Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Mikro- und Nanoelektronische Systeme
Komm. Leiter: Prof. Fernando Puente León

Versuch 4 - Temperaturmessung

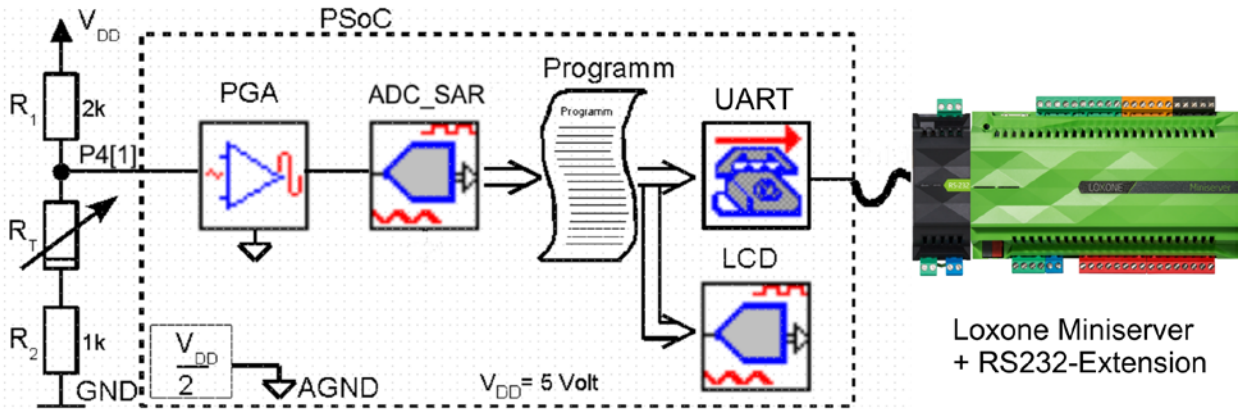
In diesem Versuch werden Sie die Umgebungstemperatur der Luft messen. Als Sensor steht Ihnen ein Thermistor zur Verfügung, der über einen Spannungsteiler eine temperaturabhängige, analoge Spannung liefert. Die PSoC-Experimentierplatine dient hierbei zur Anpassung und Wandlung der analogen Sensorspannung: Mit einem Analog-/Digitalwandler (ADW) wird das Sensorsignal digitalisiert, auf dem LCD-Panel ausgegeben und über die serielle Schnittstelle an die RS232-Extension des Loxone Miniservers gesendet. Im Miniserver sollen dann die Messwerte in °C umgerechnet und grafisch dargestellt werden.

Thermistor KTY 83-110

Ein Thermistor ist ein temperaturabhängiger Widerstand auf Silizium-Halbleiterbasis. Thermistoren gibt es sowohl als NTC wie auch als PTC. Der KTY 83-110 ist ein preisgünstiger PTC der Firma Philips Semiconductors. Bei 25 °C hat er einen typischen Widerstand von 1000 Ω und eine Toleranz von ±10 Ω.Er kann über einen Temperaturbereich von –55 °C bis +175 °C eingesetzt werden. Die Tabelle zeigt typische Widerstandswerte über einen kleinen Temperaturbereich. Der maximal zulässige Gleichstrom beträgt 10 mA.

Temperatur [°C]	**typ. Widerstand** [Ω] I_{con}=1mA
-10	754
0	820
10	889
20	962
25	1000
30	1039
40	1118
50	1202
60	1288

Versuchsaufbau / Blockschaltbild



Der Thermistor R_T bildet zusammen mit den Präzisionswiderständen R_1 und R_2 einen Spannungsteiler. Bei einer Temperatur von 25 °C hat der Thermistor einen Widerstand von 1kΩ und somit ergibt sich eine Sensorspannung von $V_{DD}/2$. Der programmierbare Verstärker (PGA) benötigt eine analoge Masse von AGND=$V_{DD}/2$.

Der Messbereich des AD-Wandlers ist V_{SS} bis V_{DD}. Über den UART-Baustein des PSoC werden die Daten per RS232 an den Loxone Miniserver gesendet.

Datenübertragung per PSoC UART

Mit dem Usermodul UART ist es möglich, Daten über eine serielle Schnittstelle zu senden und zu empfangen. Es wird eine bidirektionale, virtuelle serielle Schnittstelle (UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter) realisiert, bei der Übertragungsraten von bis zu 4 Millionen Bits pro Sekunde möglich sind.

