Firmware - Beschreibung „Multisensor“ mit Attiny 461A

- Projekt Multisensorplattform (MSP) -

Eigenschaften, Zielsetzung

Die Firmware ist ausgelegt für einen preiswerten skalierbaren Raum- oder Außensensor, der sowohl als Stand-Alone, als auch als Datensensor mit einer Feldbusschnittstelle genutzt werden kann. Die dazu nötigen lokalen Sensoren werden automatisch per I^2C-Schnittstelle bzw. spezialisierten Pins ausgelesen und an der B-Bus Schnittstelle inklusive Prüfsumme unter einer eigenen (Baugruppen-) Adresse zur Verfügung gestellt (Bridging). Je nach Ausstattung mit Sensoren ergeben sich trotz einheitlicher Firmware zahlreiche Varianten. In der Vollausstattung sind die Messung von Temperatur, Feuchte, CO2, Bewegungsmelder, Helligkeit u.a.m. von 16 Baugruppen an einem Bus möglich. Insgesamt können so die Daten von etwa 100 Sensoren/Aktoren übermittelt werden. Zusätzlich werden sinnvolle lokale Funktionen zur Ansteuerung eines internen Relais umgesetzt – um z.B. ohne Master die Beleuchtung oder einen Lüfter zu schalten.

Spätere Erweiterungen in der Firmware auf neue Sensoren oder Funktionen sind denkbar, die derzeitige Code-Auslastung liegt bei 77% (ca. 2500 Assembler- Programmzeilen Firmware 2.0).

Eigenschaften der Baugruppe:

- Messung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO2-Gehalt, Windgeschwindigkeit der umgebenen Luft (je nach Sensor-Ausstattung). Als Sensoren werden selbstständig erkannt:
  - AM2315/AM2320/AM2321/AM2322/SHT3x (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) Die hauscomp.exe unterstützt SHT3x Sensoren ab Version 6.0.60B6
  - Subadresse/Kodierung 0..14 (0.. 9, A..E): MH-Z19 (CO2-Sensor)
    - Standard: Typ mit Messbereich 0 … 5000 ppm
    - Beim Einsatz eines Sensors mit Messbereich 0 … 2000 ppm schalten LED- und Alarmfunktion bereits unter Normalbedingungen und können daher nur mit der angepassten Firmware Mx.x**T** korrekt genutzt werden. Die hauscomp.exe unterstützt diesen Sensortyp (unabhängig von der Firmware) ab Version 6.0.60B4.
  - Subadresse/Kodierung 15 (F): Frequenzmessung 0 .. 42 Hz (Windmesser),Impulszählung (Regenmesser), AS5600 Winkelmessung u.a.
- Detektierung von Überschreitungen im lokalen CO2-Messwert mit akustischer Signalisation
- 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
- 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. 16 Baugruppen mit unterschiedlichen Adressen (per Kodierschalter einstellbar) sind parallel am Bus einsetzbar. Bei Adresse „0“ (oder kein Kodierschalter bestückt) wird automatisch der „Standalone“ Modus mit einigen Besonderheiten aktiviert.
- 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 I²C/ TWI kann in einem weiten Bereich (+2,0..+20 V) erfolgen. Der eingesetzte Mikrocontroller ATtiny 461A wird, je nach verwendeten I²C-Sensoren, intern mit +3,3 V oder +5,0 V betrieben. Die Firmware selbst ist lauffähig bis herab zu 1,8 V bei einer Stromaufnahme von max. 2 mA (ohne Sensoren/Aktoren).

- Ansteuerung eines Relais über Treiber Mehrere Betriebsmodi: Bei Standalone-Betrieb schaltet das Relais z.B. je nach Sensor-Bestückung automatisch (Dunkel und Bewegung bzw. Luftfeuchte > Soll, CO2 größer 1200 ppm u.v.m.).
- Per Feldbusschnittstelle sind jeweils einzeln oder gleichzeitig zuschaltbar/abschaltbar:
  - externes Hinweissignal
  - Alarmsignal
  - externes Relais-Zuschaltsignal
  - Zustand „LAMP“ - bei dem das Relais automatisch bei „Bewegungsmelder“ UND „geringe Helligkeit“ geschaltet wird.
- Soundausgabe mit unterschiedlichen Tönen (je nach Zustand), jederzeit per Taster abschaltbar; automatische Verringerung der Alarm-Lautstärke nach 3min
- Alarmauslösung, Eigenkontrolle und Reset der Baugruppe per Taster möglich
- Hohe Verfügungsrate, durch integrierten Watchdog und Ausfallerkennung der lokalen I²C-Sensoren. Bei Bedarf werden die lokalen Sensoren automatisch per Spannungsabschaltung (Pin „PLUS“) neu gestartet.

