Firmware - Beschreibung „Wärmemengenmesser“ mit Attiny 461A

- Spezielle Firmware im Rahmen des Projektes Multisensorplattform (MSP) -

Eigenschaften, Zielsetzung

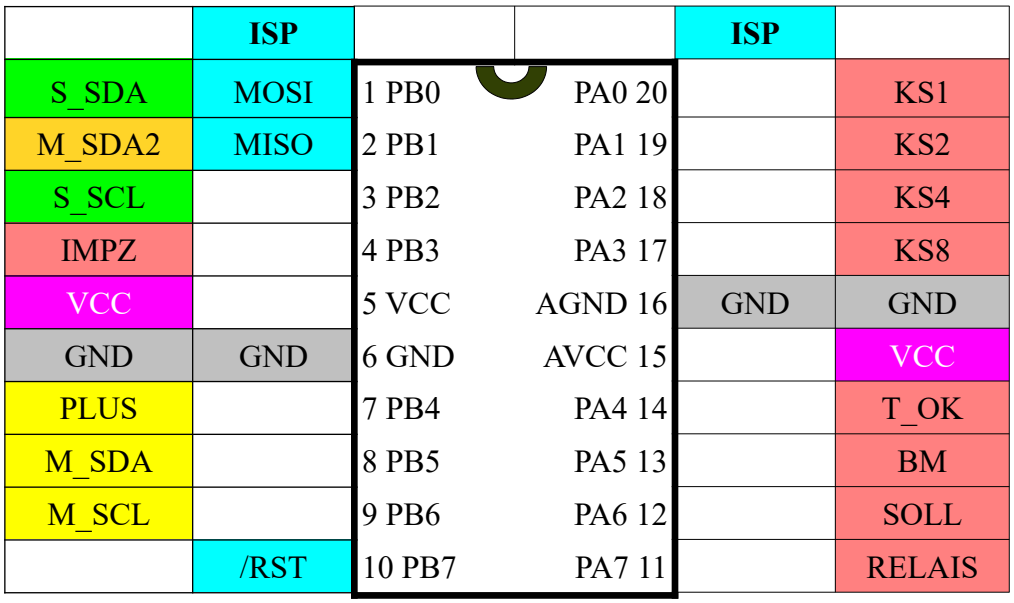
Die Firmware ist ausgelegt für einen preiswerten Wärmemengenmesser (WMM) mit 2 hochgenauen SHT35 Temperatursensoren und einem Durchflussmengenzähler auf Hall-Basis. Die Firmware beruht und kooperiert dabei auf/mit dem Projekt „Multisensorplattform“ im gemeinsamen Adressraum der Feldbusschnittstelle. Die Adresskodierung erfolgt über einen Kodierschalter. Die nötigen lokalen Sensoren (2 hochgenaue SHT3x Temperaturfühler, ein Durchflussmengenzähler) werden automatisch per separater I^2C-Schnittstelle bzw. spezialisierten Pins ausgelesen und an der B-Bus Schnittstelle inklusive Prüfsumme unter einer eigenen (Baugruppen-) Adresse zur Verfügung gestellt (Bridging). Das Programm hauscomp.exe übernimmt die Daten und ermittelt daraus u.a. die Differenztemperatur, die Durchflussmenge je Zeiteinheit und die entsprechende Wärmemenge (ab Version 6.0.60B7).

Es sind bis zu 15 Wärmemengenmesser gleichzeitig am B-Bus einsetzbar.

Eigenschaften der Baugruppe:

- Messung von 2xTemperatur, Luftfeuchtigkeit, Impulszähler. Subadresse/Kodierung 0..14 (0.. 9, A..E):
  - 2x Temperaturmessung mit SHT3x (jeweils I^2C-Adresse 0x44), -40 … +125 °C
  - 1x Messung relative Luftfeuchte, Messbereich 0 … 100 % rF
  - Impulszählung in einem 16-Bit Register, umlaufend zählend
- Ermittlung eines von Hand eingestellten Sollwertes ODER die Detektierung der aktuellen Raumhelligkeit ODER die Messung einer Spannung an Pin-12 (8 Bit im Bereich 0..VCC)
  - Potentiometer oder Fotowiderstand A905014 oder Spannungseingang
- Signalisation bei Fehlern der beiden Temperatur Sensoren (T_OK/Pin 14)
- optional: Detektierung von Bewegungen im Raum (Infrarot-Bewegungsmelder). Einschaltzeit und Empfindlichkeit sind per Poti regelbar.
  - HC-SR501
- Feldbusschnittstelle: B-Bus/ HC-Bus/ I^2C/ TWI (Two-wire) mit einheitlichem Datentelegramm inklusive Prüfsummenübertragung. 15 Baugruppen mit unterschiedlichen Adressen (per Kodierschalter einstellbar) sind parallel am Bus einsetzbar.
- Die Stromversorgung der Multisensor-Plattform erfolgt normalerweise mit +12 V (bei B-Bus und HC-Bus bereits im Bus integriert), kann aber auch im Bereich +7..+18 V liegen. Die Datenansteuerung bei I^2C/ TWI kann in einem weiten Bereich (+2,0..+20 V) erfolgen. Der eingesetzte Mikrocontroller ATtiny 461A wird intern mit +5,0 V oder +3,3 V (bestückter Bewegungssensor) betrieben. Die Firmware selbst ist lauffähig bis herab zu 1,8 V bei einer Stromaufnahme von max. 7 mA (ohne Sensoren/Aktoren).
- Ansteuerung eines Relais über Treiber vom Hauscomputer aus
- Hohe Verfügungsrate, durch integrierten Watchdog und Ausfallerkennung der lokalen I^2C-Sensoren. Bei Bedarf werden die lokalen Sensoren automatisch per Spannungsabschaltung (Pin „PLUS“) neu gestartet.

Pin-Belegung Attiny 461A



- Master- I²C für lokale Sensoren
- Datenleitung für 2. lokalen Sensor (Master- I²C)
- Slave- I²C für Feldbus (B-Bus/ HC-Bus/ I²C/ TWI)
- ISP - Programmierschnittstelle
- Spezialisierte Ein- und Ausgabepins

Pin	Bezeichnung	Bedeutung	Eingang / Ausgang
1	S_SDA	B-Bus (Slave)/ISP-Signal MOSI	E/A [1)]
2	M_SDA2/MISO	Datenleitung SDA für 2. lokalen I2C Sensor/ISP-Signal MISO	E/A [1) 2)]
3	S_SCL	B-Bus (Slave)/ISP-Signal SCK	E [1)]
4	PWM	Impulsmessung Durchflussmenge	E - „high“ aktiv [1)]
5	VCC	+1,8..+5,5V	Spannungsversorgung
6	GND	Masseanschluss	GND
7	PLUS	Stromversorgung Master- I²C (lokalen Sensoren)	A - „high“ aktiv
8	M_SDA	Master- I²C zum Auslesen der lokalen Sensoren	E/A [1) 2)]
9	M_SCL	Master- I²C zum Auslesen der lokalen Sensoren	E
10	/RST	ISP-Signal /RST	E
11	REL	Schalt-Ausgang für Relais	A - „high“ aktiv
12	SOLL	Analoger Eingang: Potenziometer oder Helligkeitssensor	E - +0 .. +VCC
13	BM	Sensor-Eingang Bewegungsmelder	E - „high“ aktiv [1)]

14	T_OK	Signalisation: Dauer-“high“ – beide Temp. Sensoren ok Blinken: – Temp. Sensor 1 Ausfall Dauer-“low“ – Temp. Sensor 2 Ausfall	A - „high“ aktiv
15	VCC	+1,8..+5,5V	Spannungsversorgung
16	GND	Masseanschluss	GND
17-20	KS8/4/2/1	Kodierschalter Pin 8/4/2/1-wertig	E - „low“ aktiv [1]

[1] intern im Mikrocontroller zugeschalteter Pull-up Widerstand (30..60 kOhm)

[2] Der interne Pull-up Widerstand sollte von einem externen Pull-up (10 kOhm) unterstützt werden, da die Signal-Anstiegszeit sonst zu gering wäre und es u. U. zu Lesefehlern kommt (Takt des I2C-Master: 50 … 100 kHz, bzw. 5 … 10 µs Impulslänge).

