

# Füllstandsmessung mit kapazitiven Sensor

René Kamrath

11. Februar 2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Hardware</b>	<b>5</b>
2.1	Messsonde . . . . .	5
2.2	Messplatine . . . . .	6
2.3	Evaluierungsboard . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Software</b>	<b>9</b>
3.1	Konfiguration . . . . .	9
3.2	Berechnung . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Fazit</b>	<b>15</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>16</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>17</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

Die Aufgabe dieses Projektes war die Entwicklung einer Messsonde zur Erfassung von Füllstandsänderungen von Flüssigkeiten in nicht einsehbaren Behältern. Bei einer Füllstandsmessung handelt es sich um eine kontinuierliche Messung, die verwendet wird als Eingangsgröße von Regelungen und Steuerungen, Verbrauchsermittlungen und für Betriebsüberwachung und Dokumentation von Abfüllungsanlagen.

Für Füllstandsermittlungen gibt es viele Methoden, das am meisten verbreitete Verfahren ist das Schwimmer oder Tastplattenverfahren, wobei der Messaufnehmer auf der Oberfläche der Flüssigkeit schwimmt und den Füllstand mittels Seilzug und Gegengewicht auf eine Messskala auf der Außenseite des Behälters überträgt.

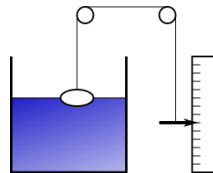


Abbildung 1.1: Schwimmer Verfahren

Eine weitere Methode ist das radiometrische Verfahren, hierbei werden künstliche radioaktive Isotope durch den Behälter gesendet und durch die Absorption lässt sich der Füllstand ermitteln. Ein Vorteil dieser Methode ist dass sich die komplette Messeinrichtung außerhalb des Behälters befindet und Eigenschaften des Füllgutes wie Druck und Temperatur keinen Einfluss auf die Messung haben.

Beim Verfahren der kapazitiven Füllstandsmessung, wird die Kapazität

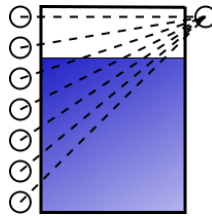


Abbildung 1.2: Radiometrisches Verfahren

eines in den Messbehälter eingetauchten Kondensators in Abhängigkeit von der Füllhöhe beeinflusst. Diese Messmethode setzt allerdings eine konstante Permittivitätszahl  $\epsilon_r$  und ein homogenes Füllgut voraus.

Die verbreitetste Methode der kapazitiven Füllstandsmessung ist die bei der die Behälterwände und eine in den Behälter eingebaute Messsonde den Kondensator bilden. Das Verfahren funktioniert allerdings nur bei einer leitfähigen Behälterwand. Weitere Ausführungen sind der Platten- und Zylinderkondensator, die in die Flüssigkeit eingetaucht werden.

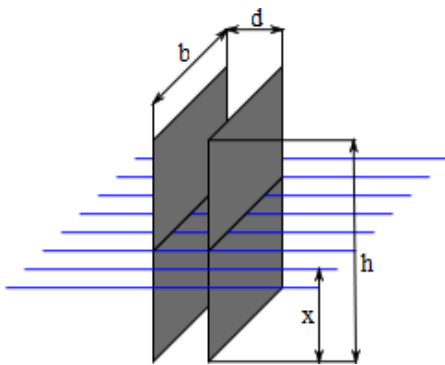


Abbildung 1.3: Plattenkondensator

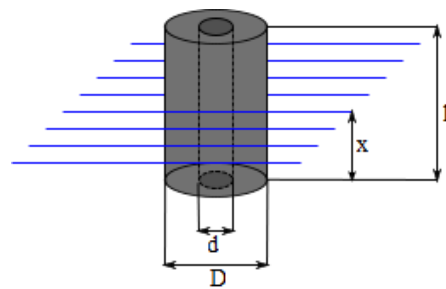


Abbildung 1.4: Zylinderkondensator

$$C_1 = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{b \cdot x}{d} \quad (1.1)$$

$$C_2 = \epsilon_0 \cdot \frac{b \cdot (h - x)}{d} \quad (1.2)$$

$$C_1 = \frac{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot x}{\ln \frac{D}{d}} \quad (1.3)$$

$$C_2 = \frac{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot (h - x)}{\ln \frac{D}{d}} \quad (1.4)$$