Über API-Funktionen können nicht nur einzelne Bytewerte (Lowlevel-APIs) übertragen werden, sondern ganze Zeichenketten (Highlevel-APIs), mit oder ohne Terminierungszeichen sowie HEX-Darstellung von 1- und 2-Bytewerten im ASCII-Format.

Stellen Sie in den Design Wide Resources die Taktquellen entsprechend dem untenstehenden Bild ein.

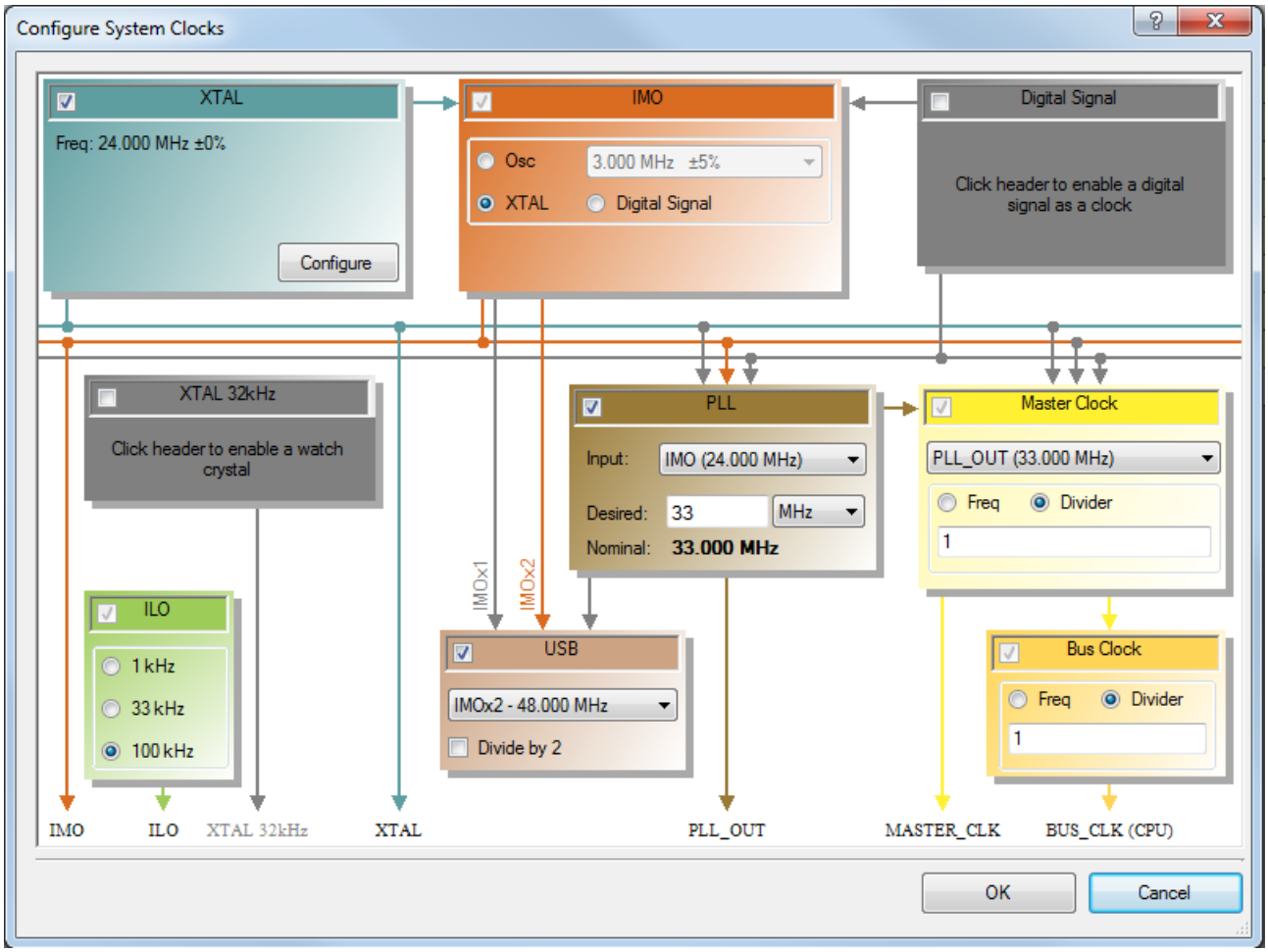


Abbildung 1: Systemweite Taktquellen

Ordnen Sie dem Anschluss TX_OUT noch den Pin 1[2] zu und stellen Sie sicher, dass er gemäß Abbildung 2 mit den Pegelwandlern für die neunpolige Buchse des seriellen Ports des PSoC-Boards verbunden ist.