Zuordnung Kodierschalter WMM zu Subadressen (hauscomp.exe)

KS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
ADR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Technische Daten des Attiny 461A (aktuelle Firmware):

Allgemein

Arbeitstakt: - 4 MHz

Stromaufnahme: - ca. 10 mA (mit Sensoren, ohne Relais, ohne LEDs)

Max. zulässiger Feldbustakt: - 50 kHz bzw. 10 µs minimale Impulsbreite

Watchdog Überwachung im IC bzw. Sensor-Reset bei Ausfällen:

Ausfall Feldbus: - max. 55 s (IC-Reset)

Ausfall lokaler I²C-Sensor: - max. 24 s (Sensor-Reset)

Sollwertgeber/Helligkeit/Spannungsmessung

Potentiometer/Fotowiderstand: - Byte-Wert 0.. 255 im Datentelegramm
- internes Signal „Dunkel“: Byte-Wert > 190

Sensorparameter: - siehe Liste am Ende des Dokuments

Mögliche System-Zustände

Zustand „LAMP“: - Relais wird lokal automatisch geschaltet
(schnelle Relais Aktivierung) ein: Dunkelheit UND Bewegung
aus: keine Bewegung ODER nicht dunkel

Per Bus zuschaltbar: - Relais-Zuschaltsignal, Alarm,externer Hinweis, Signal „LAMP“

Relais

HF49FD-012 (12V), Schaltkontakt belastbar mit: 250VAC/1250VA

Relaisfunktion (Subadresse 1..14)

- Das Relais schaltet, „ein“, wenn:
  - per **Bussignal** das Relais eingeschaltet wird. → universeller Aktor (Lüfter/Pumpe/Licht)
  - per Bus das **Signal LAMP** gesetzt wurde **UND** es **dunkel** ist (6. Datenbyte>190) **UND** der **Bewegung**smelder „ein“ ist. Vorausgesetzt, ein Helligkeits- und Bewegungssensor sind vorhanden. → schnelles Einschalten Licht per Bewegungsmelder
- Das Relais schaltet, „aus“, wenn:
  - Keine Einschaltbedingung mehr erfüllt ist.

Funktionsweise

Die Slave- I²C Funktion für den Hausbus nutzt die interne TWI-Schnittstelle. Sie wird per Interrupt bedient und läuft selbständig. Daten werden per Tabelle im SRAM mit der Mainloop-Routine ausgetauscht. Eine Überwachung durch den Watchdog erfolgt per Adressanalyse.

In einer Mainloop, die auf 6 Sekunden eingestellt ist, erfolgt die Abfrage der I²C-Sensoren am Master- I²C Bus, die Datenauswertung und die zentrale Fehleranalyse für den Status der lokalen I²C-Sensoren. In der zentralen Zeit-Warteschleife ist der Watchdog zur Überwachung des Systems eingebettet. Die Vorbereitung des Datentelegramms für die Übertragung per B-Bus/ HC-Bus/ I²C /TWI erfolgt unmittelbar nach dem Empfang der eigenen Adresse mit gesetztem R/W. Eine Besonderheit ist, dass der Master- I²C Bus 2 Datenleitungen (M_SDA, M_SDA2) unterstützt. Somit können 2 SHT3x Temperatursensoren mit identischer I²C-Adresse ausgelesen werden.

Ein Datenpuffer speichert noch gültige Daten bei kurzzeitigen Master- I²C Ausfällen und überbrückt dann auch den folgenden automatischen Sensor-Reset. Das normale Ausleseintervall der I2C Sensoren beträgt dabei 18 s. In der Zwischenzeit sind die Stromversorgung und die Datenleitungen stromlos.

Sollte ein Messwert als fehlerhaft eingestuft werden, so wird das entsprechende Byte auf „255d“ bzw. „$FF“ gesetzt.