Abbildung 1.5 ist die Wirkungskette von der Füllstandshöhenänderung bis zur Ausgabe.

<b>Vorteile:</b>	<b>Nachteile:</b>
kostengünstig	nur für homogenes Füllgut
einfache Bauweise	geringe Langzeitstabilität
Genauigkeit	hohe Querempfindlichkeit

Tabelle 1.1: Vor- und Nachteile

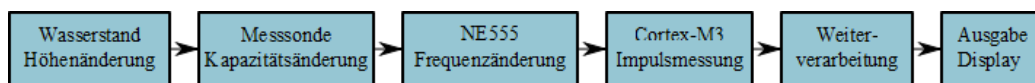


Abbildung 1.5: Wirkplan

# Kapitel 2

## Hardware

Die verwendete Hardware in diesem Projekt lässt sich grob in drei Gruppen aufteilen, der Messsonde, der Messplatine und dem Evaluierungsboard.

### 2.1 Messsonde

Bei der Messsonde handelt es sich um einen Zylinderkondensator. Für den Außenring wurde ein Metallrohr verwendet, was eigentlich für den Einsatz als Möbelfuss vorgesehen war, der Vorteil dieses Rohres war das bereits das eine Ende eine schmalere Öffnung für die Stabsonde hatte.

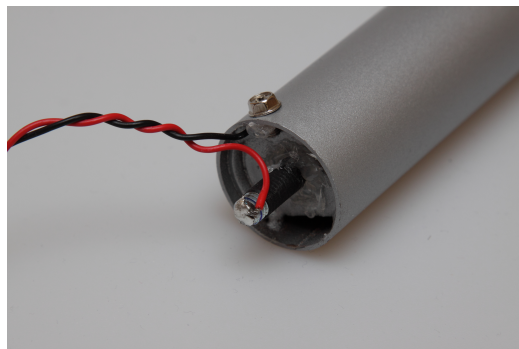


Abbildung 2.1: Anschluss Messsonde

Als Stabsonde im Inneren des Zylinders wurde eine M6-Gewindestange verwendet.

Wichtig für den korrekten Einsatz der Messsonde in einer leitfähigen Flüssigkeit, wie Wasser, ist dass eine Seite des Kondensators isoliert wird, damit

keine leitende Verbindung entstehen kann. Aus zweckmässigen Gründen empfiehlt sich hierbei die Isolierung der Stabsonde, das wurde realisiert durch den Gebrauch von Schrumpfschlauch und Isolierband.

Die isolierte Stabsonde wurde dann mittels Heisskleber innerhalb des Zylinders fixiert und an beiden Elektroden eine Leitung angebracht die an die Messplatine angeschlossen wird.

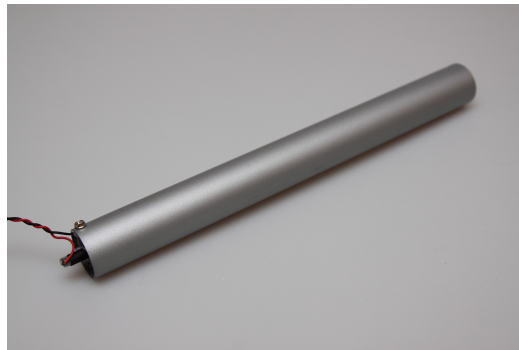


Abbildung 2.2: Messsonde

## 2.2 Messplatine

Auf der Messplatine befindet sich der Timerbaustein NE555 der in einer Beschaltung als Astabiler Multivibrator. Der NE555 Timerbaustein erzeugt ein Rechtecksignal oder PWM-Signal, dessen Frequenz durch zwei Widerstände und einen Kondensator bestimmt werden.