Programmbeispiel:

```
#include "stdio.h"       // Bibliothek, nötig für sprintf
char8 buffer[30];        // Char-Array, C-äquivalent eines Strings
uint8 var;

void main()
{
…
    CyGlobalIntEnable;   // Globale Interrupts aktivieren
    UART_Start();        // Modul UART starten und initialisieren
…
    for(;;)              // Hauptschleife des Programms
    {
        sprintf(buffer, "%x\r\n", var);     /* Inhalt von var wird in den
String buffer zusammen mit einem Zeilenumbruch gespeichert. */
        UART_PutString(buffer);       // Übertragen des Strings mit der UART
    }
}
```

Weitere API-Funktionen, z.B. zur Übertragung von Zeichenketten (Strings) finden Sie in der Programmhilfe.

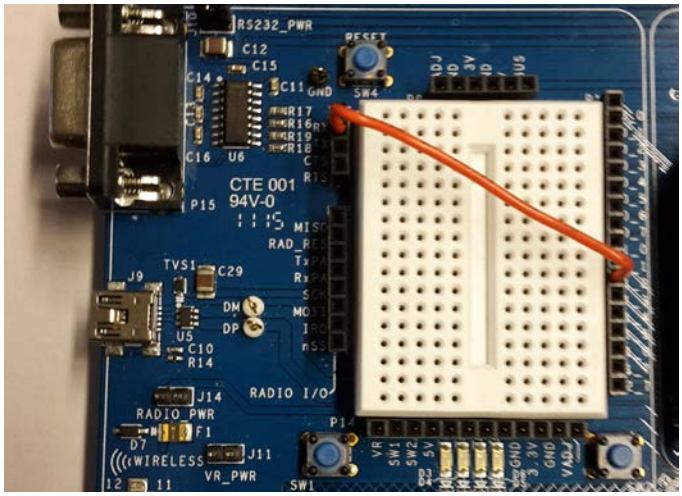


Abbildung 2: RS232 Jumper PSoC-Board

AD-Wandler

Mit dem PSoC-Baustein und dessen Usermodulen können eine Vielzahl unterschiedlicher AD-Wandler (kurz ADW) realisiert werden. Der Einfachheit halber soll nur der ADC_SAR erläutert werden.

Der ADC_SAR ist ein 12-Bit ADW mit sukzessiver Approximation und Wandlungsraten zwischen 56 kHz bis 1 MHz. Der Eingangsspannungsbereich wird auf 0.0 +/- $V_{dda}/2$ festgelegt.

Eine Auflösung von 12-Bit und ein ADW-Wert in 16-Bit Zweierkomplementdarstellung bedeutet, dass die oberen 4 Bits bei negativen Werten “high“ und bei positiven “low“ sind. Da der ADW nur in den unteren 12 Bit reale Daten liefert, bleibt das 12. Bit das eigentliche Vorzeichenbit und wird in den oberen vier Bit nur wiederholt.

Die Wandlungsrate wird über eine externe oder interne Taktquelle, gemäß folgender Formel, eingestellt:

```
Wandlungsrate[kSPS] = Takt[kHz]/19
```

Die Auflösung bzw. das LSB (Least Significant Bit) des ADW wird wie folgt berechnet:

$LSB = MB / (2^n - 1)$; MB:Messbereich in Volt
; n: Anzahl der Bits

Für die Berechnung der gemessenen Spannung des AD-Wandlers gilt die Formel:

$U = sign(ADW)*|ADW| * LSB + LSB/2$; ADW: Zahlenwert des AD-Wandler
; in Zweierkomplementdarstellung

$U = (ADW - 2^{(n-1)}) * LSB + LSB/2$; ADW: Zahlenwert des AD-Wandler
; im OffsetBinary-Format
; n: Anzahl der Bits

Als Quelle für das Eingangssignal *Input* können die Ausgänge einiger anderer analoger Blöcke verwendet werden.

Programmbeispiel:

```
void main()
{
       CyGlobalIntEnable;     // Globale Interrupts aktivieren
       ADC_Start();           // ADW starten und initalisieren
       ADC_StartConvert();    // ADW: Mit kont. Wandlung beginnen

       for(;;){
            if (ADC_IsEndConversion(ADC_WAIT_FOR_RESULT)) /* Prüfung: Ist der
Wandelvorgang abgeschlossen? Nein? -> Dann warten bis Wert da ist */
            {
                  result = ADC_GetResult16(); // Ergebnis der Wandlung speichern
            }
       }
}
```

Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Mikro- und Nanoelektronische Systeme
Komm. Leiter: Prof. Fernando Puente León