Pin-Belegung Attiny 461A

	ISP			ISP	
S_SDA	MOSI	1	20		KS1
SOUND	MISO	2	19		KS2
S_SCL		3	18		KS4
CO2-PWM		4	17		KS8
VCC		5	16	GND	GND
GND	GND	6	15		VCC
PLUS		7	14		TAST
M_SDA		8	13		BM
M_SCL		9	12		SOLL
	/RST	10	11		RELAIS

- Master- I²C für lokale Sensoren
- 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	SOUND/MISO	Soundausgang/ISP-Signal MISO	E/A
3	S_SCL	B-Bus (Slave)/ISP-Signal SCK	E [1)]
4	PWM	CO2-Sensor-Eingang (1Hz-PWM) oder Frequenzmessung 42Hz (Windsensor)	E - „high“ aktiv [1)]
5	VCC	+1,8..+5,5V	Spannungsversorgung
6	GND	Masseanschluss	GND
7	PLUS	Stromversorgung Master- I^2C (lokalen Sensoren)	A - „high“ aktiv
8	M_SDA	Master- I^2C zum Auslesen der lokalen Sensoren	E/A
9	M_SCL	Master- I^2C 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	TAST	Eingang für Taster	E - „low“ aktiv [1)]
15	VCC	+1,8..+5,5V	Spannungsversorgung
16	GND	Masseanschluss	GND
17	KS8	Kodierschalter Pin 8-wertig	E - „low“ aktiv [1)]
18	KS4	Kodierschalter Pin 4-wertig	E - „low“ aktiv [1)]
19	KS2	Kodierschalter Pin 2-wertig	E - „low“ aktiv [1)]
20	KS1	Kodierschalter Pin 1-wertig	E - „low“ aktiv [1)]

[1)] intern im Mikrocontroller zugeschalteter Pull-up Widerstand (10..20 kOhm)

Technische Daten des Attiny 461A (aktuelle Firmware):

Allgemein

Arbeitstakt: - 4 MHz
Stromaufnahme: - ca. 1,5 mA
Max. zulässiger Feldbustakt: - 50 kHz bzw. 10 µs minimale Impulsbreite
Watchdog Überwachung im IC bzw. Sensor-Reset bei Ausfällen:
Stand-Alone: - max. 2 s (IC-Reset)
Ausfall Feldbus: - max. 55 s (IC-Reset)
Ausfall lokaler I^2C-Sensor: - max. 24 s (Sensor-Reset)

Soundausgabe/LED

Alarm: - ununterbrochen wechselnd 2 kHz/ 1 kHz
Alarm nach 3 min: - Lautstärke reduziert
Lokaler Hinweis: - kurzer Impuls 250 Hz, alternierend jede Sekunde
Externer Hinweis: - kürzerer Impuls 250 Hz, alternierend jede Sekunde

Tastenfunktionen

<0,2 s gedrückt:	- aktuellen Sound ausschalten (Alarm&Hinweis)
>2-3 s gedrückt:	- Relais von Hand für 10 min einschalten (Vorrang)
>6-7 s gedrückt:	- Alarm einschalten
>8-9 s gedrückt:	- IC-Zwangsreset (Neustart Firmware)

Sollwertgeber/Helligkeit/Sensoren

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“: (schnelle Relais Aktivierung)	- Relais wird lokal automatisch geschaltet ein: Dunkelheit UND Bewegung aus: keine Bewegung ODER nicht dunkel
Per Bus zuschaltbar:	- Relais-Zuschaltsignal, Alarm,externer Hinweis, Signal „LAMP“

Überschreitung CO2 (nur möglich für Subadresse 0..14)

Korrekte Firmware je CO2-Sensortyp für diese lokalen Funktionen vorausgesetzt!

1200..2000 ppm (mit Hysteresis): per Voter ermittelt:	- lokaler Hinweissound
>1800..2000 ppm (mit Hysteresis):	- Alarmsound
Rücksetzen lokalen Alarm:	- Unterschreitung der Grenzwerte (Stand-Alone) - CO2<1200 ppm **und Hand-Aus**

Hinweis zur CO2-Messung: In der Anheizphase des CO2-Sensors (in den ersten 2 min nach IC-Reset) wird, um Fehlmessungen zu vermeiden, der CO2-Wert konstant mit 300 ppm angenommen und auch per Bus ausgegeben.

