Karlsruher Institut für Technologie

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

Versuch 5 - Messung der relativen Luftfeuchtigkeit

Einleitung

In diesem Versuch werden Sie die relative Luftfeuchtigkeit mit einem kapazitiven Feuchtesensor messen. Angeschlossen an eine astabile-Kippstufe (Multivibrator) erhält man einen Oszillator mit Rechtecksignal, dessen Frequenz direkt von der Sensorkapazität, und damit von der relativen Luftfeuchtigkeit, abhängt. Die Implementierung erfolgt auf dem PSoC5.

Über ein definiertes Zeitfenster werden die Rechteckschwingungen gezählt, auf dem LCD-Panel ausgegeben und über die RS232-Schnitttstelle an den Miniserver gesendet. Dort werden die Messwerte in % relative Luftfeuchte (%RH) umgerechnet und grafisch dargestellt.

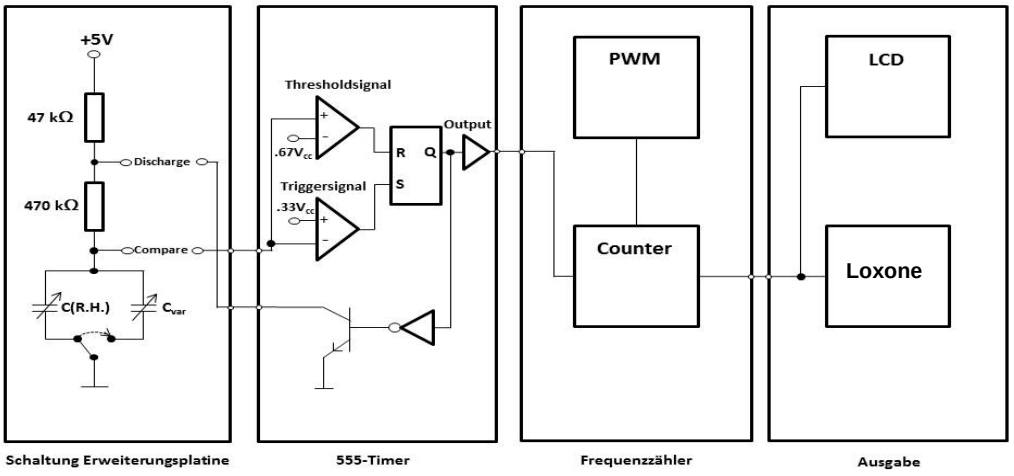
Feuchtesensor HS1101

Der Feuchtesensor HS1101 der Firma Humirel besteht aus einer Kunststofffolie, die beidseitig mit Gold beschichtet ist. Die Beschichtungen bilden die Kondensatorplatten und die Kunststofffolie das Dielektrikum. Das Dielektrikum (und damit die Sensorkapazität) ändert sich mit der relativen Luftfeuchtigkeit.

Messbereich	0 – 100 %RH
Betriebstemperaturbereich	-40 °C – 100 °C
Kapazität bei 25 °C, 55 %RH, 10kHz,	180 pF ± 3 pF
Ansprechzeit (63%-Wert) von 33% auf 76%-RH, bei 25 ºC in ruhender Luft	ca. 5 s

Relative Feuchte R.H. [%]	**Kapazität** C(R.H.) [pF] bei 25°C, 10kHz
0	162
10	166
20	169
30	172
40	175
50	178
60	182
70	185
80	189
90	194
100	199

Versuchsaufbau / Blockschaltbild



Beschreibung:

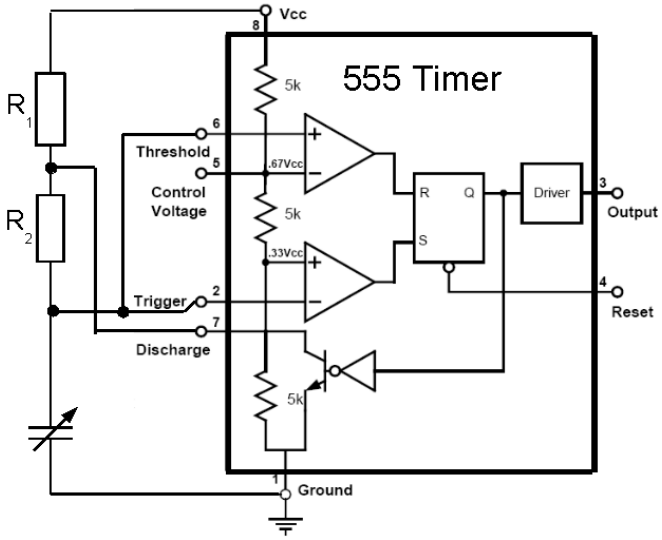
Der Feuchtesensor und die beiden Widerstände R1 und R2 bilden zusammen mit dem 555-Timer einen Oszillator mit Rechteckausgang. Die Kapazität des Feuchtesensors wird über R1 und R2 aufgeladen und über einen Low-Pegel des Discharge-Signals über R2 entladen. Die Spannung des Kondensators steht dem 555-Timer über die Compare-Leitung zur Verfügung.

