

# **Hydrostatische Füllstandsmessung durch Drucksonde / Druckdose mit I2C Schnittstelle**

( Version 1.00a )

Jens Dietrich  
Bautzener Str. 9a  
D-02977 Hoyerswerda  
Tel.: +49 (0) 3571 6027653  
Fax.: +49 (0) 3571 6027654  
jd@icplan.de  
[www.icplan.de](http://www.icplan.de)

## Idee und Konzept ( Füllstandsmesser / Füllstandsanzeige )

Die Füllhöhe in einem Behälter mit Regen- oder Klarwasser kann man auch über eine passende Drucksonde ermitteln. Ich habe dazu über mehrere Jahre eine solche hydrostatische Drucksonde entwickelt, die bis zu einer maximalen Wasserhöhe von 10m verwendet werden kann. Die reproduzierbare Genauigkeit ist besser als plus minus fünf Prozent. Das zur Drucksonde gehörende Steuermodul realisiert einen universellen I2C Busanschluss. Es kann damit der Füllstand von 0 bis 100% und Status der Maßanlage ausgelesen werden. Der Drucksonde ist es dabei egal, welche Form der Behälter hat. Selbst in sehr engen Brunnen kann die Höhe des Wasserstandes über die Drucksonde ermittelt werden. In jedem Fall ist aber die Drucksonde vor Frost und Temperaturen über 70°C zu schützen. Die Drucksonde darf nur in sauberen und wasserklaren Flüssigkeiten wie Regen- oder Brunnenwasser eingesetzt werden. Für eine Messung von Schmutz- / Ab- oder Fäkalienwasser ist die Drucksonde nicht geeignet. Die Drucksonde wurde von mir komplett mit einem widerstandsfähigen Harz vergossen und ist mechanisch so aufgebaut, dass kaum Schwebestoffe und Schmutzablagerungen den Messvorgang behindern können. Bei starken Verschmutzungen kann die Drucksonde auseinandergenommen und mit Warmwasser gereinigt werden. Das verwendete Gummikabel ist robust und perfekt für den Dauereinsatz im Wasser geeignet. Die Drucksonde enthält einen Drucksensor und eine controllergesteuerte Elektronikbaugruppe. Der Anschluss und die Kabelverlängerung ist dabei besonders einfach und elegant gelöst. Man kann das Kabel mit einem beliebigen zweiadrigen Kabel verlängern. Es muss dabei nicht einmal auf die richtige Polung beim Anschluss an das Steuermodul geachtet werden. Die Daten zwischen Drucksonde und Anzeigemodul werden kontinuierlich in digitaler Form übermittelt. Auf dem Steuermodul befindet sich zwei LED's. Die linke rote LED (Daten LED), zeigt mit einem kurzen Blinken an, dass ein neuer Datensatz der Drucksonde gerade übertragen wird. In der Drucksonde wird neben dem aktuellen Druckwert auch noch die Temperatur und die in der Drucksonde ankommende Spannung erfasst. Der ermittelte Temperaturwert der Drucksonde wird nur für eine Kompensation der Messung verwendet. Eine externe Auswertung ist nicht möglich und nötig. Eine Unterbrechung, ein Kurzschluss oder eine lose Klemmstelle der Verbindungsleitung zwischen Drucksonde und Steuermodul wird von der Software vom Steuermodul erkannt und mit einem besonderen Blinken der Status LED angezeigt. Pin3 am Controller ist ein serieller Ausgang für ein Bluetooth HC-06 Modul. Hier einfach Pin3 mit dem RXT Pin, GND und 5Volt verbinden. Die passende Android AP sende ich kostenfrei zu.