Relais

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

Relaisfunktion (Subadresse 0)

- Erweiterte Relaisfunktionen (siehe Abschnitt Funktionsweise)

Relaisfunktion (Subadresse 1..14)

- Das Relais schaltet, „ein“, wenn:
  - der **Taster 2-3 s** gedrückt wird. → universeller Aktor (Lüfter/Pumpe/Licht)
  - 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:
  - per Taster das Relais eingeschaltet wurde und seit dem 10 min vergangen sind. Ein „Nachtriggern“ durch erneute Tastenbetätigung ist möglich.
  - Keine Einschaltbedingung mehr erfüllt ist.

Funktionsweise

Die Slave- I²C Funktion 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 Vorbereitung des Datentelegramms für die Übertragung per B-Bus/ HC-Bus/ I²C /TWI. Auch eine zentrale Fehleranalyse für den Status der lokalen I²C-Sensoren ist hier beheimatet. In der zentralen Zeit-Warteschleife ist der Watchdog zur Überwachung des Systems eingebettet.

Ein Datenpuffer speichert noch gültige Daten bei kurzzeitigen Master- I²C Ausfällen und überbrückt dann auch den folgenden Sensor-Reset. Das normale Ausleseintervall der I2C Sensoren beträgt dabei 24 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 weitere Interruptroutinen gibt es:

- TIMER/Counter 1 Overflow aller 256µs – zur Steuerung aller Vorgänge an spezialisierten E/A Pins (Sound, Taster usw.). 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
    - die Messung des PWM-Signals vom CO2-Sensor mit echter interner Synchronisierung auf +/- 0,5% der Signalperiodendauer (Subadresse 0..14)
    - die Messung einer Frequenz am Pin PWM (z.B. vom Windmesser) mit der Mikrocontroller-Taktgenauigkeit von 10% (Subadresse 15)
- PinChange-Interrupt – zur Erkennung des PWM-Signals vom CO2-Sensor

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 bei erneuter Relaisaktivierung.

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 IC-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 von Hand per Tasten-Auslösung (Taste länger als 8 s gedrückt)
- Reset des ICs, wenn die Versorgungsspannung am IC < 1,7..2,0V (BODLEVEL 110)

Besonderheiten des Stand-Alone Betriebes (Subadresse 0):

- Erkennung durch High-Pegel an jeweils KS1..KS8 (=Subadresse „0“ oder kein Kodierschalter bestückt)
- zusätzlicher Signalton nach Spannung anlegen (→ Kontrollsignal, das Spannung vorhanden ist)
- Das Alarmsignal wird sofort gelöscht, wenn kein Parameteralarm (z.B. CO2 < 1800 ppm) mehr anliegt (im Bus-Betrieb, bzw. bei Subadresse 1..15, kann das Alarmsignal nur von Hand oder vom Master zurückgesetzt werden)
- Der Zustand „LAMP“ (Relais schaltet automatisch bei geringer Helligkeit UND Bewegungserkennung) wird nach Reset automatisch gesetzt, kann aber per Bus abgeschaltet werden.
- Das Relais schaltet automatisch, wenn
  - ein **T/F Sensor** erkannt wird **UND** wenn die gemessene **relative Luftfeuchte größer als der eingestellte Sollwert** (+VDD..0 V entsprechen dabei 77..102%) ist. Die Hysterese beträgt +/- 2,4 %. Ein T/F Sensor AM23xx und ein Sollwertgeber (Potenziometer) sind Voraussetzung für diese Funktion. → Anwendung für Badventilator
  - **kein T/F Sensor** erkannt wird **UND** wenn die gemessene **Helligkeit Dunkel** ist (6. Datenbyte>190) **UND** wenn der **Bewegungsmelder aktiviert** ist. Ein Helligkeitssensor und ein Bewegungssensor sind Voraussetzung für diese Funktion. Ein Anschluss an den Hausbus ist wenig sinnvoll, da der Modul als ausgefallen deklariert wird.
    → Anwendung für Außenlichtschalter&Bewegungsmelder
  - der **CO2-Messwert gültig** ist **UND 1200 ppm** über- bzw. **1125 ppm** unterschritten werden (mit Hysterese). Das entspricht auch der Ausgabe des lokalen Hinweises. Ein CO2-Sensor ist Voraussetzung für diese Funktion. Damit es keine Überschneidungen mit den vorangegangenen Funktionen gibt, sollte kein T/F Sensor installiert sein und Pin 12 (Sollwert-Eingang) sollte an VCC gelegt werden.
    → Anwendung für automatische Lüftung in Wohn- und Arbeitsräumen
- Die internen oder externen Signale „LAMP“ bzw. das externe Schalten des Relais (über den Bus) werden ignoriert. Der korrekte Relaiszustand bezogen auf Temperatur, Feuchte usw. kann aber per Bus ausgelesen werden.