Der 16-bit-Counter wird mit dem Rechtecksignal des 555-Timers getaktet. Mit dem Pulsweitenmodulator (PWM) wird der Counter in äquidistanten Zeitabschnitten ausgelesen, zurückgesetzt und neu gestartet. Dieser 16-Bit Wert wird per Software an das LCD-Panel und die serielle Schnittstelle ausgegeben.

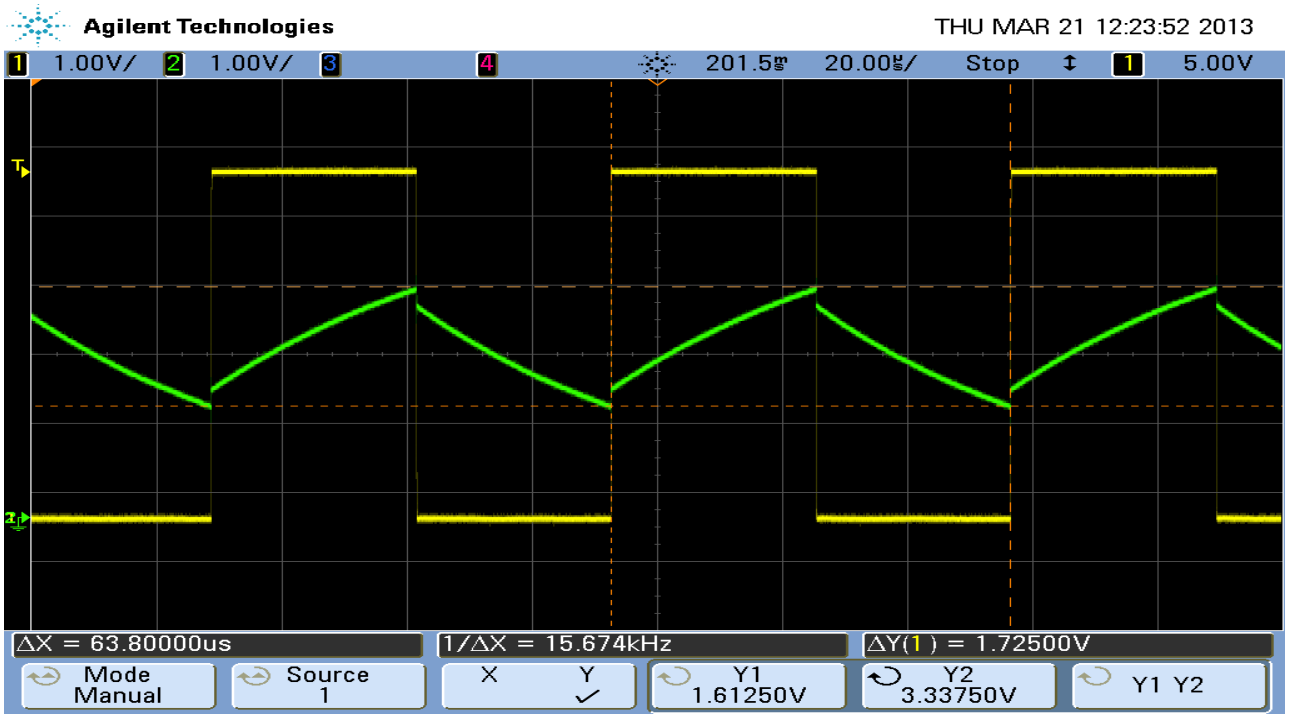
555-Timer

Der 555-Timer Baustein, der 1971 von Hans Camenzind für die Firma Signetics entwickelt wurde, ist der weltweit meistverkaufte IC. Mit nur wenigen externen Bauteilen können damit viele einfache Funktionen, wie Timer, Frequenzteiler, Sägezahngenerator, PWM, Oszillator, Pulsgenerator, FlipFlop, Schalterentprellung, Tongenerator,..... realisiert werden. Von den drei Betriebsmoden (monostabil, astabil und bistabil) wird im Praktikum für den Bau eines Oszillator nur der astabile Modus benutzt. Der 555-Timer kommt nicht als separater IC zum Einsatz, sondern wird im PSoC mit digitalen und analogen Blöcken nachgebildet.

Im unten stehenden Bild ist der klassische 555-Timer, in der Beschaltung mit 2 Widerständen und einem Kondensator, als astabile Kippschaltung zur Erzeugung eines Rechtecksignals abgebildet. Er beinhaltet zwei Spannungskomparatoren, deren Schwellwert über drei 5 kΩ Widerstände eingestellt werden, ein bistabiles Flip-Flop, einen Entladetransistor und einen Ausgangstreiber.



Über die Versorgungsspannung V_{cc} und die beiden Widerstände R_1 und R_2 wird der Kondensator zunächst aufgeladen. Überschreitet die Kondensatorspannung den Schwellwert des Threshold-Komparators, so schaltet dieser den Q-Ausgang des Flip-Flops auf Low. Mit dem negierten Q-Signal wird dann der Entladetransistor durchgeschaltet und somit der Kondensator über die Discharge-Leitung und R_2 entladen. Sobald der Schwellwert des Trigger-Komparators unterschritten wird, setzt dieser das Flip-Flop wieder auf High und der Ladevorgang beginnt von neuem.



