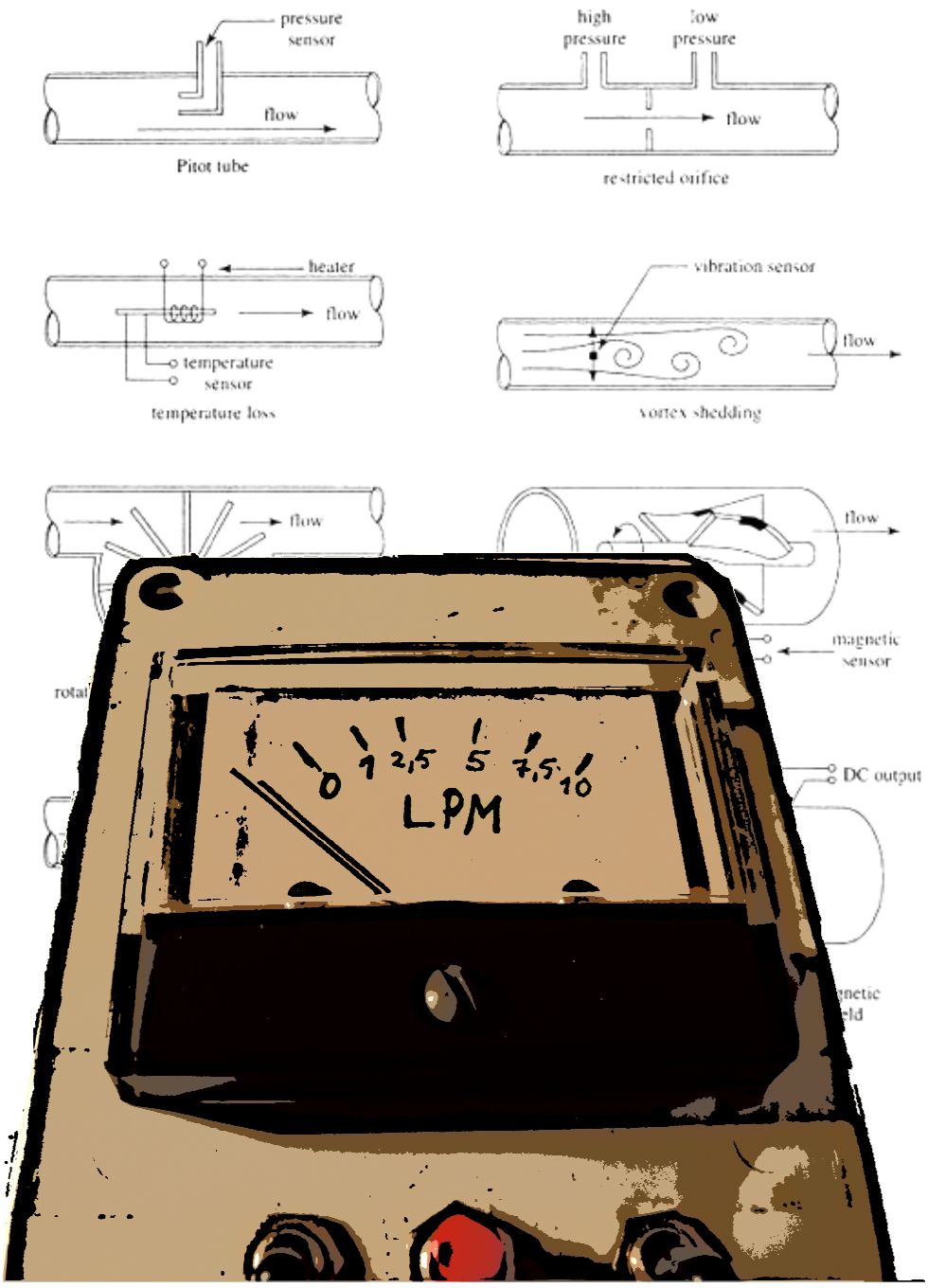
# Messen von Gasmengen mit einfachen Mitteln

Version: 1.1
Datum: 22.12.2014
Autor: Dave Hoffmann



Inhaltsverzeichnis:

1.0 Motivation ..... 3
2.0 Durchführung von Referenzmessungen ..... 3
3.0 Auswertung mit Durchströmungssensor FLW-122 ..... 3
3.1 Vor- und Nachteile im Überblick ..... 3
3.2 Mechanischer Aufbau ..... 4
3.2 Aufbau der Schaltung ..... 5
3.4 Das Ausgabeinstrument ..... 6
4.0 Alternative Durchflusssensor ..... 7
4.1 Vor- und Nachteile im Überblick ..... 7
4.2 Aufbau ..... 7
4.3 Messwerte mit getesteten Flowsensoren ..... 8
4.4 Software zur Ausgabe der Daten ..... 9
4.5 Anpassen der Messwerte ..... 10
5.0 Anhang ..... 11
5.1 optionaler Komparator ..... 11
5.2 Lochraster Platine der FLW-122 Schaltung ..... 11
5.3 Arduino Sketch für Messkurven mit den FLW-122 ..... 13
5.4 Ardunio Sketch für Messkurven mit einem Durchflusssensor ..... 14
5.5 Ardunio Sketch für die LPM-Ausgabe mit einem Durchflusssensor ..... 15

# 1.0 Motivation

Dieses Dokument soll aufzeigen welche einfachen Methoden existieren ein durchströmendes Gas messtechnisch zu erfassen.

# 2.0 Durchführung von Referenzmessungen

Um einen Sensor zu kalibrieren ist es erforderlich, unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten einzustellen. Hierzu kann ein Kompressor genutzt werden, dieser lässt eine leere Plastikflasche um eine bestimmt Höhe in einen wasserbefüllten Zylinder steigen. Abhängig von der benötigten Zeit kann man auf die jeweilige Strömungsgeschwindigkeit im LPM (Liter pro Minute) zurück rechnen. Weitere Informationen finden Sie unter
http://www.minotech.de/forschung/hho-technologie/gas-messmethoden/
Diese Methode kann für das Verhalten von Luft herangezogen werden, andere Gase können in den Strömungseigenschaften abweichen.
Im Anhang sind Programme für das Mikrokontrollersystem Arduino Uno vorhanden, welche den Messvorgang vereinfachen. Näheres zum Arduino findet sich im Kapitel 4.

# 3.0 Auswertung mit Durchströmungssensor FLW-122

## *3.1 Vor- und Nachteile im Überblick*

+ relativ einfacher Aufbau
+ geräuschlos
- vorgeschlagener Transistor schlecht verfügbar
- Nullpunkt kann nicht stabil
- Turbulente Strömung am Sensor muss verhindert werden

## *3.2 Mechanischer Aufbau*

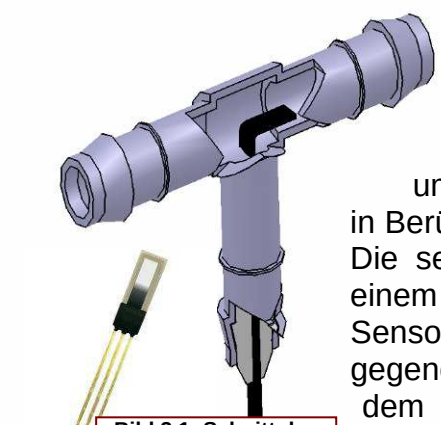


Bild 3.1: Schnitt des Messrohrs

Der Strömungssensor FLW-122 besteht aus einem beheizten Sensorplättchen. Abhängig von dem umströmten Medium liegen unterschiedliche Spannungen an, welche als Messgröße ausgegeben werden. Zu diesem Zweck wird der Sensor in ein umgebendes Gehäuse verbaut und darf nicht mit diesem in Berührung kommen, was das Ergebnis beeinflussen würde. Die seitliche Abbildung zeigt eine einfache Umsetzung mit einem Schlauch-T-Stück. Zunächst werden die 3 Sensorabgänge mit Litzen verlötet und mit Schrumpfschlauch gegeneinander isoliert. Vor dem Verbau wird das Sensorblättchen längs der Durchströmungsachse ausgerichtet und muss vorsichtig umgebogen werden. Das Blättchen muss frei von Luft umgeben sein. Der Sensor wird in Betrieb leicht beheizt, die Wärme