Besonderheiten des Betriebes als Außensensor (Subadresse 15):

- Der Kodierschalter kann durch 4 Drahtbrücken ersetzt werden
- Der PWM-Eingang (Pin 4) arbeitet als Frequenzmesseingang (Windsensor, max. 42 Hz)
- Der Eingang TAST (Pin 14) arbeitet als Impulszähleingang für Regenmessung (max. 5 Hz)
- Die Impulse an TAST und PWM müssen prellfrei sein, sonst beeinflussen sie sich gegenseitig (→ Verwendung von Hall-Sensoren für beide Eingänge ist daher optimal). In den ersten 2min nach Spannung anlegen gibt es daher keinen Regenwert (Daten 7&8=255).
- Nicht anschließbar sind: CO2-Sensor, Taster
- Bei der externen Auslösung „Alarm“ per I^2C-Bus ertönt ein charakteristisches Signal im 5 s-Intervall (wenn ein Piezo-Signalgeber angeschlossen ist) für maximal 1 min, das Hinweissignal ist dem der anderen Adressen gleich und kann auch gleichzeitig zum Alarmsignal aufgeschaltet werden. Da es keine Taste mehr gibt, ist ein (händisches) lokales Abschalten auch nicht mehr möglich.
- extrem kurzer zusätzlicher Signalton nach Spannung anlegen
- Die Messung der relativen Feuchte mit AM23xx im Außenbereich kann problematisch sein.

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 100kHz. 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)

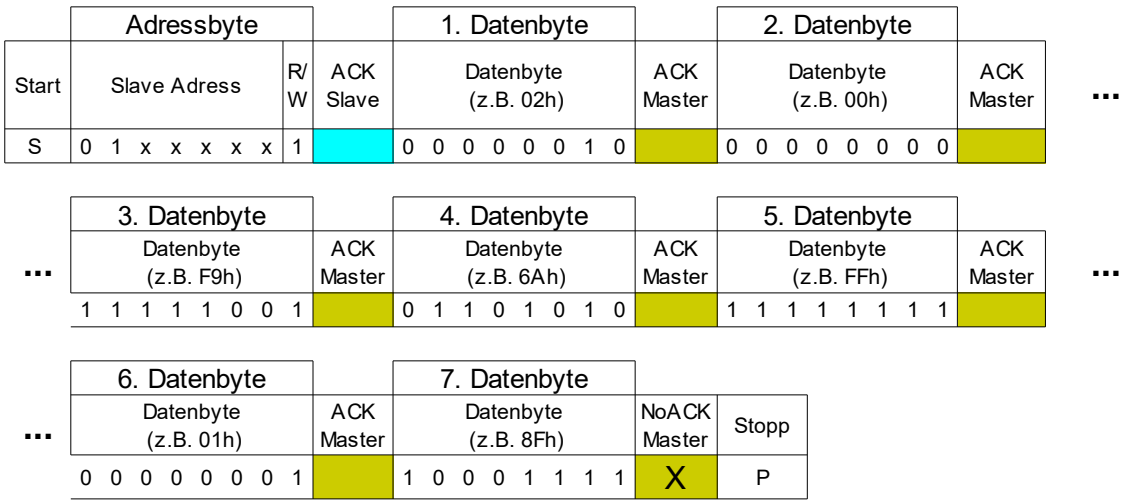
wobei das interne Signal „Dunkel“ gebildet wird, wenn der Dunkelwert vom ADC (bzw. das 6. Byte beim lesenden Zugriff) < 190 ist. Mit dieser Funktion können Beleuchtungsszenarien verzögerungsfrei ohne Umweg über den BUS bzw. den Master geschaltet werden.

2. lesender Zugriff

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.

