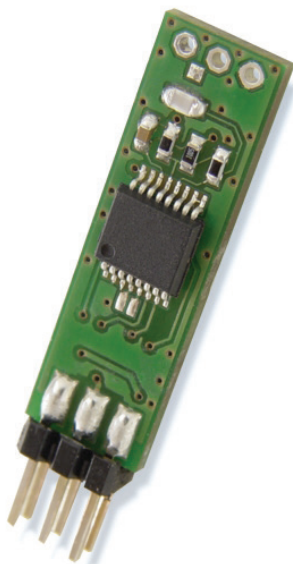


# DATENBLATT

## Thermoelement Modul mit digitaler I<sup>2</sup>C-Schnittstelle - THMOD-I2C

### Beschreibung



### Technische Daten

Thermoelement-Modul THMOD-I2C	
Messprinzip	Thermoelektrische Spannungsmessung (Seebeck-Effekt)
Signalverarbeitung	Digital im ASIC
Messbereich	Typ -300 -270 ... +300 °C Typ -800 -270 ... +800 °C Typ -1370 -270 ... +1370 °C
Auflösung	T1 -300 ca. 0,1 K (Typ J) T2 -800 ca. 0,2 K (Typ J) T3 -1370 ca. 0,5 K (Typ J)
Temperatur-Messung Ausgleichsstelle	-32 ... +97 °C, Klasse B
Ansprechzeit Modul	< 30 msec.
Abmessungen Modul	9 x 46,0 x 5,0 mm
Betriebsspannung	6 ... 24 V
Stromaufnahme	< 3 mA
Ausführung	SMD-Modul
Anschluss	Stiftleiste, 6-polig, RM 2,54 mm
I2C-Interface	100 / 400 kHz, Adresse 0x78
Artikel	Art.-Nr.
Thermoelement Modul Typ -300	THMOD-I2C-300
Thermoelement Modul Typ -800	THMOD-I2C-800
Thermoelement Modul Typ -1370	THMOD-I2C-1370

### Leistungsmerkmale

- Industrielles Temperatur-Messverfahren
- Weiter Messbereich, -270 bis +1360 °C
- Digitale I<sup>2</sup>C-Schnittstelle
- Einfache Anbindung an Mikrocontroller
- Lieferumfang mit Thermoelement, Typ K
- Kalibriert und einsatzbereit
- Miniaturisierte Abmessungen
- Optimales Preis-/Leistungsverhältnis
- Kundenspezifische Produktvarianten und OEM-Ausführungen möglich

### Anwendungsgebiete

- Mikrocontroller
- Messtechnik
- CONRAD C-Control
- Kundenspezifische Produkte

### Eigenschaften

Thermoelemente sind in der Industrie weit verbreitet und gelten als Standardverfahren zur Messung von Temperaturen über einen weiten Messbereich. Mit preisgünstigen NiCr-Ni Thermoelementen lässt sich beispielsweise ein Temperaturbereich von -270 bis +1360 °C realisieren. Bei Verwendung von Thermoelementen in Verbindung mit einem Mikrocontroller muss die relativ geringe Thermospannung ausreichend verstärkt werden. Da Thermoelemente relativ zur Temperatur der sogenannten Ausgleichsstelle messen, wird immer auch eine zusätzliche, absolute Temperaturmessung benötigt.

Mit Hilfe dieses Thermoelemente-Moduls ist es mit einfachen Mitteln möglich, eine Temperaturmessung über einen weiten Messbereich mit einem Mikrocontroller zu realisieren. Das Modul übernimmt dabei sowohl die Messung der Thermospannung als auch die Bestimmung der Temperatur an der Ausgleichsstelle. Ein hoch auflösender, 14 Bit A/D-Umsetzer ist ebenfalls schon im ASIC integriert und beide Messwerte werden digital an der I<sup>2</sup>C-Schnittstelle bereit gestellt. Der Aufwand im Mikrocontroller beschränkt sich daher auf die einfache Anwendung einer Berechnung. Da das Modul im Werk über die Thermospannung kalibriert ist, wird keine zusätzliche Kalibrierung durch den Anwender benötigt. Zur Vereinfachung der Produktentwicklung ist ein USB-I<sup>2</sup>C-Adapter und eine PC-Software zur Anzeige und Datenaufzeichnung lieferbar - fragen Sie bitte an!