Loxone Miniserver: Die RS232-Extension

Die RS232-Extension erlaubt es, mit Geräten über den Loxone Miniserver zu kommunizieren, die eine serielle Schnittstelle des Standards RS-232 besitzen. Das zu steuernden oder zu lesenden Peripheriegerät wird über eine dreipolige Klemme mit den Anschlüssen TxD (Sendeleitung für Signale vom Miniserver), RxD (Empfangsleitung des Miniservers für Sensorsignale) und einer Masseleitung an die Extension angeschlossen. Zwar fehlen der Extension die Anschlussmöglichkeiten für die im RS232-Standard definierten „Handshake“-Leitungen zur gezielten Kontrolle des Datenflusses zwischen den beiden Geräten, diese können in den meisten Fällen jedoch durch Softwarelösungen ersetzt werden.

Wie alle anderen Extensions für den Loxone Miniserver die Sie bereits in diesem Praktikum kennengelernt haben, kommuniziert die RS232-Extension über den LoxBus mit dem Miniserver.

In den Experimentierplätzen ist die serielle Schnittstelle der Extension fest mit einem 9-poligen Sub D-Stecker verkabelt, dessen Beschaltung mit der Buchse der PSoC-Platine übereinstimmt und daher direkt eingesteckt werden kann.

Hinzufügen der Rs232-Extension in Loxone Config

Damit der Miniserver Daten über die serielle Schnittstelle empfangen kann, muss zuerst die RS232-Extension zu dem aktuellen Projekt hinzugefügt werden. Klicken Sie dazu auf den Reiter ***„Miniserver“*** und dann in der oberen Menüleiste auf ***„Peripherie Suchen“***. Markieren Sie nun die RS232-Extension in der Liste der gefundenen Peripheriegeräte und fügen Sie mit einem Klick auf ***„Gerät erstellen“*** dem aktuellen Projekt hinzu.

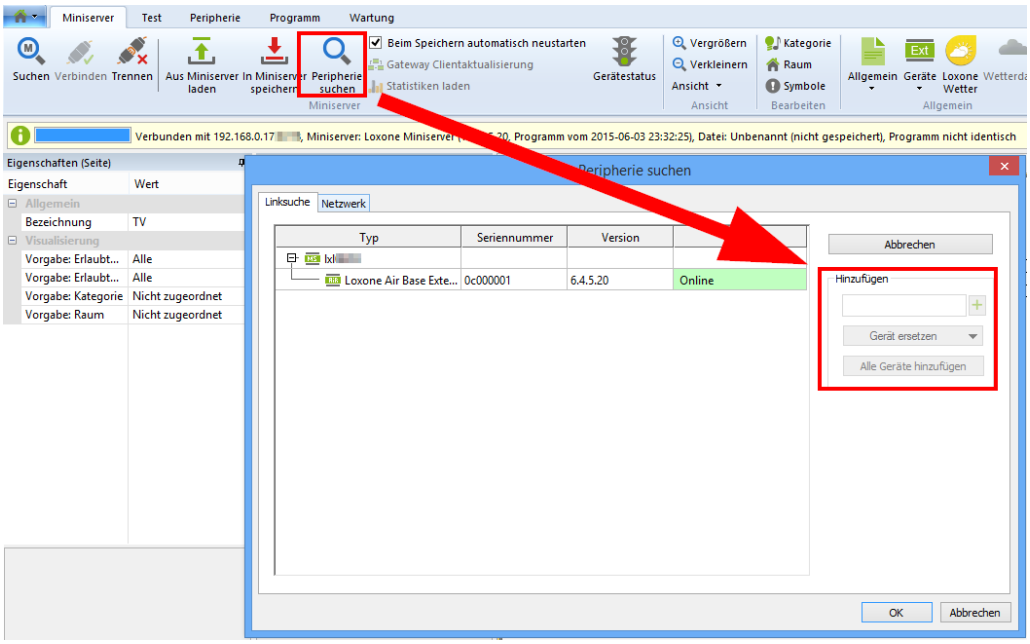


Abbildung 3: Hinzufügen einer Extension

Miniserver: Datenempfang über die serielle Schnittstelle

Um Daten am Miniserver über die serielle Schnittstelle zu empfangen muss zuerst in Loxone Config die RS232-Extension gemäß dem verwendeten Protokoll eingestellt werden. Dazu die Extension im Peripherie-Baum auswählen und gemäß Abbildung 4 einstellen.

