einen Temperaturbereich des Messobjekts von -70 °C bis +380 °C und zusätzlich die Umgebungstemperatur im Bereich von -20 °C bis +120 °C mit einer Auflösung von 0,02 °C und einer Genauigkeit von ±0,2 °C. Das Auslesen erfolgt je nach Bedarf über einen I<sup>2</sup>C-Bus (SMBus-kompatibel) oder über ein 10-bit-PWM-Signal. In Bild 18 sehen wir eine einfache Applikation mit einem Arduino (natürlich existieren für die üblichen Mikrocontroller-Plattformen einfach anwendbare Libraries) mit Anschluss per I<sup>2</sup>C auf ein Display.

Kreative Techniker haben sich des Potenzials des leistungsstarken Sensors angenommen und mithilfe einer kleinen Optik und ausgeklügelter Signalverarbeitung sogar kleine, preiswerte Wärmebildkameras entwickelt [5]. Die Auflösung des Arrays mit 16 x 12 Pixel ist natürlich nicht hoch (wer mehr will, greift zum MLX90640 als 32x24-Pixel-Array), reicht aber für Experimente und essenzielle Messungen aus. Bild 19 zeigt ein Beispiel für eine solche rudimentäre Wärmebildkamera, die sich jeder Hobbyelektroniker aus wenigen Komponenten auch selbst bauen kann.

## Sensoren in der Praxis – zwei Beispiele

Anwendungen, Schaltungen und Lösungen mit Temperatursensoren gibt es zuhauf – heute vor allem rund um die populären Mikrocontroller-Plattformen Arduino, Raspberry Pi und ESP.

Bild 20: Besonders einfach gestaltet sich das Einbinden von Temperatur- und anderen Sensoren in die ESP-Welt. Per MQTT ist auch das entfernte Auslesen und Publizieren von Daten einfach.

The screenshot displays the 'ESP Easy Mega: Wemos' web interface. The top navigation bar includes 'Main', 'Config', 'Controllers', 'Hardware', 'Devices', 'Notifications', and 'Tools'. The 'Task Settings' section shows a list of available devices, with 'Environment - BMx280' selected. Below this, the configuration for 'Klima1' is shown, including fields for Name, Enabled status, I2C Address, Altitude, and Temperature offset. The 'Data Acquisition' section has checkboxes for 'Send to Controller' and 'Interval' set to 15 seconds. A table at the bottom lists tasks, with task 1 (Temperature) and task 3 (Luftdruck) being active. On the right side, there are three monitoring widgets: 'Field 1 Chart' showing a temperature graph, 'Field 2 Chart' showing a pressure graph, and 'Field 1 Gauge' showing a current pressure of 1022.4 mbar. A data table at the bottom right shows real-time values for Temperature (24.54), GPIO-4 (0.00), and Pressure (1016.61).

Für Letzteren haben wir unter [6] eine ausführliche Anleitung für die Erfassung von Daten des BMx280 und für deren Publizierung via „ThingSpeak“ verfasst. Das Bild 20 zeigt einige Screenshots aus diesem Projekt.

Wir beschäftigen uns hier ja sehr viel mit Haustechnik bzw. Smart Home. Auch hier kann man Temperaturmessungen sehr vielseitig einsetzen und zum Beispiel in die eigene Smart-Home-Ausstattung einbinden.

Angelehnt an die kreativen Projekte von Eugen Stall in [7] und [8] haben wir den Einsatz der Homematic IP Multi IO Modulplatine HmIP-MIO16-PCB (Bild 21), die u. a. vier Analog-Eingänge bis 12 V Eingangsspannung anbietet, in einer Solarthermie-Anlage getestet.

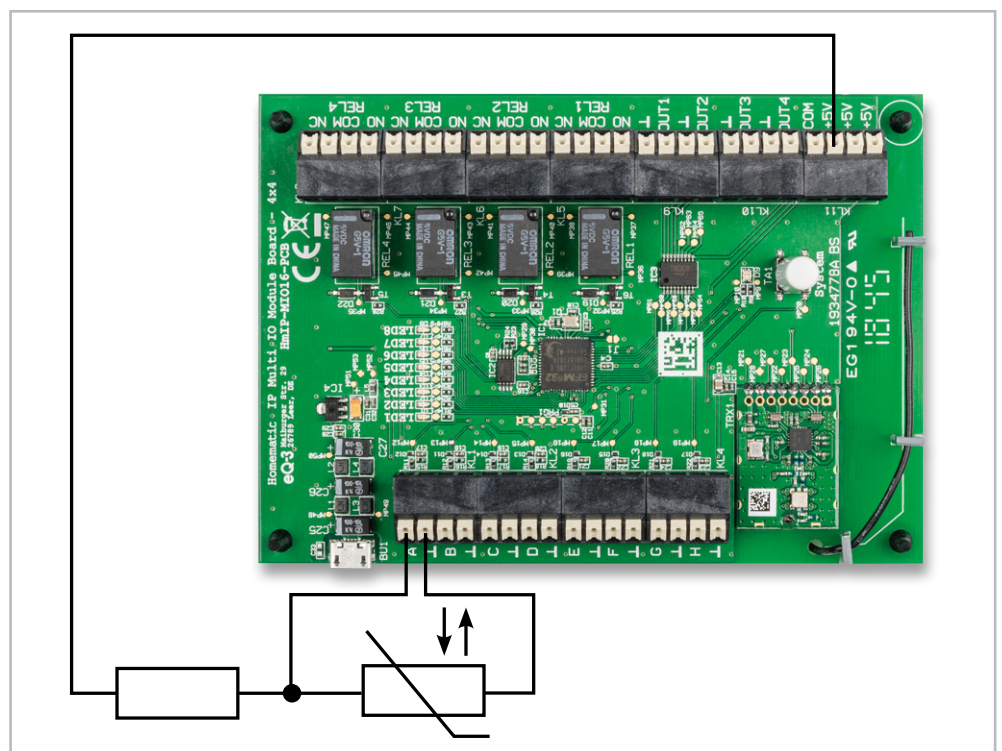


Bild 21: Mithilfe der Analogeingänge der Homematic IP Multi IO Modulplatine HmIP-MIO16-PCB kann man die Temperaturmessung einfach in das Smart Home einbinden.