Die Drucksonde kann über ein bis zu 150m langes und zweiadriges Kabel mit dem Steuermodul verbunden werden. In der Drucksonde ist neben einer elektronischen Baugruppe auch ein Druck- und Temperatursensor verbaut. Der Drucksensor kann einen Wasserdruck von 10m Wassersäule aushalten und messen. Im Gegensatz zu allen industriellen Tauchsonden, ist im Anschlusskabel keinerlei Kapillarleitung verbaut. Es kann also mit einfachen, preiswerten und handelsüblichen Kabel verlängert werden. Die Tauchsonde darf nur mit diesem Steuermodul verwendet werden. Es gibt aber auch ein passendes LCD Anzeige- und Schaltmodul mit zwei Relais, welches in dieser Anleitung nicht weiter beschrieben wird. Die Tauchsonde ist nicht gepolt und kann damit beliebig herum angeschlossen werden. Die in der Tauchsonde ermittelten Daten werden über digitale Impulse zum Anzeigemodul gesendet. Man darf die Drucksonde nie direkt an industrielle 0-10 Volt oder 4-20mA Schnittstellen anschließen. Alle 5 Sekunden werden aktuelle Druck-, Temperatur- und Spannungsdaten an das Steuermodul gesendet. Aus dem Druckunterschied

zwischen leerer, teilgefüllter und voller Zisterne kann der aktuelle Füllstand ermittelt werden. Für eine korrekte Funktion, muss die Messanordnung aber einmal justiert werden. Dabei werden zwei Werte der Drucksonde benötigt. Ein Druckwert, wenn die Drucksonde aus dem Wasser genommen wurde und ein Druckwert, wenn die Drucksonde auf dem Boden der Zisterne versenkt ist und dabei die Zisterne voll ist. Der Druckwert außerhalb vom Wasser ist immer kleiner als der Wert bei voller Zisterne.

### Steuermodul

Die recht komplizierte Steuerung der kompletten Schaltung mit allen Steuer- und Ausgabefunktionen übernimmt ein 8 Bit RISK-Controller (ATMEGA8). Ein Oszillator von 8 MHz erzeugt die für den Controller wichtigen Taktsignale. Es sind keine Bedienelemente für den normalen Betrieb nötig. Es befinden sich aber oberhalb des Controllers vier dicht beieinander liegende Schalter. Diese Schalter werden nur für die einmalige Programmierung der Druckwerte benötigt.

Die notwendige Spannung für den Controller (5V) und dem analogen Teil (12V) wird in dieser Schaltung über zwei Spannungsregler bereitgestellt. Das komplette Steuermodul wird durch eine einfache Gleichspannung von 15 bis 30 Volt (max. 0,1A) versorgt. Einfache unstabilierte 12V Stecknetzteile erzeugen fast immer über 15 Volt im Leerlauf. Diese Stecknetzteile sind kostengünstig und ausreichend für diesen Einsatz. D2 schützt die Schaltung vor einer möglichen Verpolung. IC1 ( $\mu$ A7812) erzeugt als einfacher Längsregler eine Spannung von 12 Volt. IC2 (LM2574N5) ist ein effizienter Schaltregler und erzeugt ohne Wärmeverluste die 5 Volt Spannung für den Controller.

### Übersicht der 16 möglichen Schalterfunktionen

Wenn sich die Schraubklemmen am Steuermodul unten befinden, ist mit der linken Spalte der linke Schalter 1 gemeint, Schalter 2, Schalter 3 und die rechte Spalte stellt den rechten Schalter 4 dar. Ein x bedeutet ON (nach oben) Schalter-Ein dar.

1	2	3	4	Beschreibung
				Standard - Normalbetrieb (stehende zylinderförmige Zisterne)
			X	Normalbetrieb (liegende Rundzisterne)
		X		Justagefunktion bei Teilbefüllungsmontage
		X	X	Vorbereitungsfunktion für die automatischen Füllstandskorrektur
	X			Abschaltung der automatischen max. Füllstandskorrektur
	X		X	Kombination Rundzisterne und autom. Füllstandskorrektur aus
	X	X		Unbenutzt
	X	X	X	Nur Ausgabe der Softwareversion (siehe Text weiter hinten)
X				Nur Testausgabe (0%,25%,50%,75%,100%,0%,25%,50%....)
X			X	Nur Ausgabe Druck der Drucksonde
X		X		Nur Ausgabe Temperatur in Drucksonde
X		X	X	Nur Ausgabe der Spannung der Drucksonde
X	X			Ausgabe und Speicherung Referenzdruckwert
X	X		X	Ausgabe und Speicherung „unten“ (voller/hoher Druck)
X	X	X		Ausgabe und Speicherung „oben“ (leer/geringer Druck)
X	X	X	X	Brunnenprogramm, speichert Voreinstellungen für 10m Brunnen