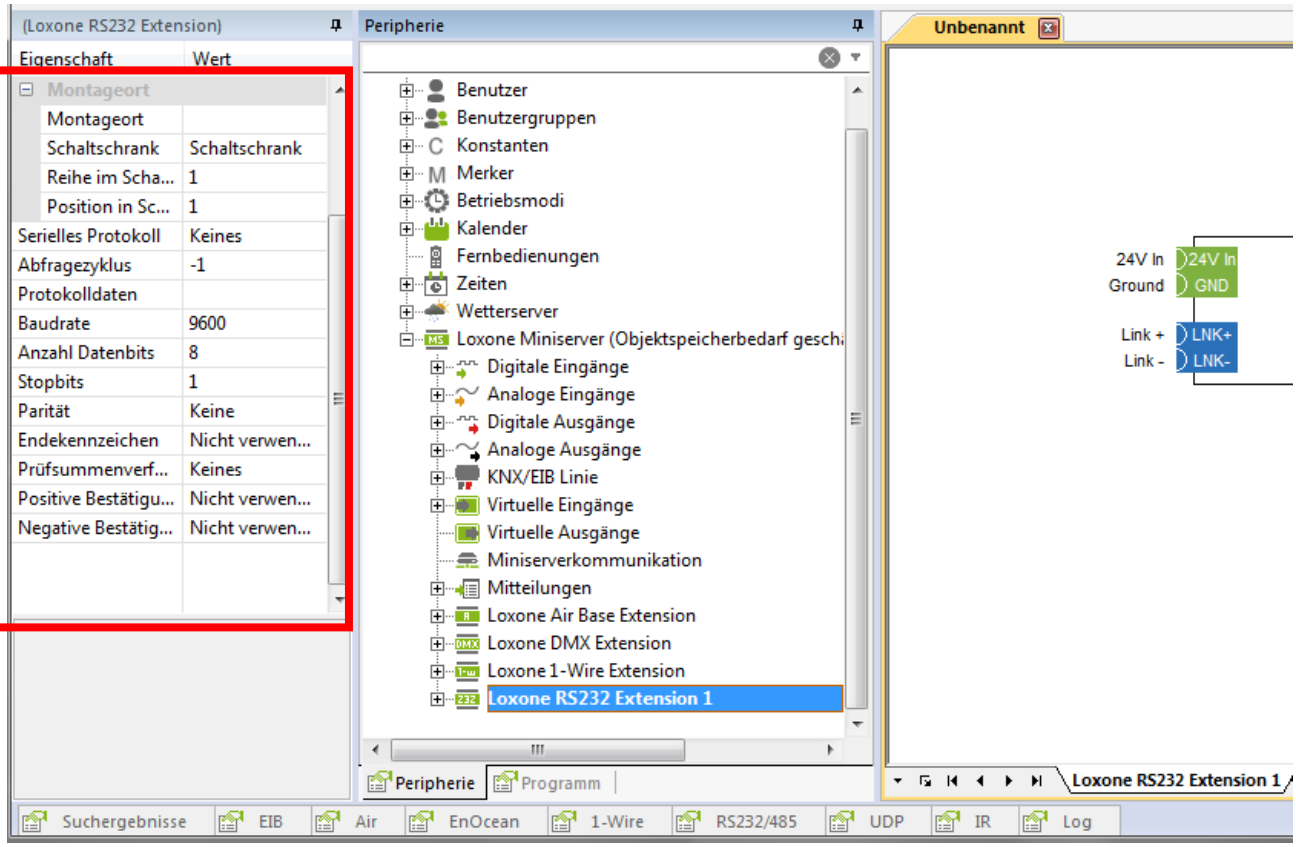


Abbildung 4: Einstellungen RS232-Extension

Das Auslesen der vom Peripheriegerät empfangenen Daten, die Verarbeitung und logische Verknüpfung mit anderen Daten in der Ablaufsteuerung und die Visualisierung der Daten geschieht ähnlich wie das Vorgehen bei der Verwendung der 1-Wire-Extension durch die Definition eines oder mehrerer RS232-Sensoren. Ein neuer Sensor wird mit der Schaltfläche ***„Sensoren und Aktoren“*** -> ***„RS232-Sensor“*** im Reiter ***„Peripherie“*** erstellt und erscheint dann im Peripherie-Baum unter dem Eintrag der RS232-Extension.

Mit einem Klick auf den Eintrag des Sensors erscheint das Eigenschaftsfeld. Die wichtigste Eigenschaft ist hier der Eintrag „Befehlserkennung“, da er das Verhalten des Sensorbausteins festlegt. Der Miniserver vergleicht die hier eingetragene Zahlenfolge mit dem über die serielle Schnittstelle empfangenen Datenstrom und gibt bei Übereinstimmung den erkannten Wert („Analogsensor“) oder einen digitalen Puls („Digitalsensor“, Checkbox „Als Digitaleingang verwenden“ markiert) am Ausgang des Sensorbausteins aus.