# DATENBLATT



## Thermoelement Modul mit digitaler I<sup>2</sup>C-Schnittstelle - THMODI2C

### Anwendungshinweise

Im Lieferumfang ist für Testzwecke ein Typ K Thermoelement enthalten, das im Bereich der Teflon-Isolation bis ca. 250°C geeignet ist. Für höhere Einsatztemperaturen muss die Isolation entfernt oder beispielsweise ein Mantel-Thermoelement eingesetzt werden.

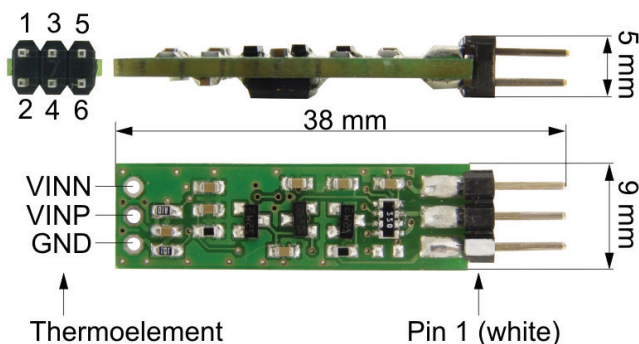
Die Betriebsspannung von 6 bis 24 V wird im Modul auf 5 V stabilisiert. Die interne 5 V Spannung dient als Bezugspegel für die digitale I<sup>2</sup>C-Kommunikation. Andere Ausführungen, z.B. mit 3,3 V oder 5 V Betriebsspannung sind als Sonderausführung möglich.

Bei Anschluss des Messfühlers über größere Strecken sollte der außerhalb des Gerätes verwendete I<sup>2</sup>C-Bus nicht auch intern benutzt werden, um Einkopplung von Störungen in die geräteinterne Kommunikation zu vermeiden. Die EMV-Richtlinien sind zu beachten, die Verwendung geschirmter Leitungen ist zu empfehlen.

Durch kurzzeitiges Unterbrechen der Betriebsspannung kann ein RESET des ASIC ausgelöst werden. Wird die Betriebsspannung schaltbar ausgeführt, so müssen die Pullup Widerstände des I<sup>2</sup>C Bus zur geschalteten Spannung angeschlossen werden.

### Anschlussbelegung des Steckers

Pin	Bezeichnung	Funktion
1 (white)	VDD	Betriebsspannung 6 ... 24 V
2	GND	Masse
3	SDA	Serielle Daten I <sup>2</sup> C
4	SCL	Serieller Takt I <sup>2</sup> C
5	---	unbelegt
6	---	unbelegt



### I<sup>2</sup>C-Interface

Die Kommunikation entspricht dem I<sup>2</sup>C Protokoll. Die Adresse des Bausteins ist default 0x78, unter dieser Adresse ist der Baustein immer anzusprechen. Zusätzlich kann bei der Konfiguration im Werk eine zweite Adresse programmiert werden, unter welcher der Sensor angesprochen werden kann.

Ab der Adresse 0x78 können 4 Bytes gelesen werden. Es gilt folgende Zuordnung

### Daten

0x78	Byte_0	MSB Thermospannung
	Byte_1	LSB Thermospannung
	Byte_2	MSB Ausgleichstellen-Temperatur
	Byte_3	LSB Ausgleichstellen-Temperatur

### Skalierung der Messwerte

Sowohl die Thermospannung als auch die Ausgleichsstellen-Temperatur werden als 15 Bit Wert (Bit 0 - 14) übertragen. Von dem 15 Bit Messwert der Thermospannung sind 14 Bit Auflösung zu nutzen, die niederwertigsten Bit (0, 1) können ignoriert werden. Bei der Ausgleichsstellen-Temperatur sind 12 Bit Auflösung zu nutzen, die niederwertigsten Bit (0-2) können ignoriert werden. Das höchstwertige Bit (15) ist im normalen Betrieb immer 0 und wird im Fall eines internen Fehlers auf 1 gesetzt. Bei den Messwerten gilt folgende Skalierung.