2.1. Subadressen 0 … 14 (7 Datenbytes)

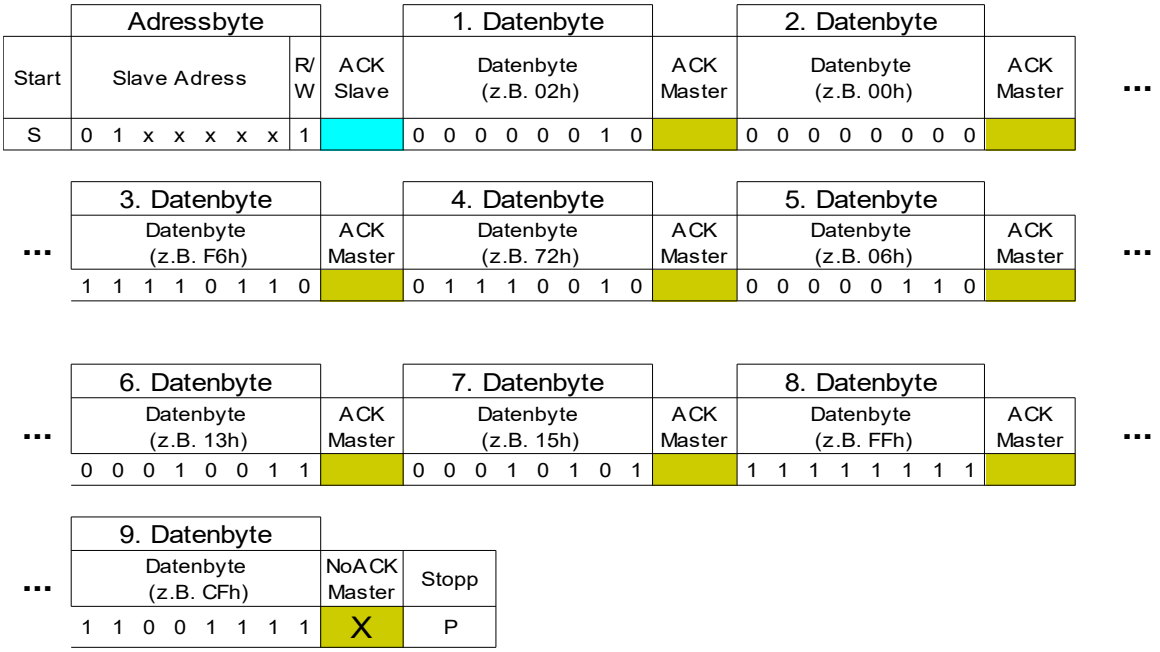
Beispiel für eine Datenübertragung von Subadresse „1“ (xxxxx = 01001), bzw. Adresse 0x29:



Byte	Bedeutung	Bemerkungen	Beispiel
1. Datenbyte	Status-Byte	>223: Kein Sensor am lokalen- I²C erkannt	02h: AM23xx, „BM“ ein
2. Datenbyte	Temperatur High-Byte	255: Ausfall Temperaturmessung	00h: T-high=0
3. Datenbyte	Temperatur Low-Byte		F9h: T=(0*256+249)/10 T =24,9 °C
4. Datenbyte	Luftfeuchte	255: Ausfall Feuchtemessung	6Ah: F_{rel} = 106/2,5 % F_{rel} = 42,4 %
5. Datenbyte	Adr. 0..14: CO2-Wert	255: Ausfall CO2-Messung	FFh: kein Sensor
6. Datenbyte	Sollwert/Helligkeit Adr. 15: Regenimpulse	255: Ausfall	01h: (255-1)*4=1016 Lux
7. Datenbyte	Prüfsumme		8Fh = 29h+02h+00h+ +F9h+6Ah+FFh+01h+1

2.2. Subadresse 15 (9 Datenbytes)

Beispiel für eine Datenübertragung von Subadresse „15“ (xxxxx = 10111), bzw. Adresse 0x37:



Byte	Bedeutung	Bemerkungen	Beispiel
1. Datenbyte	Status-Byte	>223: Kein Sensor am lokalen- I^2C erkannt	02h: AM23xx, „BM“ ein
2. Datenbyte	Temperatur High-Byte	255: Ausfall Temperaturmessung	00h: T-high=0
3. Datenbyte	Temperatur Low-Byte		F6h: T=(0*256+246)/10 T =24,6 °C
4. Datenbyte	Luftfeuchte	255: Ausfall Feuchtemessung	72h: F_{rel} = 114/2,5 % F_{rel} = 45,6 %
5. Datenbyte	Adr. 15: Frequenzmessung	Windgeschwindigkeit	06h: 06/6,0=1Hz
6. Datenbyte	Sollwert/Helligkeit/WindR.	255: Ausfall	13h: (255-19)*4=944 Lux
7. Datenbyte	Regenimpulszähler*	0 … 255, modulo zählend	Zählerstand: 15h=21
8. Datenbyte	Windrichtung (digital)*	0 … 254, 254 bei Ausfall	FFh: n.a.
9. Datenbyte	Prüfsumme		CFh = 37h+02h+00h+ +F6h+72h+06h+13h+ +15h+FFh+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
Kein I^2C-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