Beispiele:

Fall 1:
Empfangener Datenstrom: „CMD01 20,5 OK\n\r“
Befehlserkennung: „CMD01 \v OK\n\r“

Ausgabe Analogsensor: 20,5
Ausgabe Digitalsensor: Puls

Fall 2:
Empfangener Datenstrom: „CMD01 1024 OK\n\r“
Befehlserkennung: „CMD01 \v OK\n\r“

Ausgabe Analogsensor: 1024
Ausgabe Digitalsensor: Puls

Fall 3:
Empfangener Datenstrom: „CMD02 20,5 OK\n\r“
Befehlserkennung: „CMD01 \v OK\n\r“

Ausgabe Analogsensor: Keine Änderung des Ausgangswertes
Ausgabe Digitalsensor: 0

Die Befehlserkennung lässt hierbei eine Reihe von Sonderzeichen zu, die zur Formatierung der erkannten Werte verwendet werden. Diese sind durch das Präfix „\“ gekennzeichnet. Im Fall des Beispiels steht „\v“ („value“) für die Übernahme eines Wertes aus einer ASCII-kodierten Zeichenfolge.

Mögliche Sonderzeichen sind:

\h	Wertetext als Hexadezimalzahl übernehmen
\x	Hexadezimal z.B. \x09 für 0x09 oder \x01\x02\x03\x04 für 0x01020304
\1 (\2, \3, \4)	Der Nummerische Wert des empfangenen Bytes wird als Byte (LSB) einer Zahl mit der Wertigkeit 1 (2,3,4) am Ausgang übernommen. Bsp.: Empfangen: „0xA9 0xF1 0x04“ Befehlserkennung: „\3\2\1“ Wert am Ausgang: 0x04F1A9
\v	Aus einer ASCII Zeichenfolge wird der Wert übernommen. Die Kommastellen müssen durch einen Beistrich oder durch einen Punkt getrennt sein.
\#	Irgendeine Zahl
\r\n	Carriage Return/Line Feed (neue Zeile)

\a	Irgendein Buchstabe
\t	Tabulator (0x09)

Da wie bei allen Extensions die Kommunikation der RS232-Extension mit dem Miniserver über den LoxBus stattfindet, verzögert eine häufige Abfrage von Sensorwerten/mit hoher Frequenz ankommende Sensorwerte das Ausführen der Programmierung und die Abfrage anderer Extensions. Als guter Wert hat sich ein Sensorwert pro Sekunde erwiesen.

Loxone Config: Der RS232-Monitor

Ein wichtiges Werkzeug zur Analyse der mit der RS232-Extension empfangenen Daten und zur Fehlersuche ist der RS232-Monitor in Loxone Config. Zum Starten wird erst die RS232-Extension im Peripheriebaum ausgewählt und dann im Reiter ***„Miniserver“*** die Checkbox ***„RS232/RS485-Monitor starten und anzeigen“*** gesetzt (Abbildung 5). Im unteren Teil des Bildschirms öffnet sich nun ein Fenster, das alle über die serielle Schnittstelle empfangenen Daten anzeigt und bei korrekt definierter Befehlserkennung dekodiert.

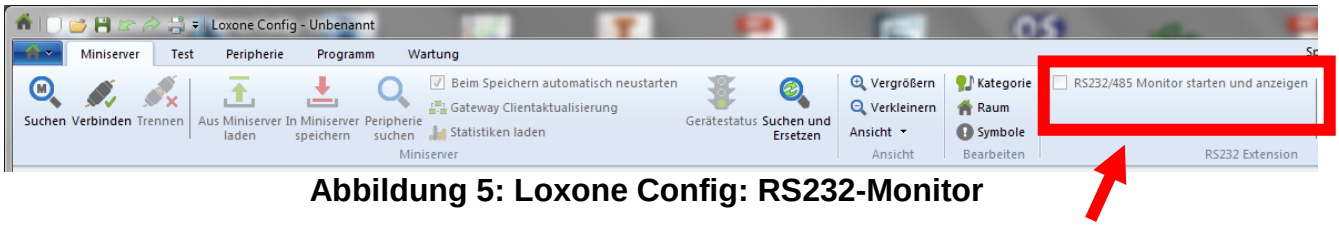


Abbildung 5: Loxone Config: RS232-Monitor

Temperaturberechnung und Darstellung

Die Berechnung der Temperatur könnte auch der Mikrocontroller des PSoC erledigen. Da die Multiplikationen und Divisionen mit Fließkommazahlen jedoch etwas aufwändiger ist, ist es einfacher, diese im Miniserver durch das Einfügen der entsprechenden Blöcke in Loxone Config zu berechnen.