Die Aufladezeit des Kondensators wird als High-Signal ausgegeben und kann nach Formel 2.1 errechnet werden.

$$t_1 = 0.693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 \quad (2.1)$$

Die Entladedauer des Kondensators ergibt sich nach Formel 2.2 und wird vom NE555 als Low-Signal ausgegeben.

$$t_2 = 0.693 \cdot R_2 \cdot C_1 \quad (2.2)$$

Beides zusammen addiert ergibt dann die Oszillationsfrequenz(Formel 2.3).

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) \cdot C_1} \quad (2.3)$$

Der Schaltplan für die Messplatine befindet sich im Anhang.

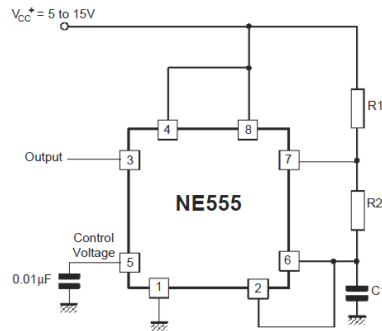


Abbildung 2.3: NE555 - Astabiler Multivibrator

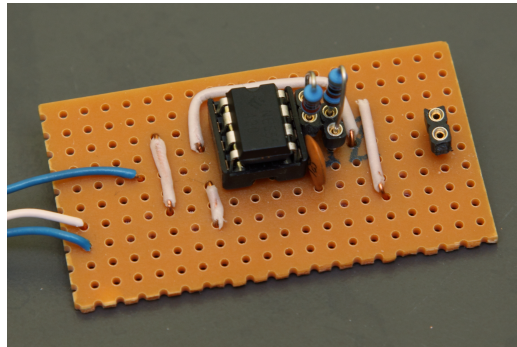


Abbildung 2.4: Messplatine

## 2.3 Evaluierungsboard

Zur Auswertung des Rechtecksignals vom NE555 Timerbaustein wird ein Controller benötigt. In diesem Projekt wurde ein ARM Cortex-M3 Mikrocontroller verwendet, die Aufgabe des Mikrocontrollers war es das Rechtecksignal des NE555 in eine prozentuale Höhe umzurechnen und eine grafische Ausgabe für den Nutzer darzustellen.

Die Messung der Frequenz wird auf dem Controller mittels zweier Timer realisiert, ein Timer erzeugt dabei eine konstante Torzeit und mit dem zweiten Timer wird während dieser Torzeit die steigenden Flanken des NE555 gezählt.

Die Ausgabe der Füllstandshöhe erfolgt dann einmal als Prozentwert und einmal als kleine grafische Darstellung auf dem Farb-LCD vom Typ Nokia 6610.