## Justagen und Einstellungen

Damit der Füllstandsmesser den richtigen Füllstand anzeigen kann, ist eine einmalige Justage von drei verschiedenen Werten notwendig. Diese Justage muss nicht in regelmäßigen Abständen wiederholt werden. Selbst wenn die Versorgungsspannung eine kurze oder auch eine längere Zeit nicht anliegt, gehen die einmal angelernten und abgespeicherten Justagewerte nicht verloren. Bei dieser Erstjustage muss und wird das Steuermodul mehrfach ein- und ausgeschaltet. Nahezu alle Funktionen werden nur beim Einschalten der Versorgungsspannung vom Steuercontroller ausgewertet. Wenn eine Schalterfunktion erkannt wurde, bleibt die Status LED dauerhaft eingeschaltet. Bei den vier Funktionen mit einer Speicherfunktion, wird der Wert in dem Moment gespeichert, wenn alle Schalter aus sind. Die Status LED zeigt dann mit einem langsamen und gleichmäßigen Blinken an, dass Speichervorgang abgeschlossen ist. Die Versorgungsspannung muss im Anschluss unbedingt wieder abgeschaltet werden.

Die jetzt beschriebene Schnelljustage ist nur für eine Erstjustage erforderlich, wenn Bauteile der Steuerplatte gewechselt wurden oder ein neue Drucksonde verwendet werden soll.

Nur die Umschaltung der Zisternenform (stehender Zylinder - liegender Rundzylinder) und die Abschaltung der automatischen maximalen Füllstandskorrektur kann mitten im normalen Betrieb durchgeführt werden.

## Blinkfunktionen der LED

### Daten LED (links)

- |               |  |
|---------------|--|
| dauerhaft aus | - Drucksonde nicht angeschlossen oder defekt             |
| dauerhaft ein | - Kurzschluss in Leitung zur Drucksonde                  |
| blinken       | - alles ok (jede Sekunde kommen neue Daten der Sonde an) |

### Status LED (rechts)

- |                 |  |
|-----------------|--|
| dauerhaft aus   | - Spannungsversorgung prüfen                                   |
| dauerhaft ein   | - Programmiermodus ist durch Schalter aktiviert worden         |
| kurzes blinken  | - normaler Betrieb (alles ok)                                  |
| langsam blinken | - nach Programmiermodus wurden Werte gespeichert               |
| doppelblinken   | - Sensorfehler Unterspannung (Kabel zu lang, lose Klemmstelle) |
| dreifachblinken | - Sensorfehler Kabelbruch (Verbindung Sonde – Steuermodul)     |
| vierfachblinken | - neuer Maximaldruckwert (unten) erkannt und gespeichert       |

## Schnelljustage (Start-/Erstjustage)

Spannungsversorgung abschalten und die Drucksonde aus dem Wasser ziehen und neben die Zisterne legen.

Schalter 0011 setzen (nur Schalter 3 und 4 einschalten)

- Spannung einschalten
- Status LED leuchtet durchgehend. Die Daten LED blinkt.
- Wichtig !!! Mindestens 60 Sekunden warten.
- Alle Schalter ausschalten und auf das langsame Blinken warten.

- Spannung abschalten.

Nun kann die Drucksonde zum Boden der Zisterne abgelassen werden. Es ist dabei unerheblich, ob diese unten stehend oder liegend den Füllstand erkennt.

*Es erfolgt jetzt eine automatische Maximalfüllstandsjustage. Die Sonde kann damit schon bei teilbefüllter Zisterne montiert werden und erkennt den steigenden Pegel als neue 100% Füllmenge. Es wird also automatisch der Wert „unten“ (voller Druck) nachjustiert.*

*Sollte eine solche Korrektur nicht gewünscht sein, kann diese Funktion durch das Setzen von Schalter 2 jederzeit abgeschaltet werden.*

Einzelwertjustage (natürlich auch für Erstjustage nutzbar – dauert aber länger !)