Skript bearbeiten

```

1 !Berechnung Temperaturwert aus Spannungswert an Analog1
2 !Wert vom analogen Eingang holen
3 real Ut = dom.GetObject("HmIP-RF.00251...:1.VOLTAGE").Value();
4
5 !Umrechnung Spannung in Temperatur
6 real Temp = 0;
7 if (Ut<1.15) {Temp = 24;}
8 if (Ut==1.15) {Temp = 20.86*Ut;}
9 if (Ut>=1.15) {Temp = 28.15*Ut;}
10 if (Ut>=1.20) {Temp = 33.33*Ut;}
11 if (Ut>=1.24) {Temp = 44.35*Ut;}
12 if (Ut>=1.25) {Temp = 48.00*Ut;}
13 if (Ut>=1.29) {Temp = 62.00*Ut;}
14 if (Ut>=1.31) {Temp = 68.70*Ut;}
15 if (Ut>=1.35) {Temp = 84.44*Ut;}
16
17 !Temperatur auf Systemvariable speichern
18 dom.GetObject("Kollektortemperatur").State(Temp);

```

| Name                 | Beschreibung         | Bedingung (Wenn...)                                                                                                           |
|----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Solarpumpensteuerung | Solarpumpensteuerung | im Wertebereich / mit Wert Kanalzustand: Multifunktionsplatine:1 bei Eingangsspannung größer als 1.17 V bei Änderung auslösen |

**Bedingung: Wenn...**

Geräteauswahl: Multifunktionsplatine:1 bei Eingangsspannung im Wertebereich / mit Wert größer als 1.17 V bei Änderung auslösen

UND

ODER

**Aktivität: Dann...**  Vor dem Ausführen alle laufenden Verzögerungen für diese Aktivitäten beenden (z.B. Retriggern).

Geräteauswahl: Aktor\_1\_Heizung-Solarpumpe:3 sofort Schaltzustand: Ein

**Bedingung: Sonst, wenn...**

Geräteauswahl: Multifunktionsplatine:1 bei Eingangsspannung im Wertebereich / mit Wert kleiner als 1.17 V bei Änderung auslösen

UND

ODER

**Aktivität: Dann...**  Vor dem Ausführen alle laufenden Verzögerungen für diese Aktivitäten beenden (z.B. Retriggern).

Geräteauswahl: Aktor\_1\_Heizung-Solarpumpe:3 verzögert um 5 Sekunden Schaltzustand: Aus

**Aktivität: Sonst...**  Vor dem Ausführen alle laufenden Verzögerungen für diese Aktivitäten beenden (z.B. Retriggern).

|                |            |
|----------------|------------|
| Solar          | 1373.110 W |
| Lichtsensor:   | 857.2 lx   |
| Tiefkühler 1:  | -19.8°C    |
| Tiefkühler 2:  | -22.7°C    |
| Gas heute:     | 4.75 cbm   |
| Strom aktuell: | 101.00 W   |
| Kälte          | off 0.0 W  |
| Solarkollektor | 55,0°C     |

Bild 22: Mithilfe des anhand von [7] angepassten Scripts und einer individuell erarbeiteten Tabelle für den eingesetzten Sensor gelangen Einbindungen von Temperatursensoren in Steuerungsvorgänge und die Visualisierung.

Nach Eugen Stalls Vorbild haben wir die Kennlinie des eingesetzten Thermistors ausgemessen und das Ergebnis anhand des Scripts aus [7] umgesetzt (Bild 22).

Vom entstandenen Wert in der Systemvariable kann man nun die Werte visualisieren und, wie

in unserem Beispiel, die Umwälzpumpe der Anlage ansteuern. Dies kann man ausbauen, indem auch die Ein- und Ausgangstemperaturen am Wärmetauscher erfasst werden. So kann man mit einer Regelschleife eine einfache Solarthermie-Steuerung aufbauen. **ELV**

## **i** Weitere Infos

- [1] Auswertung eines Thermistors mit dem Arduino: <https://learn.adafruit.com/thermistor/using-a-thermistor>
- [2] Der LM35 am ESP32: <https://esp32io.com/tutorials/esp32-lm35-temperature-sensor>
- [3] Datenblatt LM35: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [4] Prof. Jürgen Plate, 1-Wire Temperatursensor DS1820: <http://www.netzmafia.de/skripten/hardware/Arduino/Onewire/index.html>
- [5] Die Grove-Thermal Imaging Camera mit dem MLX90641 von Seed Studio: <https://www.youtube.com/watch?v=08CcNDXXRC8&t=3s>
- [6] Fachbeitrag „Programmieren leicht gemacht – Einstieg in den ESP8266-Mikrocontroller mit ESPEasy“, ELVjournal 4/2019: Artikel-Nr. 250930
- [7] Eugen Stall, NTC-Temperatursensor am Wired 12/24 IO-Modul: <https://www.stall.biz/project/ntc-temperatursensor-am-wired-1214-io-modul>
- [8] Eugen Stall, 8-fach-Temperaturmessung für Heizungsüberwachung: <https://www.stall.biz/project/8-fach-temperaturmessung-fur-heizungsuberwachung>

Alle Links finden Sie auch online unter: [de.elv.com/elvjournal-links](http://de.elv.com/elvjournal-links)