Als Interruptroutinen gibt es:

- TIMER/Counter 1 Overflow aller 256µs – zur Steuerung aller Vorgänge an spezialisierten E/A Pins. Dieser Interrupt ruft u.a. alle 4 ms jeweils eine Teilaufgabe zur Bearbeitung auf, sodass letztlich alle Steuerungsaufgaben im Sekundenrhythmus abgearbeitet werden können.
- TIMER/Counter 0 Overflow für
  - organisiert intern ein 5ms Intervall
- PinChange-Interrupt – Impulszählung IMPZ

Wichtige Systemzustände werden in 3 Programmstatusregistern (PSR, PSR2, PSR3) allen Routinen zur Verfügung gestellt. Vor der Ermittlung von Zuständen, die das Relais eventuell einschalten sollen (wird aller 6 s ermittelt), wird zunächst das Relais ausgeschaltet. Dieser Ausschaltimpuls dauert max. 20µs vor einer (erneuten) Relaisaktivierung.

Gibt es Leseprobleme mit den Temperatursensoren, so wird der Ausgang T_OK (Pin14) (abwechselnd) auf „Low“ gesetzt. Hier kann eine grüne LED mit Vorwiderstand zur Signalisation angeschlossen werden.

Watchdog:

Die Firmware enthält einen mehrstufigen Watchdog:

- Reset des ICs innerhalb von 2 s nach Absturz interner Prozesse
- Reset des ICs im Busbetrieb, wenn auf dem Bus innerhalb von ca. 50 s weder die Broadcastadresse 0x40, noch die aktuelle I²C-Adresse erkannt wird
- Reset des Master- I²C Anschlusses, inklusive Spannungsabschaltung des Master- I²C (erfolgt direkt über PLUS), wenn der lokale I²C-Sensor 4 mal nacheinander innerhalb der 6 s Haupt-Schleife sich nicht meldet (4 x 6 = 24 s)
- Reset des ICs, wenn die Versorgungsspannung am IC < 1,7..2,0V (BODLEVEL 110)

I²C Digitalinterface

Adressierung per B-Bus/ HC-Bus/ I2C/ TWI

I2C-Adressen

Basis-Adresse ohne R/W		Basis-Adresse	.. + Subadr + R/W	ICs	HC	Ökobus
hex	dez (Turbo-Pascal)	bin				
0x00	0	0000	.. + xxx + R/W	reserviert		
0x08	8	0001	.. + xxx + R/W		BA „Deluxe“	E/S0-Block Typ B
0x10	16	0010	.. + xxx + R/W			ATtiny261 analog 8-F
0x18	24	0011	.. + xxx + R/W			ATtiny261 binär 8-F
0x20	32	0100	.. + xxx + R/W	PCF8574	PCF8574, Broadcastadress: Subadr=000	
0x28	40	0101	.. + xxx + R/W	MAX127	ATtiny461 0-7	ATtiny461A 0-7
0x30	48	0110	.. + xxx + R/W	MAX1236	ATtiny461 8-F	ATtiny461A 8-F
0x38	56	0111	.. + xxx + R/W	PCF8574A		
0x40	64	1000	.. + xxx + R/W			
0x48	72	1001	.. + xxx + R/W			
0x50	80	1010	.. + xxx + R/W	PCF8591, LM75, DS1631	ATtiny26 analog 0-3, PCF8591, LM75, DS1631	ATtiny261 analog 0-7
0x58	88	1011	.. + xxx + R/W	AM2320	ATtiny26 binär 0-7	ATtiny261 binär 0-7, E/S0-Block Typ A
0x60	96	1100	.. + xxx + R/W			
0x68	104	1101	.. + xxx + R/W			
0x70	112	1110	.. + xxx + R/W			
0x78	120	1111	.. + xxx + R/W	reserviert		

ATtiny261 analog: /A3 0 1 0 A2 A1 A0 R/W
ATtiny261 binär: /A3 0 1 1 A2 A1 A0 R/W

ATtiny461A: 0 1 0 1 A2 A1 A0 R/W
+A3

Als Basis-Adresse wurde für die Firmware 0x28/0x30 + Subadresse festgelegt:

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
0	1	0	1	A2	A1	A0	R/W	- Subadresse 0..7 (A3=0)
0	1	1	0	A2	A1	A0	R/W	- Subadresse 8..15 (A3=1)

Die Adress-Bits der Sub-Adresse A0..A3 korrespondieren dabei mit den Pins KS1..KS8. Allerdings sind die Eingänge KS-x wegen der Beschaltung des eingesetzten Kodierschalters negiert. Daraus ergibt sich auch die Subadresse 0 bzw. die Adresse 0101000+R/W, wenn kein Kodierschalter verwendet wird und nur die internen Pull-up Widerstände wirken → diese Adresse wird für die interne Stand-Alone Erkennung genutzt, kann aber trotzdem auch per Bus angesprochen werden. Über die Anschlüsse A0 bis A3 können letztlich 16 der ICs gleichzeitig auf dem Bus adressiert werden.
Für 1-Pegel am Kodierschalter sind wegen der verwendeten internen Pull-Up keine externen Widerstände notwendig.

Bus-Ansteuerung:

Der IC kann per Bus vom Master aus sowohl schreibend als auch lesend angesprochen werden. Die Übertragung erfolgt gemäß I^2C-Protokoll mit den Elementen Start/Stop/ACK mit einer Taktfrequenz von maximal 50kHz. Ein Clock-Streching gibt es nicht. **Die maximale Taktfrequenz beträgt 50 kHz bzw. 10 µs Impulslänge je Takt**.

1. Schreibender Zugriff

Übertragung der Adresse mit ***nicht gesetztem*** R/W Bit und nachfolgender Bestätigung durch den Slave (ACK). Anschließend erfolgt die Übertragung per festgelegtem Datentelegramm vom Master zum Slave. Der Slave bestätigt nach jedem Byte mit ACK. Es ist nur eine 2 Byte Übertragung möglich.
Beispiel für eine Datenübertragung an die Subadresse „1“ (xxxxx = 01001), bzw. Adresse 0x29:

	Adressbyte			1. Datenbyte		2. Datenbyte		
Start	Slave Adress	R/W	ACK Slave	Steuerbyte (z.B. Relais ein)	ACK Slave	Prüfsumme (z.B. 3Ah)	ACK Slave	Stopp
S	0 1 x x x x x	0		0 0 0 1 0 0 0 0		0 0 1 1 1 0 1 0		P

Byte	Bedeutung	Bemerkungen
1. Datenbyte	Steuerbyte	Bit-weise Befehle, sie werden nach korrektem Empfang sofort ausgeführt
2. Datenbyte	Prüfsumme	PS = Adresse+Steuerbyte

Bitposition Steuerbyte	7	6	5	4	3	2	1	0
Bedeutung	Zustand LAMP einschalten	Externen Hinweis einschalten	Alarm einschalten	Relais einschalten	Zustand LAMP ausschalten	Hinweis ausschalten	Alarm ausschalten	Relais ausschalten

Zustand LAMP:

Das Relais wird automatisch eingeschaltet, wenn

- „Dunkel“ UND „Bewegungsmelder ein“
- „Dunkel“ UND kein Bewegungsmelder bestückt (interner Pull-up imitiert BM)

wobei das interne Signal „Dunkel“ gebildet wird, wenn der Dunkelwert vom ADC (bzw. das 6. Byte beim lesenden Zugriff) < 190 ist. Mit dieser Funktion können Beleuchtungsszenarien verzögerungsfrei ohne Umweg über den BUS bzw. den Master geschaltet werden.

2. lesender Zugriff Subadresse 0 … 14 (10 Datenbytes)

Übertragung der Adresse mit ***gesetztem*** R/W Bit und nachfolgender Bestätigung durch den Slave (ACK). Anschließend erfolgt das Auslesen vom Slave durch den Master per festgelegtem Datentelegramm. Der Master bestätigt dabei jedes empfangene Byte (außer das letzte) mit ACK. Fehlt die Bestätigung so beendet die Firmware die aktuelle Datenübertragung.