Thermospannung	Typ -300
Numerischer Wert über I <sup>2</sup> C Interface	0x 0000 ... 7FFF dec. 0 ... 32767
Physikalischer Wert	-12,500 ... 20,268 mV
Messbereich	32,768 mV
Auflösung	2 µV

Thermospannung	Typ -800
Numerischer Wert über I <sup>2</sup> C Interface	0x 0000 ... 7FFF dec. 0 ... 32768
Physikalischer Wert	-12,500 ... 53,036 mV
Messbereich	65,536 mV
Auflösung	4 µV

## Thermoelement Modul mit digitaler I<sup>2</sup>C-Schnittstelle - THMOD-I2C

Thermospannung	Typ -1360
Numerischer Wert über I2C	0x 0000 ... 7FFF
Interface	dec. 0 ... 32767
Physikalischer Wert	-12,500 ... 85,804 mV
Messbereich	98,304 mV
Auflösung	6 µV

Temperaturkanal	alle Ausführungen
Numerischer Wert über I2C	0x 0000 ... 7FFF
Interface	dec. 0 ... 32767
Physikalischer Wert	-32 ... 95,996 °C
Skalierung	T (°C)=V / 256 - 32

### Bestimmung der Temperatur

Die Module sind universell zu verwenden und sind prinzipiell für alle Thermoelemente geeignet. Das mitgelieferte Thermoelement ist ein Typ K mit der Materialpaarung NiCr-Ni. Die folgenden Beispiele beziehen sich auf das Modul -T1 und das mitgelieferte Thermoelement. Der Anschluss des Thermoelements muss mit der richtigen Polarität erfolgen, ansonsten wird die Temperatur falsch gemessen. Der von den jeweiligen Modul-Varianten nutzbare Spannungsbereich ist so gewählt, dass sich der spezifizierte Temperatur-Messbereich sowohl mit Fe-CuNi Thermoelementen (Typ J), als auch mit NiCr-Ni Thermoelementen (Typ K) realisieren lässt. Da NiCr-Ni Thermoelemente eine geringere Seebeck-Spannung als Fe-CuNi (Typ J) Elemente aufweisen, ist der Messbereich mit NiCr-Ni Elementen größer, bei etwas geringerer Temperatur-Auflösung. Somit kann z.B. das Modul Typ-800 bei Verwendung von NiCr-Ni Elementen bis ca. 1200 °C eingesetzt werden. Der erste Kanal misst die Thermospannung. Die Skalierung ist so gewählt, dass 16 bit Integer-Arithmetik genutzt werden kann, um die Berechnungen und Tabelleninterpolationen auszuführen. Die Skalierung des Messwerts ist vom verwendeten Modul abhängig und linear zur Thermospannung. Der zweite Kanal misst die absolute Temperatur an der Ausgleichsstelle mittels eines PT 1000 Widerstandsthermometers. Die Skalierung ist auf die Integer-Verarbeitung im Mikrocontroller optimiert und linear zur Temperatur. Die zu messende Temperatur muss rechnerisch bestimmt werden, indem die beiden Kanäle miteinander verrechnet werden: Zuerst wird die Thermospannung gemessen, indem über den I2C-Bus an Adresse 0x78 die ersten zwei Byte gelesen werden. Das erste Byte ist das MSB, das zweite Byte das LSB. Das oberste Bit dient zur Fehlererkennung und wird nicht in die Berechnung einbezogen. Danach wird die Temperatur an der Ausgleichsstelle bestimmt, indem das zweite und dritte Byte gelesen werden. Das zweite Byte ist das MSB, das dritte Byte das LSB. Das oberste Bit dient zur Fehlererkennung

und wird maskiert. Der Wert entspricht der Temperatur in 1/256 °C, wobei der Nullpunkt bei -32 °C liegt. Entsprechend der gemessenen Temperatur an der Ausgleichsstelle wird in Abhängigkeit von dem verwendeten Thermoelement ein Korrekturwert gebildet (für Typ K siehe Tabelle 1, rechte 3 Spalten). Danach wird der Korrekturwert zum numerischen Wert der Thermospannung addiert, womit die Temperatur an der Ausgleichsstelle quasi als Thermospannung auf die gemessene Thermospannung vorzeichenrichtig addiert wird. Mit dem Zwischenergebnis wird über Tabelle 2 die Temperatur der Messstelle durch Interpolation ermittelt.