Bild 3.2: Foto vom Messrohr

Nachdem der Sensor samt Anschluss-Stücken im T-Stück positioniert wurde, kann dieser mit einer Klebepistole von Unten fixiert und abgedichtet werden. Die zugeführten Schläuche müssen jeweils über ca. 10 cm gerade geführt werden. Dies ist notwendig, um turbulenten Strömung im Messrohr zu verhindern. Dies würde dazu führen, dass trotz hoher Durchströmung deutlich kleiner Werte angezeigt werden. Um eine gerade Schlauchführung zu erreichen, kann der Schlauch mit Isolierband an einen geraden Halter umwickelt werden oder alternativ ein Rohr verwendet werden. Im Bild 3.2 ist eine mögliche Befestigung des T-Stückes mit Kabelbindern dargestellt. Gut zu erkennen, ist wie das untere Ende abgedichtet wurde.

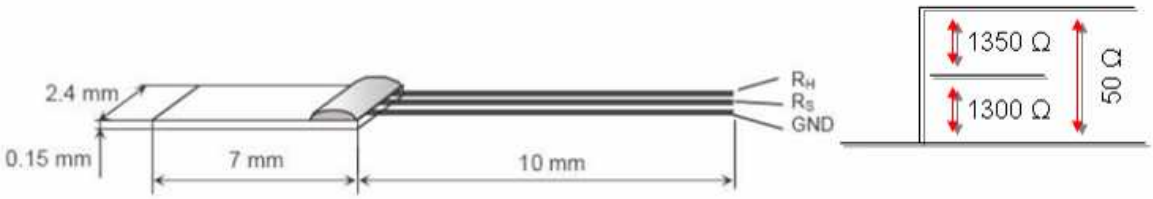



**Bild 3.3: Pinbelegung des Sensors mit Widerstandswerten**

## *3.2 Aufbau der Schaltung*

Der Sensorherdsteller B+B hat in seinen Datenblatt eine Beschaltung an einen Operationsverstärker (LM2902) vorgeschlagen. Dieser gibt Spannungen von 2,7 bis 6 Volt aus. Über das Potentiometer R2 kann der Nullpunkt nachgestellt werden. Die Praxis zeigte, dass sich die Anfangsspannung von 2,7 Volt um 0,2 Volt nach oben und unten ändern kann. Dies könnte sich eventuell mit den sich ändernden Wärmeleiteigenschaften der Luft begründen.

Der vorgeschlagene Transistor MPSA05 wird nicht mehr hergestellt und ist nur sehr schwer zu bekommen. Es wurde verschiedene alternative NPN-Transistoren verglichen. Es können eventuell leicht abweichende Ausgangsspannungen auftreten. Als Alternative kann z.B. der MPSA42 verwendet werden. Diese hat das gleiche Gehäuse und die gleiche Pinbelegung. Das Diagramm 3.5 zeigt ähnliche Ausgabewerte bei einer eigenen Referenzmessung.
Die Schaltung vom Sensorhersteller kann über Drehspulinstrumente oder eine Mikrokontrollerschaltung ausgewertet werden. Allerdings darf die Ausgangsspannung nicht zu stark belastet werden, was zu einer Beschädigung des Transistors führen kann.
Im Folgenden wurde die Schaltung in weiteren Punkten optimiert: Um die Ausgabespannung in einen günstigen Bereich zu verschieben, kann über das Potentiometer R7 eine Abzugsspannung eingestellt werden. Bei Bedarf kann die endgültige Ausgangspannung durch das Verhältnis von den Widerständen R12 durch R11 eingestellt werden. Ebenso wurden einige Widerstände durch gängige Werte ersetzt.
Diese zusätzliche Beschaltung kann mit den vorhanden freien Anschlüssen des Operationsverstärkers umgesetzt werden. Zudem bleibt eine freie Verstärkerstufe übrig, welche für eine Kooperatorschaltung genutzt werden kann (s. Anhang 5.1). Somit kann eine Sollspannung über eine LED angezeigt werden. Des Weiteren befindet sich dort die Schaltung vom unteren Bild auf einer Lochrasterplatine umgesetzt.