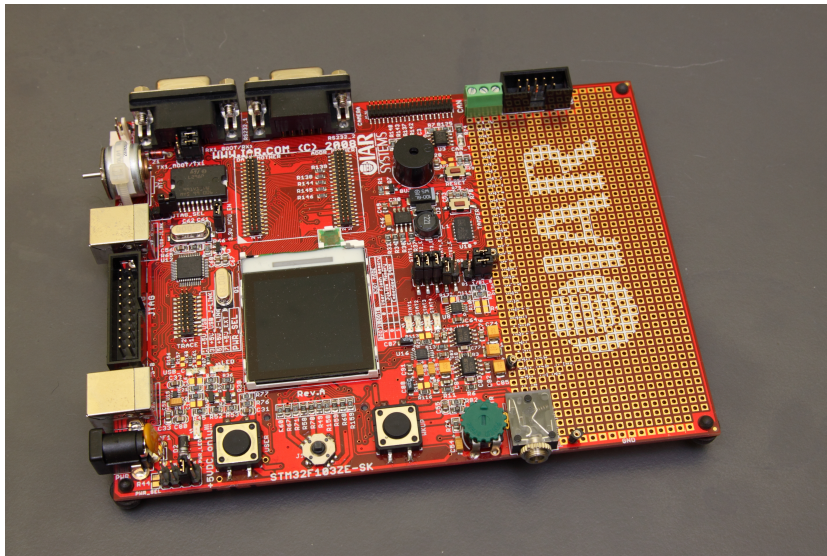


Abbildung 2.5: Evaluierungsboard

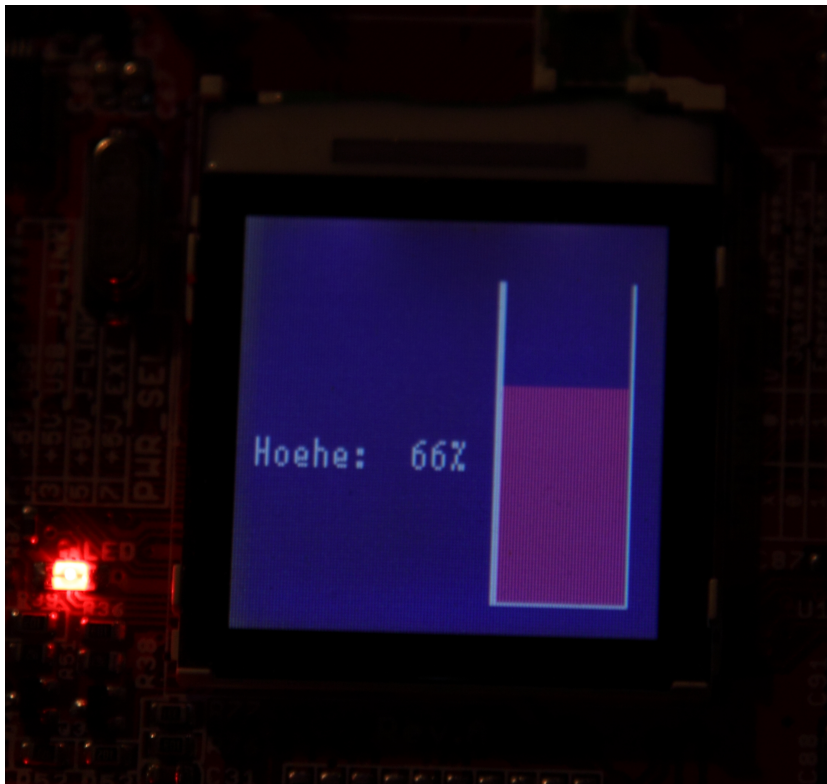


Abbildung 2.6: Farbdisplay Nokia 6610

# Kapitel 3

## Software

Die gesamte Quellcode wurde mit der zum Evaluierungsboard zugehörigen Software geschrieben, hierbei handelt es sich um die „Embedded Workbench 5.4“ der Firma IAR.