Beispiel: Es handelt sich um ein Modul -300 mit NiCr-Ni Thermoelement (Typ K). Es werden 4 Byte I2C-Daten an Adresse 0x78 in HEX gelesen:

60 85 3E 00

Die Thermospannung (0x6085, dec 24709) beträgt 12,209 mV. Der Temperaturwert der Ausgleichsstelle (0x3E00, dec 15872), ergibt den Temperaturwert 30,0 °C (siehe Tabelle 1). Zu dieser Temperatur und zum Modul -300 beträgt der Korrekturwert 1203 digits. Addiert zum numerischen Wert der Thermospannung ergibt sich 25912 digits Thermospannung. Mit diesem Wert wird nun in der Tabelle 2 interpoliert und es ergibt sich der Messwert 330 °C an der Messstelle.

### Korrekturwerte der Ausgleichsstelle

Digit	Temp.	mV	-300	-800	-1360
512	-30	-1,156	-1156	-578	-385
3072	-20	-0,778	-778	-389	-259
5632	-10	-0,392	-392	-196	-131
8192	0	0	0	0	0
10752	10	0,397	397	199	132
13312	20	0,798	798	399	266
15872	30	1,203	1203	602	401
18432	40	1,612	1612	806	537
20992	50	2,023	2023	1012	674
23552	60	2,436	2436	1218	812
26112	70	2,851	2851	1426	950
28672	80	3,267	3267	1634	1089
31232	90	3,682	3682	1841	1227

# DATENBLATT



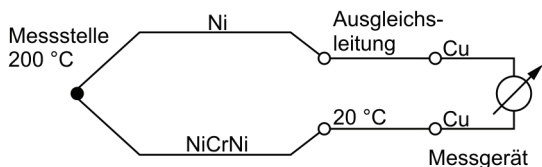
## Thermoelement Modul mit digitaler I<sup>2</sup>C-Schnittstelle - THMOD-I2C

### Skalierung der Thermospannung

Temp.	mV	-300	-800	-1360
-200	-5,891	6609	3305	2203
-100	-3,554	8946	4473	2982
-50	-1,889	10611	5306	3537
0	0	12500	6250	4167
50	2,023	14523	7262	4841
100	4,096	16596	8298	5532
200	8,138	20638	10319	6879
300	12,209	24709	12355	8236
400	16,397	28897	14449	9632
500	20,644	-	16572	11048
600	24,905	-	18703	12468
700	29,129	-	20815	13876
800	33,275	-	22888	15258
900	37,327	-	24913	16609
1000	41,276	-	26888	17925
1100	45,119	-	28810	19206
1200	48,838	-	30669	20446
1300	52,410	-	32455	21637
1370	54,819	-	-	22440

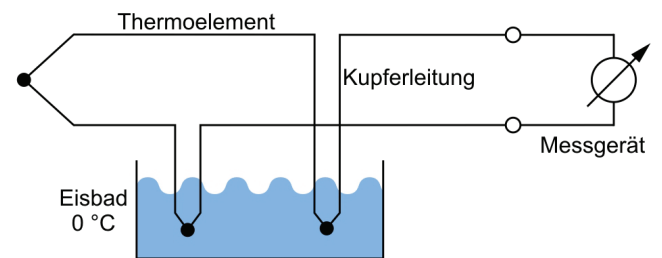
### Der Thermoelektrische Effekt

Die Temperaturmessung mittels Thermoelementen basiert auf dem Seebeck-Effekt: An der Berührungsstelle von zwei verschiedenen Metallen entsteht eine temperaturabhängige Kontaktspannung. Ein Thermoelement oder Thermopaar besteht demnach aus zwei punktförmig miteinander verschweißten Drähten aus verschiedenen Metallen oder Metalllegierungen. Wird diese Kontaktstelle erwärmt, so kann an den Enden eine Spannung gemessen werden.