	Adressbyte			1. Datenbyte		2. Datenbyte	
Start	Slave Adress	R/W	ACK Slave	Datenbyte (z.B. 02h)	ACK Master	Datenbyte (z.B. 00h)	ACK Master
S	0 1 x x x x x x	1		0 0 0 0 0 0 1 0		0 0 0 0 0 0 0 0	

	3. Datenbyte		4. Datenbyte		5. Datenbyte	
…	Datenbyte (z.B. F6h)	ACK Master	Datenbyte (z.B. 72h)	ACK Master	Datenbyte (z.B. 06h)	ACK Master
	1 1 1 1 0 1 1 0		0 1 1 1 0 0 1 0		0 0 0 0 0 1 1 0	

	6. Datenbyte		7. Datenbyte		8. Datenbyte	
…	Datenbyte (z.B. 13h)	ACK Master	Datenbyte (z.B. 15h)	ACK Master	Datenbyte (z.B. FFh)	ACK Master
	0 0 0 1 0 0 1 1		0 0 0 1 0 1 0 1		1 1 1 1 1 1 1 1	

	9. Datenbyte	
…	Datenbyte (z.B. FFh)	ACK Master
	1 1 1 1 1 1 1 1	

	10. Datenbyte		
…	Datenbyte (z.B. CFh)	NoACK Master	Stopp
	1 1 0 0 1 1 1 1	X	P

Beispiel für eine Datenübertragung von Subadresse „12“ :

Byte	Bedeutung	Bemerkungen	Beispiel
Adressbyte	I2C-Adresse	Mit R/W Bit	
1. Datenbyte	Status-Byte	>223: Kein Sensor am lokalen- I^2C erkannt	194h: WMM, „BM“ ein
2. Datenbyte	Temperatur1 High-Byte	255: Ausfall Temperaturmessung	99h: T-high (23,2°C)
3. Datenbyte	Temperatur1 Low-Byte		190h: T=-45+175* *(99*256+190)/65535 T =23,18 °C
4. Datenbyte	Luftfeuchte Sensor 1	255: Ausfall Feuchtemessung	124h: F_{rel} = 124/2,56 % F_{rel} = 48,4 %
5. Datenbyte	Impulszähler High	Durchflusszähler	00h:
6. Datenbyte	Sollwert/Helligkeit.	255: Ausfall	13h: (255-19)*4=944 Lux
7. Datenbyte	Impulszähler Low	Durchflusszähler	00h: IMPZ=0*256+0
8. Datenbyte	Temperatur2 High-Byte		99h: T-high=99
9. Datenbyte	Temperatur2 Low-Byte		163h: T=-45+175* *(99*256+163)/65535 T =23,11 °C
10. Datenbyte	Prüfsumme		158h = xxh+194h+99h+ +190h+124h+0h+ +04h+0h+99h+163h+1

* Wert=255 in den ersten ca. 2 min nach Spannung anlegen

3. Datenbereiche

Status-Byte (nur lesender Zugriff):

Bitposition	7	6	5	4	3	2	1	0
Ausfall WMM (kein SHT3xx Sensor erkannt)	1	1	1	X	X	X	X	X
Sensor AM23xx erkannt	0	0	0	LAMP	REL	HINW	BM	Alrm
Sensor AM23xx und AS650x erkannt	0	0	1	LAMP	REL	HINW	BM	Alrm
Sensor SHT3x erkannt	0	1	0	LAMP	REL	HINW	BM	Alrm
Sensor SHT3x und AS650x erkannt	0	1	1	LAMP	REL	HINW	BM	Alrm
1.+2. Sensor SHT3x erkannt	1	1	0				BM	
nur 1. Sensor SHT3x erkannt	0	0	1				BM	

LAMP: Das Relais schaltet lokal automatisch in Abhängigkeit Helligkeit, Bewegungsmelder
REL: Relais ist eingeschaltet
HINW: externen Hinweis wurde (vom Master) gesetzt
BM: Bewegungsmelder hat ausgelöst
Alrm: Alarm ist ausgelöst (lokal oder zentral vom Master). Achtung: Ein lokaler Alarm kann vom Master nicht zurückgesetzt werden. Ein Master-Alarm kann aber lokal per Taster zunächst „unhörbar“ gemacht werden, das Signal „Alrm“ bleibt dann nur noch bis zum automatischen Rücksetzen des lokalen Alarms bestehen

lokaler Alarm: Wird automatisch ausgelöst, wenn der CO2-Gehalt > 2000 ppm (< 0,2 %), sofern ein CO2-Sensor verbaut.