### 3.1 Konfiguration

Quellcodeauszug 3.1 zeigt die Initialisierung des Timers 2 als Torzeit für die Frequenzmessung, die eingestellte Torzeit beträgt dabei 5ms.

```
1  /*
   * Config_TIM2
   *
   * Initialisierung des Timers 2 als Torzeit
   *   TIMxCLK = 72 MHz, Prescaler = 5000, TIMx counter clock =
   *   14.400 Hz
   *   TIMx Frequency = TIMxCLK/(TIMx_Period + 1) = 200 Hz
   */
   void Config_TIM2(void)
   {
   11  TIM_TimeBaseInitTypeDef  TIM_TimeBaseStructure;
      TIM_OCInitTypeDef      TIM_OCInitStructure;
      u16 CCR2_Val = 1;

      // TIM2 clock enable
      -----

      RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM2, ENABLE);

   16  // TIM2 Peripheral Configuration
      -----
```

```

    TIM_DeInit(TIM2);

    // Time Base configuration
    -----
21    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler      = 5000;
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode    =
        TIM_CounterMode_Up;
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period        = 71;
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = 0;

26    TIM_TimeBaseInit(TIM2, &TIM_TimeBaseStructure);

    // Channel 1 Configuration in PWM mode
    -----
    TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode          = TIM_OCMode_Active;
    TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse          = CCR2_Val;
31    TIM_OCInitStructure.TIM_OCPolarity    = TIM_OCPolarity_Low;

    TIM_OC1Init(TIM2, &TIM_OCInitStructure);

    TIM_OC1PreloadConfig(TIM2, TIM_OCPreload_Disable);

36    // TIM2 counter enable
    -----

    TIM_Cmd(TIM2, DISABLE);

    // Enables the TIM2 Capture Compare channel 1 Interrupt
    source -----
41    TIM_ITConfig(TIM2, TIM_IT_CC1, ENABLE);
}

```

Um Impulse messen zu können wird ein Timer so eingestellt, dass er alle steigenden Flanken zählt(siehe Quellcode 3.1).

```

/*
 * PWM_Eingang
 *
4  * Initialisierung der Timer
 */
void PWM_Eingang(TIM_TypeDef* TIMx)
{
    TIM_TimeBaseInitTypeDef  TIM_TimeBaseStructure;
    TIM_ICInitTypeDef        TIM_ICInitStructure;
9
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_TIM1, ENABLE);

    TIM_DeInit(TIMx);
14

```

```

19  /* Time Base configuration
    -----*/
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler      = 1;
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode   =
        TIM_CounterMode_Up;
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period        = 0;
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = 0;
    TIM_TimeBaseInit(TIMx, &TIM_TimeBaseStructure);

    TIM_ICInitStructure.TIM_Channel          = TIM_Channel_1;
    TIM_ICInitStructure.TIM_ICPolarity      = TIM_ICPolarity_Rising
    ;
24  TIM_ICInitStructure.TIM_ICSelection     =
        TIM_ICSelection_DirectTI;
    TIM_ICInitStructure.TIM_ICPrescaler     = TIM_ICPSC_DIV1;
    TIM_ICInitStructure.TIM_ICFilter        = 0x0;

    TIM_PWMConfig(TIMx, &TIM_ICInitStructure);
29  // TIMx counter disable
    -----
    TIM_Cmd(TIMx, DISABLE);

    // Enables the TIMx Capture Compare channel 1 Interrupt
    source -----
34  TIM_ITConfig(TIMx, TIM_IT_CC1, ENABLE);
    }

```

Mittels der Tasten „USER“ und „WKUP“ auf dem Evaluierungsboard kann der Füllstandssensor kalibriert werden. Befindet sich der Sensor außerhalb der Flüssigkeit wird mit einem Klick auf den „USER“-Taster der Füllstand auf Null eingestellt, wenn der Sensor komplett eingetaucht ist kann die 100 Prozent Marke mit dem „WKUP“-Taster eingestellt werden.

## 3.2 Berechnung

Um aus den gezählten Impulsen die Füllhöhe zu ermitteln wurde zuerst eine Messreihe mit verschiedenen Füllständen aufgenommen (siehe Abbildung 3.1).

Da die aufgenommenen Werte nicht linear sind, muss mittels einer Korrekturfunktion eine möglichst lineare Funktion aufgestellt werden. In Abbildung 3.2 sind die Ergebnisse von verschiedenen Korrekturfunktionen dargestellt. Im Quellcode 3.2 ist die Funktion zur Berechnung und Ausgabe dargestellt.