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 (AM2320/1 -40,0..+80,0°C; Auflösung 0,1 °C; Genauigkeit +/- 0,7 °C):
Temperatur (AM2322 -40,0..+80,0°C; Auflösung 0,1 °C; Genauigkeit +/- 0,5 °C):
Hinweis: bitte die Temperaturabweichung dT beachten!
AM2320: ca. +0,45°C AM2322: ca. +1,2°C

- Berechnung: physikalischer Wert [°C] = (256* 2. Byte) + 3. Byte, Vorzeichen berücksichtigen!

phys.Wert	2. Byte High-Wert	3. Byte Low-Wert
+80,0°C	3	32
+76,8°C	3	0
+51,2°C	2	0
+25,6°C	1	0
+10,0°C	0	100
0°C	0	0
-10,0°C	128	100
-35,6°C	129	100

Feuchte (AM2320/1 0..+99,9%; Auflösung 0,5 %; Genauigkeit +/- 5 %):
Feuchte (AM2322 0..+99,9%; Auflösung 0,5 %; Genauigkeit +/- 3 %):

- Berechnung: physikalischer Wert [%] = 4. Byte/2,5

phys.Wert	4. Byte
+100%	250
+0,0%	0

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
- 40,0°C	7	80

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

- Die Firmware betreibt den Sensor im Modus „Medium repeatability“ und Heizung aus.
- Berechnung: physikalischer Wert [%] = 4. Byte/2,56

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

CO2 (/nur Subadressen 0..14)
(MH-Z19 0..+0,5%; Auflösung 0,0025 %; Genauigkeit +/- 0,03 %):
(bzw. 0..+5000 ppm; Auflösung 25 ppm; Genauigkeit +/- 300 ppm):

- **Typ 0..+5000 ppm**
  Berechnung: physikalischer Wert [%] = 5. Byte*25/1000
  [ppm]= 5. Byte*25

phys.Wert	5. Byte
+0,5% / 5000 ppm	200
+0,0% / 0 ppm	0

- **Typ 0..+2000 ppm**
  Berechnung: physikalischer Wert [%] = 5. Byte*10/1000
  [ppm]= 5. Byte*10

phys.Wert	5. Byte
+0,2% / 2000 ppm	200
+0,0% / 0 ppm	0

Frequenzmessung bzw. Impulse je Sekunde (PWM-Eingang /nur Subadresse 15)
(0..+42,5 Hz, Auflösung 0,2 Hz; Genauigkeit +/- 10 %):

- Berechnung: physikalischer Wert [Hz] = 5. Byte / 6

phys.Wert	Wert
0,0 Hz	0
0,17 Hz	1
42,5 Hz	255

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

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

Regenmessung (Impulszählung am TAST-Eingang /nur Subadresse 15):

- Ein Modulo-Zähler (0…255) zählt Impulse. Das Aufrufende Programm erhält den aktuellen Zählerstand und führt die Auswertung nach Zeitintervall und Regenmenge je Impuls durch.

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] +..+ [6.(8.) Datenbyte] + 1

Ergänzende Technische Daten Schaltkreise/Sensoren

Sensor	***Parameter****	***Stromversorgung****	***Bemerkungen***
ATtiny461A		+1,8..5,5 V < 3 mA	
AM2320 AM2321	T: -40..+80 °C, Auflösung: 0,1 °C Genauigkeit: ± 1 °C rF: 0..99,9 % [1)] Auflösung: 0,1 % Genauigkeit: ±5 %	+3,1..+5,5 V < 1 mA	Instabile I^2C-Anbindung. Im Dauerbetrieb müssen Ausfälle durch Spannungsabschaltung behoben werden. T-Messwerte folgen der realen Lufttemperatur mit ca. 3°C/min (kein Zug) Zusätzliche interne Heizung → Fehler dT
AM2322	T: -40..+80 °C, Auflösung: 0,1 °C Genauigkeit: ± 0.7 °C rF: 0..99,9 % [1)] Auflösung: 0,1 % Genauigkeit: ±3 %	+3,1..+5,5 V < 1 mA	T-Messwerte folgen der realen Lufttemperatur mit ca. 3°C/min (kein Zug) Zusätzliche interne Heizung → Fehler dT
SHT30,SHT31 SHT35 (Sensirion)	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 sind: +5 °C … +60 °C und 20 % rF … 80 % rF. Achtung, es existieren Fake-Sensoren (insbesondere die mit Kabel)!
Für ca. 3s MH-Z19 (B,C)	CO2: 0..0,2 (0,5) % Genauigkeit: ± 50 ppm ± 5%	+3,6..+5,5 V < 4 mA, aber aller 5s: für 8 µs: < 600mA für 60 µs: < 350mA für 0,5s: < 120 mA Interface: 3,3 V Einschaltphase (ca.10s): 25 mA	Lebensdauer begrenzt auf > 5-7 Jahre Achtung: Impulsspitzen in der Stromversorgung! Bei Glättung mit 4700 µF in 12V-Versorgung i < 170 mA, Bei Glättung mit 2200 µF in 12V-Versorgung i < 250 mA Impulsspitzen erfolgen nur für 0,5 s; max. Leitungslänge CAT-5 daher begrenzt auf 250 m
HC-SR501	IR-Bewegungsmelder	+5..+20 V < 0,1 mA Output: 0..+3,3 V	Interner Spannungsregler 7133-1 (max. 30mA) mit Diode entkoppelt.
AS5600 AS5601	Winkelmessung Hall-Sensor 12 Bit	< 10 mA	Winkelwert wird durch Firmware von 12 auf 8 Bit reduziert. Der Magnet muss sehr genau über dem Sensor positioniert werden.