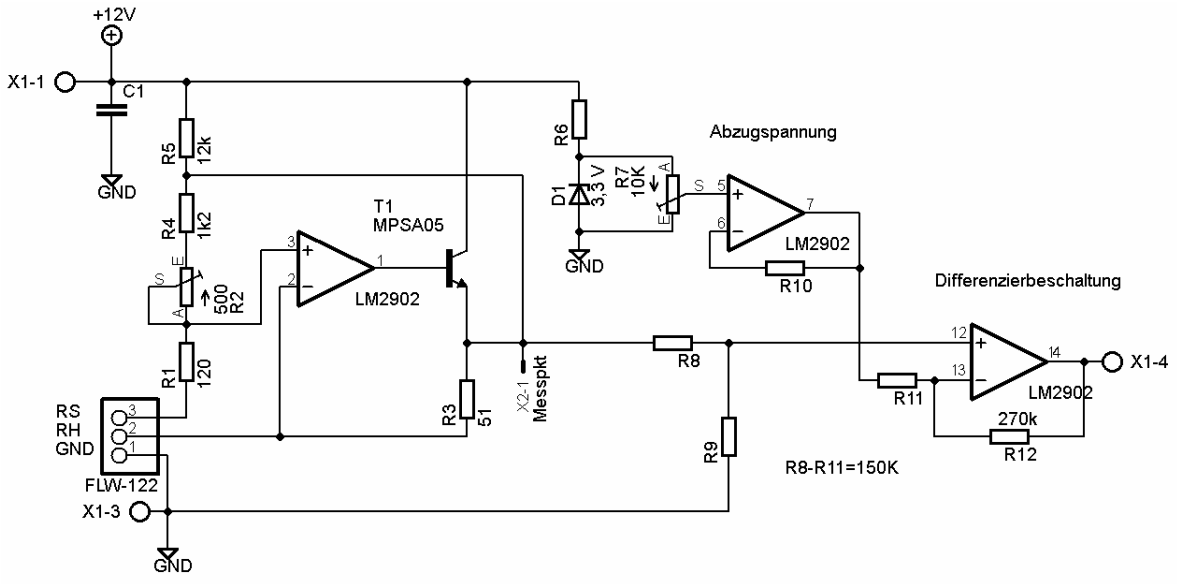
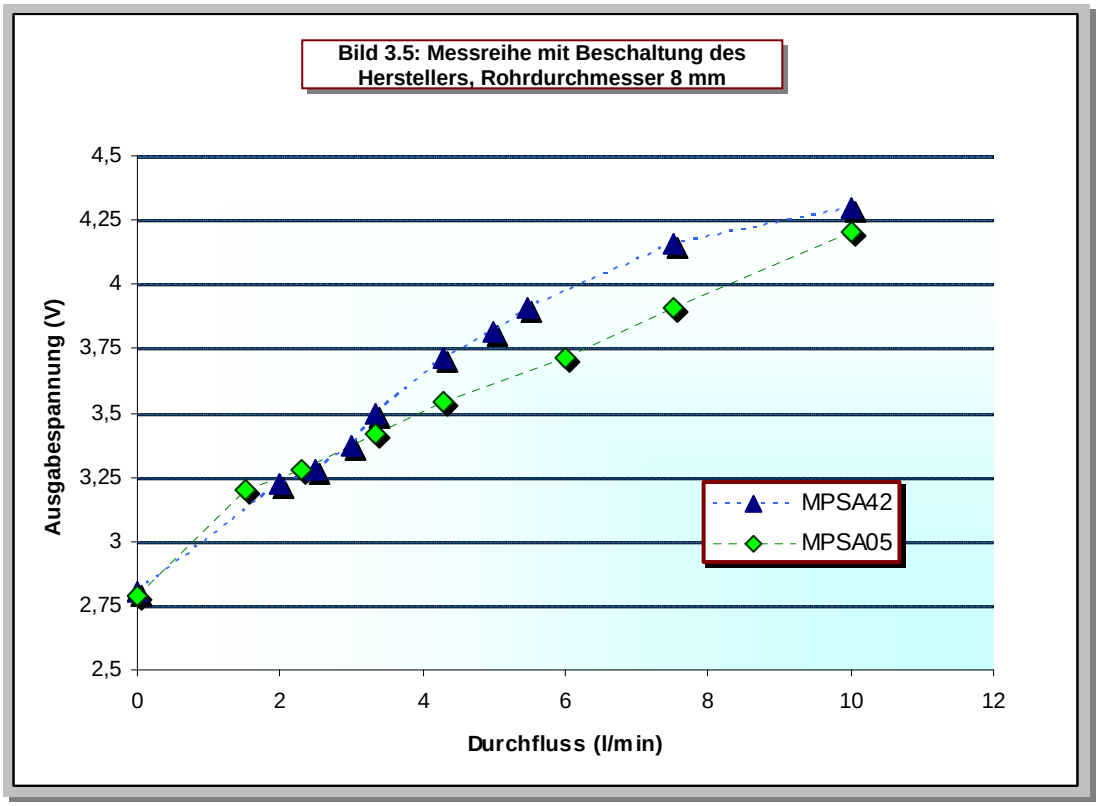