Mit der Korrekturfunktion 3. Ordnung ist das erzielte Ergebnis annähernd linear.

```
/*
 * WasserstandAusgabe
 * Berechnung und Ausgabe des Füllstands auf dem LCD
 */
5 void WasserstandAusgabe(Int32U Impulse)
{
    if((Impulse >= Wasser_MAX) && (Impulse <= Wasser_MIN))
    {
10         Int32U Impulse2 = Wasser_MIN - Impulse;
            Wasserstand = (((Impulse2*Impulse2*Impulse2)/
                ((Wasser_MIN-Wasser_MAX)*(Wasser_MIN-Wasser_MAX)))*100)/
                (Wasser_MIN-Wasser_MAX);

15         // Wasser
            GLCD_SetFont(&Terminal_18_24_12, RED, RED);
            GLCD_SetWindow(81, 118-Wasserstand, 119, 119);
            GLCD_print("\fCLEAR");

20         // Luft
            GLCD_SetFont(&Terminal_18_24_12, BLACK, BLACK);
            GLCD_SetWindow(81, 16, 119, 117-Wasserstand);
            GLCD_print("\fCLEAR");

25         // Wasserstand Ausgabe
            GLCD_SetFont(&Terminal_9_12_6, WHITE, BLACK);
            GLCD_SetWindow(0, 21, 100, 131);
            GLCD_TextSetPos(1, 3);
            GLCD_print("Imp: □%6.0d", Impulse);
            GLCD_TextSetPos(1, 4);
30         GLCD_print("Hoehe: □%3.0d%", Wasserstand);
    }
}
```