Gelbes Signal	Rechtecksignal am Output-Pin
Grünes Signal	Spannungsverlauf des Kondensators während dem Lade- und Entladevorgang
Periodendauer Rechtecksignal	$T = (R_1+2*R_2)*C*\ln 2 \approx 0{,}7*(R_1+2*R_2)*C$
Ausgang Flip Flop	Output = ((Output ∧ !Threshold) ∨ Trigger ∨ Reset

Die Funktionalität eines 555-Timers kann vollständig auf einem PSoC realisiert werden.

Frequenzzähler

Mit einer *PWM* und einem *Counter* kann ein einfacher Frequenzzähler erstellt werden. Mit dem *Counter* werden die steigenden Taktflanken des zu messenden Signals gezählt. Der *PWM* aktiviert mit seinem Ausgangssignal den *Counter* über dessen *Enable*-Eingang. Der *Counter* soll zählen, während der *PWM* einen Low-Pegel (Zeitfenster) ausgibt. Sobald der *PWM*-Ausgang auf High wechselt, wird ein *Interrupt* ausgelöst. In dessen Unterbrechungsroutine (Interrupt Service Routine, *ISR*) wird der *Counter* ausgelesen, gestoppt, des Zäh-

lerregisters zurückgesetzt und neu gestartet. Nach dem Neustart beginnt er noch nicht zu zählen, sondern erst, wenn der *Enable*-Eingang wieder auf High geht.

Komponenten

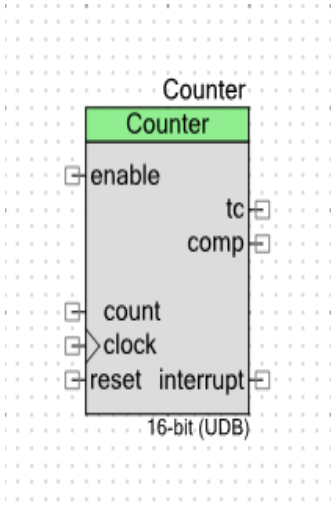
Im Folgenden finden Sie einen Überblick zu den benötigten Komponenten.

Clock

Komponente zur Erzeugung von Taktsignalen. In der Konfiguration der Komponente kann entweder eine vorhandene Taktquelle ausgewählt oder ein neuer Takt erzeugt werden. Dies geschieht entweder durch Wahl der Taktquelle und eines Teilers oder einfach durch Angabe des gewünschten Taktes. PSoC Creator generiert diesen dann automatisch.