[1)] Der dauerhafte Einsatz des Sensors bei hohen relativen Feuchten (z.B. im Außenbereich) kann zum Ausfall führen: Der Sensor liefert dann konstant 100% und muss ersetzt werden.

* 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.

Messungen zum Temperaturfehler wegen interner Heizung in den Sensoren AM23xx
Während der Entwicklungsarbeiten für die Firmware wurde eine stetige Fehlmessung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte durch die Sensoren der Baureihe AM23xx festgestellt. Interessanterweise war die Abweichung durch die eigentlich genaueren AM2322 höher als bei den AM2320. Methodische Messfehler z.B. durch äußere Einflüsse (Leiterplatte, andere Bauelemente) konnten ausgeschlossen werden. Dagegen spricht auch, dass die Streuung innerhalb des Sensortyps relativ gering ist. Dafür wurde eine ab und zu höhere Stromaufnahme der Sensoren unmittelbar nach der Datenübertragung per Oszi beobachtet.

Die einzig plausible Schlussfolgerung ist, dass die Sensoren AM23xx nach der Übertragung der Messwerte über den I^2C-Bus intern unregelmäßig ein Heizelement zuschalten, wahrscheinlich um einen Latch-up Effekt in der Messung der relativen Luftfeuchte zu verhindern. Die dabei zugeführte Energie wandelt sich in Wärme um und führt zu einer (positiven) Abweichung der gemessenen Temperatur. Die folgende Tabelle fasst zahlreiche Einzelmessungen an 10 Musterexemplaren bei einem festem Abfrageintervall der Sensoren von 6 s zusammen:

	AM2320	AM2321	AM2322
Dauer der Einschaltung der Heizung T_{Hzg}	390 ms		430 ms
Stromaufnahme der Heizung i_{Hzg} bei VDD = 5,0 V	16 mA		58 mA
Heizleistung $P_{Hzg} = i_{Hzg} * 5,0$ [W]	80 mW		290 mW
Heizenergie $E_{Hzg} = P_{Hzg} * T_{Hzg}$ [Ws]	31,2 mWs		125 mWs
Gemessene Anzahl Heizzyklen je Minute N_{Hzg}	5-10		5-7
Heizleistung (gemittelt je Minute) $P_{Hzg/min} = E_{Hzg} * N_{Hzg} / 60$ [W], bei $N_{Hzg} = 7$	3,64 mW		14,6 mW
Gemessene durchschnittliche Temperaturabweichung dT [grd] bei 25°C nach 2 min (Firmware M1.0)	**+0,45 grd**		**+1,8 grd**
Berechnete Eigenerwärmung $K = dT / P_{Hzg/min}$ [grd/mW]	+0,12 grd/mW		+0,12 grd/mW

Fazit: Die Angabe im Datenblatt von AOSONG „output has been calibrated“ ist nicht ganz korrekt. Für praktische Anwendungen muss die gemessene Temperatur um die Temperaturabweichung dT je nach Abfrageintervall und Sensortyp korrigiert werden (Firmware M1.0). Der gemessene Temperaturfehler dT lässt sich sehr gut mit der Eigenerwärmung durch die interne Heizung erklären, die berechnete Eigenerwärmung K liegt in einem praktisch plausiblen Bereich: wie sie von z.B. vom Sensor SMT 160-30 bekannt ist: https://www.is-line.de/sensor/produkte/temperatur/smt172/eigenerwaermung-des-temperatursensor-smt-160-30-bei-ein-und-mehrkanalapplikationen/. Die Abweichungen der Feuchte-Messungen waren noch größer. Die Abweichungen sind zudem bei höheren Temperaturen größer als bei niedrigeren. Da auch der normale Strombedarf der Sensoren zu den Abweichungen beiträgt, sollten Messungen tatsächlich nur in größeren Abständen erfolgen und zwischenzeitlich die Stromversorgung zusammen mit den Datenleitungen abgeschaltet werden. Ab einem Abfrage-intervall von etwa 30 s sind Temperatur- und Feuchtemessung korrekt, wenn der Sensor isoliert von der Auswerte-Elektronik angebracht wird (Firmware M1.1 ff.). Die kurzzeitig höhere Strom-aufnahme des AM2322 muss durch einen entsprechend großen Kondensator in der Applikation berücksichtigt werden.