Die Werte „unten“, „oben“ und „Referenz“ müssen zwingend an einem gleichen Tag gelernt werden. Sie können also nicht den Wert „oben“ anlernen, die Sonde in der Zisterne versenken und dann erst Tage/Wochen später, wenn die Zisterne richtig voll ist, den Wert „unten“ anlernen.

Nun die drei Druckwerte einzeln anlernen.

Druckwert „oben“ (Drucksonde liegt neben der Zisterne und ist nicht im Wasser)  
Schalterfunktion 1110

- Spannung abschalten.
- Schalter 1,2,3 einschalten.
- Spannung einschalten
- Status LED leuchtet durchgehend. Die Daten LED blinkt.
- Mindestens 60 Sekunden warten.
- Alle Schalter aus und auf das langsame Blinken warten.
- Spannung abschalten

Druckwert „unten“ (Drucksonde liegt auf dem Grund der zu 100% gefüllten Zisterne)  
Schalterfunktion 1101

- Spannung abschalten.
- Schalter 1,2,4 einschalten.
- Spannung einschalten
- Status LED leuchtet durchgehend. Die Daten LED blinkt.
- Mindestens 60 Sekunden warten.
- Alle Schalter aus und auf das langsame Blinken warten.
- Spannung abschalten

Referenzwert (Referenzdruckwert)  
Schalterfunktion 1100

- Spannung abschalten.
- Schalter 1,2 einschalten.
- Spannung einschalten
- Status LED leuchtet durchgehend. Die Daten LED blinkt.
- Mindestens 60 Sekunden warten.
- Alle Schalter aus und auf das langsame Blinken warten.

- Spannung abschalten

Der Referenzdruckwert ist der Wert des aktuellen Luftdrucks. Er wird nicht durch den Drucksensor der Drucksonde, sondern durch den Drucksensor auf der Steuerplatine ermittelt. Der Wert wird für eine interne Kompensation benötigt.

### Benutzung und Umschaltung der Zisternenform

Das Steuermodul kann grundsätzlich bei jeder beliebigen Zisternenform verwendet werden. Wenn man die stehende Zisternenform (Standard) einstellt, wird die befüllte Höhe der Zisterne von 0-100% mit Wert 0-100 ausgegeben. Man könnte also auch sagen, dass bei einer befüllten Höhe von 90% auch 90% der Füllmenge in der Zisterne ist.

Bei einer liegenden Rundzisterne stimmt aber diese Proportionalität durch die rundlichen Wände nicht. Bei einer befüllten Höhe von 90% sind eben schon 95% der Füllmenge in der Zisterne. Für eine Umschaltung auf eine liegende rundliche Zisternenform muss der ganz rechte Schalter (Schalter 4) eingeschalten werden.

Bei einer teilbefüllten liegenden Rundzisterne kommt folgende Formel zum Berechnen der Füllmenge im Controller zum Einsatz.

$$V = l \cdot \left( r^2 \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h) \sqrt{2rh - h^2} \right)$$

### Sonstige Justage und Testfunktionen

Bei allen hier beschriebenen Justage- und Testfunktionen werden die vier Schalter als Eingabemöglichkeiten und die Ausgabe am I2C Bus als Ausgabemöglichkeit für Werte verwendet. Der verwendete I2C Baustein PCF7485A hat im Lieferzustand die Adresse I2C Adresse 0x27(hex). Die Adresse kann durch Lötbrücken auf der Leiterplatte des Steuermoduls angepasst werden.

---

Kontrollfunktion Ausgabewert. Es wird im zeitlichen Abstand von ca. 2 Sekunden die folgenden Werte am I2C Bus ausgegeben. 0%, 25%, 50%, 75%, 100%, 0%, 25%...  
Schalterfunktion 1000

- Spannung abschalten.
- Nur Schalter 1 einschalten.
- Spannung abschalten

---

Druckwert der Drucksonde ansehen (Der reale Druckwert der Drucksonde ist ein Wert zwischen 0 und 1000. Dieser Wert wird hier mit 0-100 über den I2C Bus ausgegeben. Der Wert einer außerhalb der Zisterne liegenden Drucksonde liegt zwischen 30 und 45.