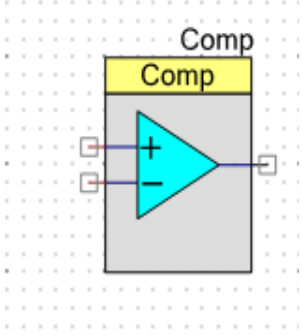
Counter

Der Counter ist mit dem PWM nahezu identisch. Über einen Enable-Eingang kann der Counter16 gesteuert werden. D.h. liegt ein High-Pegel an, ist der Counter aktiv. Der minimal einstellbare Zählerwert ist 2, der größte wird durch die Bitbreite des Counters vorgegeben (im Beispiel rechts: 16bit).
Bei jeder Flanke am Eingang **'count'** wird das Zählerregister dekrementiert. Der Eingang **'clock'** dient der Synchronisation (siehe Datenblatt). Der Ausgang **'tc'** geht auf High, sobald das Zählerregister 0 erreicht. Der Ausgang **'comp'** ist optional, er geht auf High, wenn das Zählerregister einen voreingestellten Vergleichswert erreicht hat. Viele Funktionen des Counters lassen sich auch über seine API ansteuern.

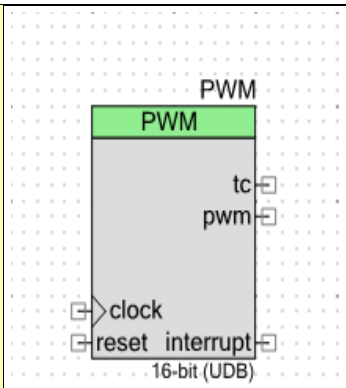


Comparator

Die Comparator-Komponente vergleicht zwei analoge Signale. Bei nichtinvertierendem Betrieb geht der Ausgang auf High, wenn die Spannung am positiven Eingang größer ist als die Spannung am negativen Eingang. Der Ausgang des Komparators kann entweder fest mit anderen Komponenten verdrahtet werden, oder in Software durch die API abgerufen werden.



PWM
Die Komponent PWM stellt einen Pulsweitenmodulator zur Verfügung und kann entweder in einem Fixed Function Block(FF) oder in einem Universal Digital Block(UDB) untergebracht werden. Eine UDB-PWM bietet vielfältigere Konfigurationsmöglichkeiten, beide Implementierungen unterstützen 8 und 16 bit Auflösung.
Zu Beginn wird der Wert des Periodenregisters ins Zählerregister geladen. Der Zähler wird mit jeder Flanke am Takteingang **‚clock'** heruntergezählt. Hat der Zähler den durch das Tastverhältnis (CMP Value) vorgegebenen Wert erreicht, geht der Ausgang **‚pwm'** auf High. Sobald der Zähler null erreicht hat, geht der Ausgang **'tc'** (für Terminal Count) für einen Takt auf High, der Ausgang **'pwm'** geht wieder auf Low und der Vorgang beginnt von neuem.



ISR
ISR steht für Interrupt Service Routine. An diese Komponente angeschlossene Signale können einen Interrupt auslösen. In der Konfiguration stehen dazu drei Interrupttypen zur Wahl: Rising Edge, Level und Derived. Bei letzterem wählt der PSoC Creator je nach Interruptsignalquelle zwischen Rising Edge und Level automatisch den passenden aus.

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.

Aufgabe 1: 555 Timer

- Bilden Sie mit Komparator-Modulen und Logikgattern eine astabile Kippschaltung.

  Hierbei können Sie auf drei verschiedene Weisen vorgehen:

  - Sie verwenden den Baustein SR-Flipflop (Reihenfolge der Eingänge beachten)
  - Sie bauen das benötigte RS-FlipFlop mit NOR oder NAND Gattern nach und verdrahten die Set- und Reseteingänge mit den entsprechenden Signalen

- Sie bauen die Schaltung direkt gemäß der in der Einleitung genannten logischen Gleichung auf. Diese beschreibt die charakteristische Funktion eines RS-FlipFlops.

In allen Fällen sollten Sie darauf achten, Ihre Logikschaltung mit einer *Clock* zu takten, um jederzeit einen stabilen Ausgangszustand zu erhalten. Beachten Sie dabei: Die Taktrate muss deutlich höher als die Frequenz des vom Sensor erzeugten Rechtecksignals sein.