Bei der späteren Integration der SHT3x Sensoren wurde festgestellt, dass die bisherige Abschaltung

der AM23xx Sensoren in der Firmware nicht ganz korrekt war – nach der Bus-Abschaltung wurde noch ein „I2C-Stop“ Signal gesendet, was zur Folge hatte, dass die beiden Datenleitungen danach auf „high“ verblieben, während die Stromversorgung bereits aus ist. Damit sind über die integrierten Eingangs-Schutzdioden Querströme in den Sensor möglich. Insbesondere die SHT3x Sensoren reagieren allerdings empfindlich auf diesen Zustand. Ab Firmware 2.0 ist daher die Stromversorgung der TF-Sensoren überarbeitet und die Auslesezeit konnte von 30 s auf 24 s gesenkt werden. Die interne Heizung bei Verwendung eines SHT3x Sensors ist standardmäßig aus. Es wurden auch keine Temperaturfehler beobachtet. Die Genauigkeit ist frappierend hoch!

Problematik Synchronisierung Regenzähler (betrifft nur die Subadresse 15):

Der Firmware-interne Regenzähler zählt nur (umlaufend) im Bereich 0 … 255. Daher muss ein aufrufendes externes Programm den Regenzähler regelmäßig abrufen und mit einem eigenen (größeren) Zähler synchronisieren. Um bei Neustart der Firmware – u.a. auch, nachdem das aufrufende Programm sich 50 s lang nicht gemeldet hat – diesen Neustart zu erkennen, werden für 2 min das 7. und 8. Datenbyte auf 255 gesetzt. Das aufrufende Programm hat so die Möglichkeit seine Zähler zu synchronisieren ohne fälschlich eine „Regenmenge“ zu generieren.

Integration des digitalen Winkelsensors AS560x (betrifft nur die Subadresse 15):

Die Firmware erkennt selbstständig einen parallel zum AM23xx angeschlossenen AS560x (GND, PLUS, M_SDA, M_SCL). Das Status-Byte wird entsprechend korrigiert. Der AS560x wird ebenso wie der AM23xx aller 30 s (ab M2.0 aller 24 s) ausgelesen. Die Winkel-Daten stehen 2 min nach Start der Firmware zur Verfügung. Sollte der IC mal magnetische Probleme erkennen (Magnetfeld zu schwach oder zu stark), so wird der letzte Winkelwert gepuffert.

Besonderheit: Ein Winkelwert von „255“ wird als „0“ ausgegeben. Der Wert „255“ dient nur zur Erkennung des Firmwarestarts in den ersten 2 min.

Versionsgeschichte Firmware

Datum	Version	Änderungen	Bemerkungen
01.02. 2017	M1.0	Erstes freigegebenes Release	Abfrageintervall AM23xx: 6s, keine Spannungsabschaltung
23.05.2017	M1.1	Abfrage AM23xx optimiert	Abfrageintervall AM23xx: 30s mit Spannungsabschaltung
04.01.2021	M1.2	- Überarbeitung Relaissteuerung - Ergänzung Regensensor - Protokolländerung (Adr. 15)	Subadresse 15 nun mit 9 Datenbytes → ab HC6.0.53 nutzbar
01.02.2021	M1.3	- Klemmung Data7&8 für 2min nach Firmwarestart (Adr. 15) - Abfrage AS5600 implementiert	→ wichtig für externe Erkennung Ausfall/Neustart Regenzähler → digitaler Winkelsensor (Adr.15) → ab HC6.0.53 nutzbar
14.10.2025	M1.3T	- Anpassung Konstanten an CO2-Sensor mit 0...2000 ppm	Ab HC6.0.60B4 sind nun auch beide CO2-Sensoren nutzbar
26.03.2026	M2.0	Unterstützung für hochgenaue SHT3x Sensoren	Abfrageintervall TF-Sensoren: 24s → ab HC6.0.60B6 nutzbar