Zur Messwertverarbeitung und –darstellung verwenden Sie Ihr Programm aus *„Versuch 2 – Sensordaten mit Loxone Config“* und fügen die Berechnung der Thermistor-Temperatur auf den Seiten „Sensorerkennung“ und. „Umrechnung Sensorwert“ hinzu.

Wie in Versuch 2 bereits erwähnt, beinhaltet das 16-Bit Datenwort einen 4-Bit Steuercode und ein 12-Bit AD-Wert im Zweierkomplement-Format. Nachdem Sie das 16-Bit Datenwort aufgesplittet haben, sollten Sie den 12-Bit AD-Wert in eine reele Zahl umwandeln. Anschließend berechnen Sie in diesem Versuch die Thermistorspannung und den –widerstand.

Die Berechnung der vom Thermistor gemessenen Temperatur geschieht in zwei Schritten. Zuerst berechnen Sie entsprechend den Aufgaben in der Versuchsvorbereitung den Wert des Thermistors in Ω aus dem gewandelten Digitalwert. Im zweiten Schritt wird die Temperatur in °C aus dem Widerstandswert in Ω mithilfe der Steinhart-Hart-Gleichung berechnet. Die sogenannte Steinhart-Hart-Gleichung ist eine an Thermistoren angepasste logarithmische Polynominterpolation dritten Grades nach der Formel:

$$T = 1/ (A + B*\ln(R) + C*\ln(R)^3) - 273.15 \qquad (1)$$

Der quadratische Term hat in der Praxis keine Bedeutung, da er die Genauigkeit nur minimal erhöht. Die konstanten Koeffizienten A, B und C wurden über 3 typische Widerstands/Temperatur-Paare (bei 0°C, 25°C und 50°C) aus dem Datenblatt des Thermistors berechnet.

Koeffizient	Wert
A	$24920{,}4935 \cdot 10^{-6}$
B	$-3944{,}7852 \cdot 10^{-6}$
C	$17{,}2416 \cdot 10^{-6}$

Hinweis: Achten Sie bei aufwändigeren Berechnungen in Loxone auf die Anzahl der zwischen Bausteinen übertragenen Nachkommastellen. Ergebnisse, die kleiner als fünf Nachkommastellen sind, können auf 0 gerundet werden. In diesem Fall müssen Sie Zwischenergebnisse entsprechend skalieren und dies im Endergebnis berücksichtigen.

Aufgabenstellung

Jede gelöste Teilaufgabe muss immer zuerst getestet werden, bevor die nächste bearbeitet wird. Sie sollten sich an die vorgegebene Reihenfolge halten. Bei Teilaufgaben mit der Markierung „→ **Betreuer**“ halten Sie bitte kurz Rücksprache mit einem Betreuer, ob Ihre Lösung allen Anforderungen entspricht. Dies verhindert, dass die Bearbeitung spätere Teilaufgaben schwerer wird, als nötig.

- Legen Sie ein neues Projekt an und stellen die globalen Parameter so ein, wie im vorherigen Versuch.
- Verwenden Sie einen PGA mit einem Verstärkungsfaktor von 8. Überlegen Sie, wie Sie den Verstärker testen können.

→ Betreuer

- Für das UART Usermodul müssen die Taktquellen entsprechend der Versuchsbeschreibung eingestellt werden. Achten Sie darauf, dass die Baudrate 9600 baud beträgt.
- Inkrementieren oder dekrementieren Sie eine Testvariable in einer Schleife und prüfen Sie die Übertragung an die RS232-Extension und den Miniserver mit dem „RS232-Monitor“ in Loxone Config. Achten Sie auf eine korrekt eingestellte Baudrate in beiden Programmen!