Zudem gilt: Output = Discharge. Ordnen Sie dem Discharge den Port 3_4 zu. Setzen Sie den Drive Mode auf *Open Drain, Drives Low*. Die benötigten Digitalbausteine finden Sie im *Component Catalog* unter *Digital/Logic.* Das *Compare* Eingangssignal liegt an Port 3_5 an.

Die beiden logischen Signale Threshold und Trigger erzeugen Sie mit Komparatoren. Standardmäßig sind diese nach dem Einfügen in das Programm taktflankengesteuert. Sie benötigen also eine Taktquelle. Dies ist für unseren Versuch nicht nötig und kann durch das setzen der Einstellung *„Synch“* im Konfigurationsfenster des Komparators auf den Wert *„Bypass“* entfernt werden.

Um die Threshold- und Trigger-Referenzspannungen (0,67*V_{CC} bzw. 0,33*V_{CC}) zu erzeugen verwenden Sie zwei DA-Wandler.

Die Reset- und Control-Voltage-Funktionen müssen nicht implementiert werden.

Testen Sie mit der im Experimentierplatz integrierten Oszilloskop-Funktion den Ausgang des 555-Timers.

Die Verbindung zwischen Oszilloskop und PC wird über das zweite USB-Kabel im Koffer hergestellt. Die zur Darstellung am PC nötigen Hilfsprogramme finden Sie im Ordner *„Labview Oszilloskop und Frequenzgenerator“* auf der ILIAS-Seite der Veranstaltung.

Das Oszilloskop ist an Pin P0[1] des PSoC angeschlossen. Wenn Sie also ein Signal messen wollen, dann muss dieser Pin in Ihrem Programm vorhanden und mit dem jeweiligen Signal verbunden sein. Für digitale Signale muss der „*Drive Mode*“ des Pins auf *„Strong Drive“* eingestellt sein. Analoge Signale benötigen eine Pin des Typs *„High-impedance analog“* und einen Buffer zwischen Pin und Messsignal.

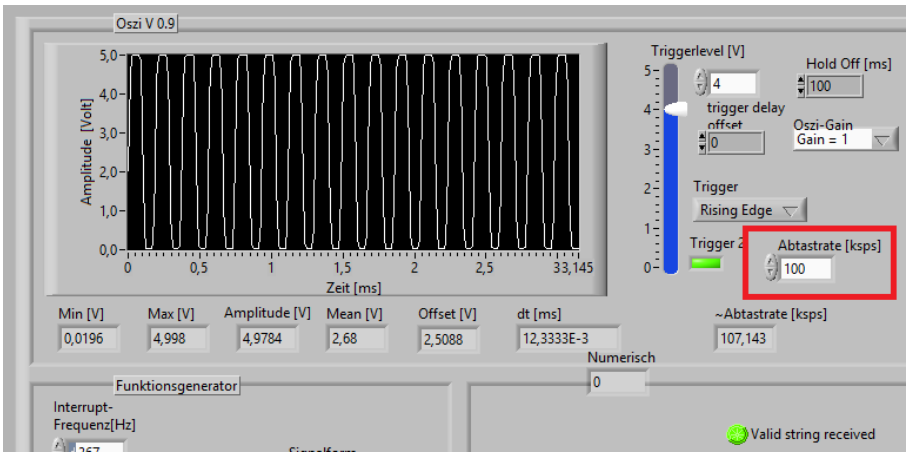


Abbildung 1 Korrekter rechteckförmiger Signalverlauf des Discharge-Signals

→Betreuer

Aufgabe 2: Frequenzzähler

Erzeugen Sie mit einer **16-bit-UDB-PWM** ein Rechtecksignal mit der von Ihnen in der Vorbereitung berechneten Periodendauer und einem Tastverhältnis von ca. 10%. Erzeugen Sie mit einem Clock-Modul das entsprechende Taktsignal.

Prüfen Sie das Rechtecksignal, indem Sie eine LED anschließen.

Lösen Sie mit dem PWM Interrupts aus (siehe *Komponenten: ISR*).

Fügen Sie dazu einen *Interrupt*-Baustein in Ihrem Top Design hinzu und verbinden Sie ihn mit dem *Interrupt*-Ausgang des PWM-Moduls. In den Eigenschaften des *PWM*-Moduls setzen Sie nun *CMP Type 1* auf *Less or Equal* und aktivieren im *Advanced*-Tab die Option *Interrupt on Compare 1 Event*. Klicken Sie dann auf *Build* oder *Generate Application*.