Temperatur (SHT30, SHT31 -40,0..+125 °C; Auflösung 0,01 °C; Genauigkeit +/- 0,2 °C):
Temperatur (SHT35 -40,0..+125 °C; Auflösung 0,01 °C; Genauigkeit +/- 0,1 °C):

- Berechnung: physikalischer Wert [°C] = -45+175*(((256* 2. Byte) + 3. Byte)/65535)

	2. Byte	3. Byte
phys.Wert	High-Wert	Low-Wert
+24,0°C	100	255
0°C	65	212

Feuchte (SHT30, SHT31 0..+100%; Auflösung 1 %; Genauigkeit +/- 2 %):
Feuchte (SHT35 0..+100%; Auflösung 1 %; Genauigkeit +/- 1,5 %):

- Berechnung: physikalischer Wert [%] = 4. Byte/2,56

phys.Wert	4. Byte
+100%	256
+0,0%	0

Impulszähler (IMPZ-Eingang)
(Zählumfang: 65536 ; max. ca. 1kHz):

- Berechnung: physikalischer Wert = 5. Byte *256 + 7. Byte

Sollwert (-6,1..+6,1grd; Auflösung 0,05 °C):

- Berechnung: physikalischer Wert [grd] = (6. Byte-127) / 20

phys.Wert	Wert
+6,1%	250
-6,1%	5

Spannungsmessung (0 … +5 V; Auflösung 0,0 V):

- Berechnung: physikalischer Wert [V] = (6. Byte) * 5/256

phys.Wert	Wert
+6,1%	250
-6,1%	5

Helligkeit (etwa 1 .. 1000 Lux):

- grobe Berechnung: physikalischer Wert [Lux] = (255-6. Byte) * 4

phys.Wert		Wert
5	Lux	227
9	Lux	183
600	Lux	5
1000	Lux	2

Winkelmessung 0…359° (AS5600 an Master-I²C /nur Subadresse 15, Auflösung 1,4°):

- Berechnung: physikalischer Wert [°] = 8. Byte * 360 / 256

Prüfsumme (PS):

- Berechnung: PS = Adresse + [1. Datenbyte] + [2. Datenbyte] +..+ [9. Datenbyte] + 1

Ergänzende Technische Daten Schaltkreise/Sensoren

Sensor	***Parameter****	***Stromversorgung****	***Bemerkungen***
ATtiny461A		+1,8..5,5 V < 3 mA	
SHT30,SHT31 SHT35	T: -40..+125 °C, Auflösung: 0,01 °C Genauigkeit: ± 0.2 °C / ± 0.1 °C (SHT35) rF: 0..100 % Auflösung: 0,01 % Genauigkeit: ± 2 %	+2,15..+5,5 V < 1,5 mA	Die Genauigkeit der Messungen weicht in Grenzbereichen ab, Datenblatt beachten! Empfohlen ist +5 °C … +60 °C und 20 % rF … 80 % rF
HC-SR501	IR-Bewegungsmelder	+5..+20 V < 0,1 mA Output: 0..+3,3 V	Interner Spannungsregler 7133-1 (max. 30mA) mit Diode entkoppelt.

* Die Angaben zu Genauigkeit und Stromaufnahme beruhen u.a. auf eigenen Vergleichsmessungen mehrerer gleichartiger Sensoren bei gleichen Bedingungen untereinander. Die Herstellerangaben sind z.T. unvollständig oder geschönt.

Versionsgeschichte Firmware

Datum	Version	Änderungen	Bemerkungen
09.04.2026	1.0	Erste Freigabe als Wärmemengenmesser	