In der Praxis ist es nun aber nicht möglich, nur ein Thermopaar in einem Stromkreis zu haben. Es muss mindestens eine weitere Stelle geben, an der die Enden zusammengeführt sind oder an ein anderes Metall, z.B. die Kupferspule eines Drehspul-Instruments übergeht. Es sind somit weitere Thermopaare vorhanden, von denen sich die einzelnen Thermospannungen im Stromkreis addieren. In der Summe wird letztlich die Summe aller Thermospannen am Messgerät

gemessen. Sorgt man nun dafür, dass der Übergang am Kupfer des Messwerks an einer Stelle erfolgt, von der die Temperatur bekannt ist, so kann anhand der Temperatur der „Ausgleichsstelle“ und der Thermospannung die Temperatur am Thermoelement bestimmt werden. In Laboranwendungen kann die Ausgleichsstelle in Eiswasser temperiert werden. Damit entspricht die gemessene Thermospannung der Seebeck-Spannung des eingesetzten Thermoelements.



In der Regel wird die Ausgleichsstellen-Temperatur mittels eines absolut messenden Verfahrens bestimmt, beispielsweise mit einem Pt1000. Damit ist es möglich, die Temperatur der Ausgleichsstelle rechnerisch zu kompensieren. Der Anschluss von Thermoelementen erfolgt in der Praxis über Ausgleichsleitungen, die entweder aus dem gleichen Material bestehen oder, bei teuren Edelmetall-Elementen, aus einer Legierung die gleiche thermische Daten besitzt. Die Verlängerung erfolgt dann in der Regel bis zur Ausgleichsstelle, an der dann wieder über eine absolute Temperaturmessung die Temperatur kompensiert wird.

Nach der DIN IEC 584-1 (DIN EN 60 584-1) sind folgende Thermo-paare genormt

Kennbuchstabe	Bezeichnung	Messbereich in °C	Thermospannung in µV
E	NiCr-CuNi	-200...+1000	-8825...+76373
J	Fe-CuNi	-210...+1200	-8095...+69553
K	NiCr-Ni	-200...+1372	-5891...+54886
N	NiCrSi-NiSi	-200...+1300	-3990...+47513
T	Cu-CuNi	-200...+400	-5603...+20872

#### Nicht-Edelmetall-Thermoelemente

Kennbuchstabe	Bezeichnung	Messbereich in °C	Thermospannung in µV
S	Pt10%Rh-Pt	-50...+1768	-235...+18694
R	Pt13%Rh-Pt	-50...+1768	-226...+21103
B	Pt30%Rh-Pt6%Rh	+250...+1820	-291...+13820

#### Edelmetall-Thermoelemente

# DATENBLATT



## Thermoelement Modul mit digitaler I<sup>2</sup>C-Schnittstelle - THMOD-I2C

Die jeweiligen Elemente sind aufgrund unterschiedlicher Legierungen nicht untereinander kompatibel. Die Elemente liefern verschiedene Thermospannungen. Das am häufigsten eingesetzte Thermoelement ist der Typ „K“, das aus der Metalllegierung NiCr-Ni gefertigt wird. Der Einsatztemperaturbereich dieses Typs reicht bis 1200 °C. Thermoelemente bestehen letztlich nur aus einem gekreuzten, verschweißten Leiterpaar, das beispielsweise aus dünnen Drähten hergestellt werden kann. Aufgrund der geringen thermischen Masse ist das Ansprechverhalten extrem schnell.

### Grenzabweichung

Nach der IEC 584 sind drei Toleranzklassen definiert, die für Thermopaare von 0,25 bis 3 mm im Auslieferungszustand gelten. Je nach Material und Einsatztemperatur unterliegen die Thermoelementen einer gewissen Alterung durch Diffusion von Fremdstoffen.

Der Verlauf der Thermospannung über die Temperatur ist nicht linear und muss von der Folgeelektronik oder per Software korrigiert werden. Die Elektronik übernimmt in der Regel auch die Messung und Kompensation der Ausgleichsspannung. Die mechanische Ausführung von Thermoelementen ist sehr vielfältig. Eine besondere Stellung nehmen die Mantel-Thermoelemente ein. Die Thermodrähte sind in einer Kompaktisolation aus Magnesiumoxid eingebettet und mit einem Mantel aus Edelstahl oder Inconel (Nickellegierung) umgeben. Mantel-Thermoelemente sind hermetisch dicht, biegsam und mechanisch sehr beständig. Die Kompaktisolation fixiert die Drähte völlig, so dass interne Kurzschlüsse praktisch ausgeschlossen sind.