In der daraufhin erstellten Datei (isr_1.c im *Workspace Explorer*) setzen Sie eine im Hauptprogramm definierte, globale Variable (z.B. vom Typ *extern volatile int*) auf eins.

Beachten Sie dabei folgende Punkte:

- In der Standardeinstellung des C-Compilers wird bei Interrupt-Routinen eine aggressive Optimierung vorgenommen. Alle vom Benutzer außerhalb der entsprechenden *„/Start“*- und *„/End“*-Kommentarzeilen hinzugefügte Codezeilen werden beim Kompilierungsvorgang gelöscht!
- Nach jedem Interrupt bzw. *CMP1*-Event muss das Statusregister des *PWM*-Moduls mithilfe der *API*-Funktion „*PWM_ReadStatusRegister()“* in Ihrem Programmcode zurückgesetzt werden. Erst dann kann ein neuer Interrupt auftreten.

Weiter Informationen finden Sie in den jeweiligen Datenblättern.

Warten Sie im Hauptprogramm in einer Schleife, bis diese Variable gesetzt wurde (*pollen*) und setzten Sie sie anschließend zurück. Testen Sie die Programmverzögerung, indem Sie in Ihrem Hauptprogramm eine lokale Variable inkrementieren und auf dem LCD-Panel ausgeben. →**Betreuer**

Platzieren sie einen **16-bit-UDB-Counter** neben dem PWM und takten Sie den Counter mit dem Rechtecksignal des 555-Timers (verwenden Sie hierzu den *Count*-Eingang). Schließen Sie an den *Enable*-Eingang den Ausgang des PWM an. Geben Sie auf dem LCD-Panel den Zählerstand (bzw. bei frei laufenden Zählern die Differenz zum Anfangswert) aus. →**Betreuer**

Übertragen Sie die Daten wie im vorherigen Versuch per RS232-Schnittstelle an den Miniserver.

Als Steuercode verwenden Sie *0010b* (für Sensor 2). →**Betreuer**

Teil 3: Verarbeitung/Darstellung der Messdaten

Zur Messwertverarbeitung und -darstellung erweitern Sie Ihr *LoxoneConfig*-Programm aus dem vorherigen Versuch.

Verwenden Sie zur Berechnung der relativen Luftfeuchtigkeit aus den Kapazitätswerten eine Polynomapproximation dritter Ordnung der Form:

$$y = A+Bx+Cx^2+Dx^3$$

y: Relative Luftfeuchte in %

x: Kapazität des Sensors in pF

Mit den Koeffizienten:

Koeffizient	Wert
A	3731,68
B	-70,86
C	0,43
D	$-8{,}33*10^{-4}$

Bedingt durch Rauschen und äußere Störeinflüsse schwankt der Messwert ständig um kleine Beträge. Damit Sie die relative Luftfeuchtigkeit besser ablesen können sollten Sie das Signal glätten.

Mit dem Jumper JP3 können Sie den Sensor durch einen Trimmkondensator ersetzen und Kapazitäten im Bereich von 152 pF bis 185 pF einstellen. Durch Drehung der Einstellschraube am Trimmkondensator wird eine der beiden Elektroden gegenüber der anderen verdreht. Die obere, drehbare Elektrode ist als goldfarbige Fläche sichtbar, die untere Elektrode in einem dunklen Grauton. Der Maximalwert der Kapazität wird dann erreicht, wenn die Überdeckung der beiden Elektroden maximal wird. Der Minimalwert wird erreicht, wenn die Elektroden 180° zueinander verdreht sind und sich nur minimal überdecken.

Überprüfen Sie in Ihrem Loxone Config-Programm, welche Kapazität Sie in beiden Stellungen des Trimmkondensators messen und bestimmen Sie jeweils die Abweichung zum Nominalwert. Auch bei korrekter Funktion der Schaltung kann sich durch Toleranzen in der Komparatorschaltung eine Abweichung vom gemessenen zu dem erwarteten Wert ergeben. Ist diese Abweichung für alle Werte annähernd konstant, dann können Sie sie als Korrekturwert verwenden und von der gemessenen Kapazität des Sensors abziehen.

→Betreuer