→ Betreuer

- Fügen sie den Eingangspin Ihres Sensors in die Programmierung ein. Für den ADW ADC_SAR verwenden Sie eine möglichst geringe Wandlungsraten.
- Der ADW speichert das Ergebnis der Wandlung als Integerwert im 2er-Komplement. Sichern Sie diesen Wert in einer Variablen. Fügen Sie dem High-Byte den Steuercode 1h für Sensor 1 in den oberen vier Bits hinzu (siehe auch Versuch 2). Anschließend übertragen Sie die vier Hexadezimalziffern als ASCII-Zeichen über die RS232-Extension an den Miniserver und testen diese mit dem „RS232-Monitor“ in Loxone Config.
- Erstellen Sie entsprechend der Anleitung einen neuen RS232-Analogsensor der den übertragenen Wert korrekt dekodiert.
- Mit dem CyDelay(int ms); sollten Sie Ihre Programmschleife so verzögern, dass einmal pro Sekunde ein neuer Wert über die RS232-Schnittstelle gesendet wird.

→ Betreuer

- Erstellen Sie Ihr *LoxoneConfig*-Programm zur Berechnung und Darstellung der Sensortemperatur unter Verwendung Ihres Programms aus Versuch 2. Beachten Sie dabei den verwendeten Steuercode. Zur Glättung des Signals führen Sie am Ende eine Mittelwertbildung ein. Der gewandelte Temperaturwert soll in der Visualisierung/dem Webinterface erscheinen und über eine Statistik verfügen. Vergleichen Sie den gemessenen Temperaturwert mit dem 1-Wire Temperatursensor und dem 0-10 V Temperatursensor des Experimentierplatzes.
- Ermitteln Sie den Temperatur-Offsetfehler, indem Sie den Thermistor durch einen Präzisionswiderstand ersetzen. Auf der Sensorplatine muss dazu nur der Jumper JP1 in

Position Cal. gesteckt werden. Damit erhalten Sie einen Spannungsteiler mit dem gleichen Teilerverhältnis wie mit dem Thermistor bei 25°C. Diesen Wert verwenden Sie als Offset für ihre Temperaturberechnung.

→ Betreuer

- Entwerfen Sie eine Anzeige des gemessenen Temperaturbereichs auf dem LCD des PSOC-Experimentierboards. Teilen Sie dazu den Temperaturbereich zwischen 20 °C und 40 °C in vier Bereiche auf. Schreiben Sie ihren Quellcode so um, dass auf dem LDC-Panel angezeigt wird, in welchem Temperaturbereich die gemessene Temperatur liegt. Bsp.: Die gemessene Temperatur beträgt 27°C. Die Ausgabe auf dem LCD-Panel könnte lauten: "25 < T.Mess < 30".

  Hinweis: Ein einfacher Weg zur Bestimmung der ADW-Werte der Grenzen der Temperaturbereiche ist die Verwendung des Simulationsmodus in Loxone Config. Hier können Sie von Hand den ADW-Wert am Sensorpin so einstellen, das am Ende der Umrechnung die Temperatur der Bereichsgrenze angezeigt wird.

  Um sicherzugehen, dass die richtige Temperatur angezeigt wird müssen sie eventuell den Temperaturoffset berücksichtigen, welchen Sie ermittelt haben.

- Als Erweiterung zu der LCD-Anzeige können Sie den 4 Temperaturbereichen unterschiedlich schnelle LED-Leuchtfrequenzen zuordnen. Zum Beispiel für den Bereich A 1Hz, Bereich B 2Hz, usw.

  Hinweis: Als Einstellung für die Taktquelle f = 1kHz verwenden und mittels einer PWM den Takt weiter herunter zu teilen. Durch Manipulation der *„Period“* und *„Compare“* Werte lässt sich die Frequenz und die Intensität der LED beeinflussen.

→ Betreuer

Generelle Hinweise und Tipps:

- Gehen Sie Schrittweise vor und testen auf korrekte Funktion.
  - Z.B. können Sie an den Eingang des PGA einen DAC anschließen und über LEDs die Funktionsweise prüfen. Dazu muss der PGA-Ausgang mit einem LED-Pin verbunden werden. Zum Anschluss an den ADW kann diese Verbindung wieder gelöscht werden.
  - Verwenden Sie zur Datenübertragung zunächst definierte, konstante Wert
  - Auf dem LCD können Sie statt des AD-Wertes zunächst eine Testvariable (2 Byte) ausgeben
- Um Funktionen aus der Bibliothek *„math.h“* zu verwenden, muss diese in den Compiler-Einstellungen des PSoC-Creators eingebunden werden. Gehen Sie dazu in die Einstellungen unter: *Project -> Build Settings -> Linker -> General* und tragen in die Zeile *„Additional Libraries“* den Wert *„m“* (ohne Anführungszeichen!) ein.
- Beachten Sie bei Rechnungen mit Fließkommazahlen die in C automatisch vorgenommene Typumwandlung. Überprüfen Sie Zwischenergebnisse und verwenden Sie, wenn nötig, explizites Casting.