Schalterfunktion 1001

- Spannung abschalten.
- Schalter 1 und 4 einschalten
- nach maximal 30 Sekunden ist der Wert da, Status LED leuchtet dauerhaft

- Spannung abschalten
- 

Temperaturwert der Drucksonde ansehen (Der reale Temperaturwert der Drucksonde ist ein Wert zwischen 0 und 1000. Dieser Wert wird hier mit 0-100 über den I2C Bus ausgegeben. Der Wert liegt zwischen 20 und 70.

Er kann nicht auf eine reale Temperatur in °C umgerechnet werden.

Schalterfunktion 1010

- Spannung abschalten.
  - Schalter 1 und 3 einschalten.
  - Wert ansehen, Status LED leuchtet dauerhaft
  - Spannung abschalten
- 

Spannungswert der Drucksonde ansehen (Der reale Spannungswert der Drucksonde ist ein Wert zwischen 0 und 1000. Dieser Wert wird hier mit 0-100 über den I2C Bus ausgegeben. Der Wert liegt zwischen 90 und 115.

Schalterfunktion 1011

- Spannung abschalten.
  - Schalter 1, 3 und 4 einschalten.
  - Wert ansehen, Status LED leuchtet dauerhaft
  - Spannung abschalten
- 

Referenzdruckwertwert ansehen (Der Referenzwert vom Steuermodul ist ein Wert zwischen 0 und 1000. Dieser Wert wird hier mit 0-100 über den I2C Bus ausgegeben. Der Wert liegt zwischen 30 und 50.

Schalterfunktion 1100

- Spannung abschalten.
  - Schalter 1 und 2 einschalten.
  - Wert ansehen, Status LED leuchtet dauerhaft
  - Spannung abschalten
- 

Brunnen-Programm (wenn diese Funktion gestartet wird, werden die Werte von „oben“, „unten“ und „Referenz“ mit je einem festen Wert überschrieben. Gedacht ist diese Funktion evtl. für den Einsatz in einem maximal 10m tiefen Brunnen, wo es keinen richtigen 100% Füllstand gibt.

Wenn die Sonde nach dieser Justage ausserhalb des Brunnen liegt, wird ein bestimmter aber sehr kleiner Ausgangswert (Nullwert) geliefert. Diese Wert erhöht sich um etwa 4 Werte bei jedem Meter wenn die Sonde ins Wasser des Brunnen gelassen wird.

Beispiel: Nullwert 40

Nachdem die Sonde 4m tief im Wasser gelassen wird, beträgt der Wert 56 ( $40 + (4 * 4)$ ).

Sollte nun der Wasserstand im Brunnen um einen weiteren Meter steigen (nun 5m) , liegen als Wert 60 (40 + (5 + 4) an.  
Sollte der Wasserstand um 1,5m fallen (nun 3,5m), liegen als Wert 54 an.

#### Schalterfunktion 1111

- Spannung abschalten.
- Alle Schalter stecken.
- Spannung einschalten, Status LED leuchtet dauerhaft
- Alle Schalter ausschalten und auf das langsame Blinken warten
- Spannung abschalten

---

Abschaltung der automatischen Maximalfüllstandlernfunktion. Der Füllstandsmesser erkennt automatisch, wenn der Füllstand über seinem Maximalfüllstand liegt und berichtigt dabei automatisch seinen Druckwert „unten“. Sollte die Funktion im normalen Betrieb nicht gewünscht sein, muss der Schalter 2 gesetzt ein bleiben.

Schalterfunktion 0100 (kann auch einfach im normalen Betrieb gesetzt werden)

---

Softwareversion des Steuermoduls mit Werten ausgeben.

#### Schalterfunktion 0111

- Spannung abschalten.
- Schalter 2,3 und 4 einschalten.
- Spannung einschalten, Status LED leuchtet kurz auf
- Ausgangsspannungen messen, wenn die Status LED leuchtet
- Spannung abschalten