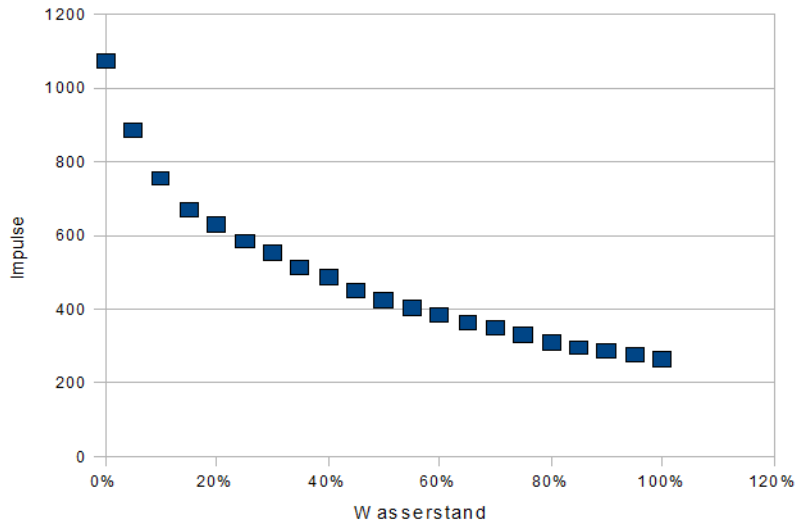


Abbildung 3.1: Impulse-Wasserstand

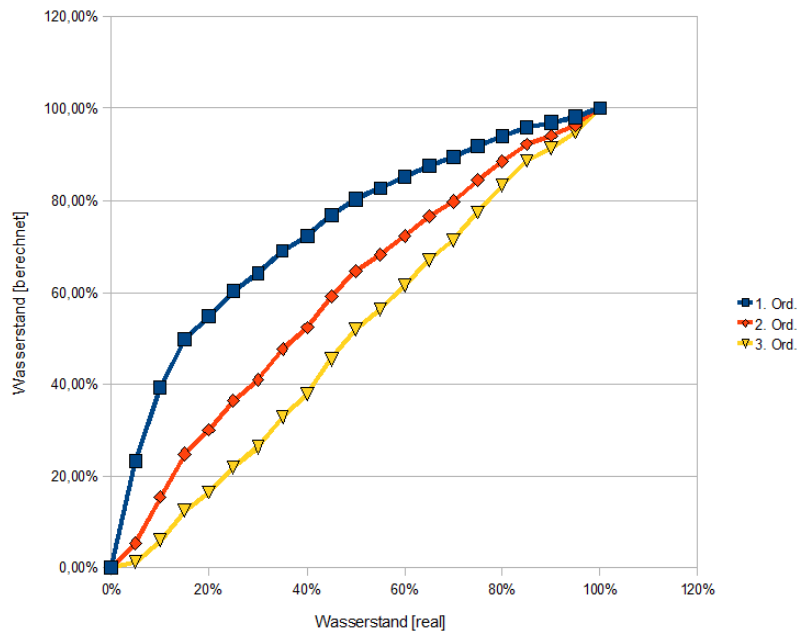


Abbildung 3.2: Wasserstand berechnet

# Kapitel 4

## Fazit

Der kapazitive Füllstandssensor ist ein einfacher und kostengünstiger Sensor, abhängig von der Sensorbauweise kann eine hohe Genauigkeit erreicht werden.

Nach der Kalibrierung des Sensors sind selbst Füllstandsänderungen von 1-2mm erkennbar.

Probleme des Sensors sind dagegen die Langzeitstabilität und die hohe Quersensitivität gegenüber Temperatur, Druck und inhomogenes Füllgut. Da die Messsonde zum Großteil aus Metall besteht waren bereits nach zwei Tagen Dauereinsatz erste Korrosionserscheinungen sichtbar.

Trotz kleinerer Probleme wurde ein funktionsfähiger Sensor zur Füllstandserkennung gebaut.

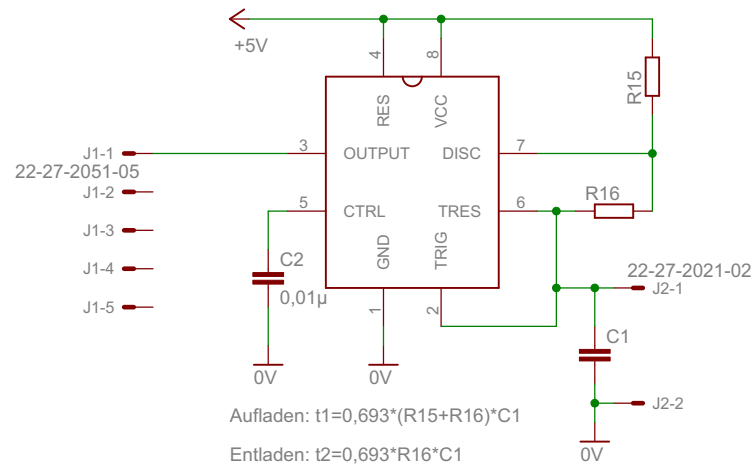
# Abbildungsverzeichnis

1.1	Schwimmer Verfahren . . . . .	2
1.2	Radiometrisches Verfahren . . . . .	3
1.3	Plattenkondensator . . . . .	3
1.4	Zylinderkondensator . . . . .	3
1.5	Wirkplan . . . . .	4
2.1	Anschluss Messsonde . . . . .	5
2.2	Messsonde . . . . .	6
2.3	NE555 - Astabiler Multivibrator . . . . .	7
2.4	Messplatine . . . . .	7
2.5	Evaluierungsboard . . . . .	8
2.6	Farbdisplay Nokia 6610 . . . . .	8
3.1	Impulse-Wasserstand . . . . .	13
3.2	Wasserstand berechnet . . . . .	13



# Tabellenverzeichnis

1.1 Vor- und Nachteile . . . . .	4
----------------------------------	---



Aufladen:  $t_1 = 0,693 \cdot (R15 + R16) \cdot C1$

Entladen:  $t_2 = 0,693 \cdot R16 \cdot C1$

$f = 1/T = 1,44 / ((R15 + 2 \cdot R16) \cdot C1)$