**Bild 3.4: Schaltung für FLW-122 an Drehspulinstrument**

## *3.4 Das Ausgabeinstrument*

Die Auswertung soll über ein Drehspulinstrument erfolgen. Dazu wird die Instrumentenskala nachträglich mit einem Stift beschrieben. Zunächst muss die Ausgabespannung abhängig von Durchfluss ermittelt werden. Es gilt zu beachten, dass die Werte vom Durchmesser des Messrohres und die Einstellung am Potentiometer R2 abhängig sind. Das Beispieldiagramm wurde bei einem Innendurchmesser von 6mm gemessen.




Es kann entweder ein Voltmeter oder ein Amperemeter in kleinen Messbereich verwendet werden. Das Amperemeter hat den Vorteil, dass der Anzeigebereich durch Vorwiderstände feiner eine gestellt werden kann. Eine Auslegung des Vorwiderstandes kann wie folgt berechnet werden:

$$U = R \cdot I = (R_{innen} + R_{vor}) \cdot I$$

$$R_{vor} = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} - R_{innen} = \frac{4{,}5V}{100\mu A} - 2{,}4k\Omega = 42{,}6k\Omega$$

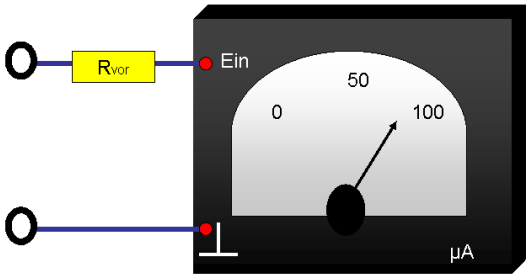



Bild3.6: das Drehspulinstrument mit Vorwiderstand

Dieser Wert ist natürlich nicht als Festwiderstand verfügbar. Deshalb ist der nächst größere Wert zu wählen.

# 4.0 Alternative Durchflusssensor

## *4.1 Vor- und Nachteile im Überblick*

+ genau
+ geringer Umfang der Schaltung
- beschränkter Messbereich, vor allem bei kleinen Gasmengen unter 1l/min
- Aufwendige Auswertung durch Digitalelektronik
- Geräuschentwicklung bei hohen Durchfluss

Durchflusssensoren bestehen in der Regel aus einer kleinen Turbine, die drehzahlabhängig Impulse ausgibt. Um diese Impulsrate auszuwerten bietet sich eine Mikrokontrollerschaltung mit LCD-Display an.

Hierfür wurde ein Arduino Uno verwendet, welcher sich durch eine besonders hohe Einsteigerfreundlichkeit auszeichnet. Dieser kann wahlweise an USB oder bis zu 12Volt Gleichspannung betrieben werden. Zusätzlich können Werte über USB am PC ausgewertet werden.

**Bild4.1: zerlegter und zusammengebauter Durchflusssensor**

## *4.2 Aufbau*

Der Aufbau ist recht simpel: die Durchflusssensoren haben in der Regel 3 Anschlüsse: 5 Volt, Masse und Signal, Diese sind bereits auf der Arduino verfügbar. Die Signalleitung muss auf Pin 2 eingehen, Sollte der Typ Arduino Leonardo verwendet werden, muss Pin 3 benutzt werden.
Das Display wird über mehrere Leitungen angeschlossen. Entweder man verwendet die Beschaltung im Bild 4.2 oder man verwendet ein LCD Keypadshield, Dadurch reduziert sich der Aufwand auf ein Minimum.

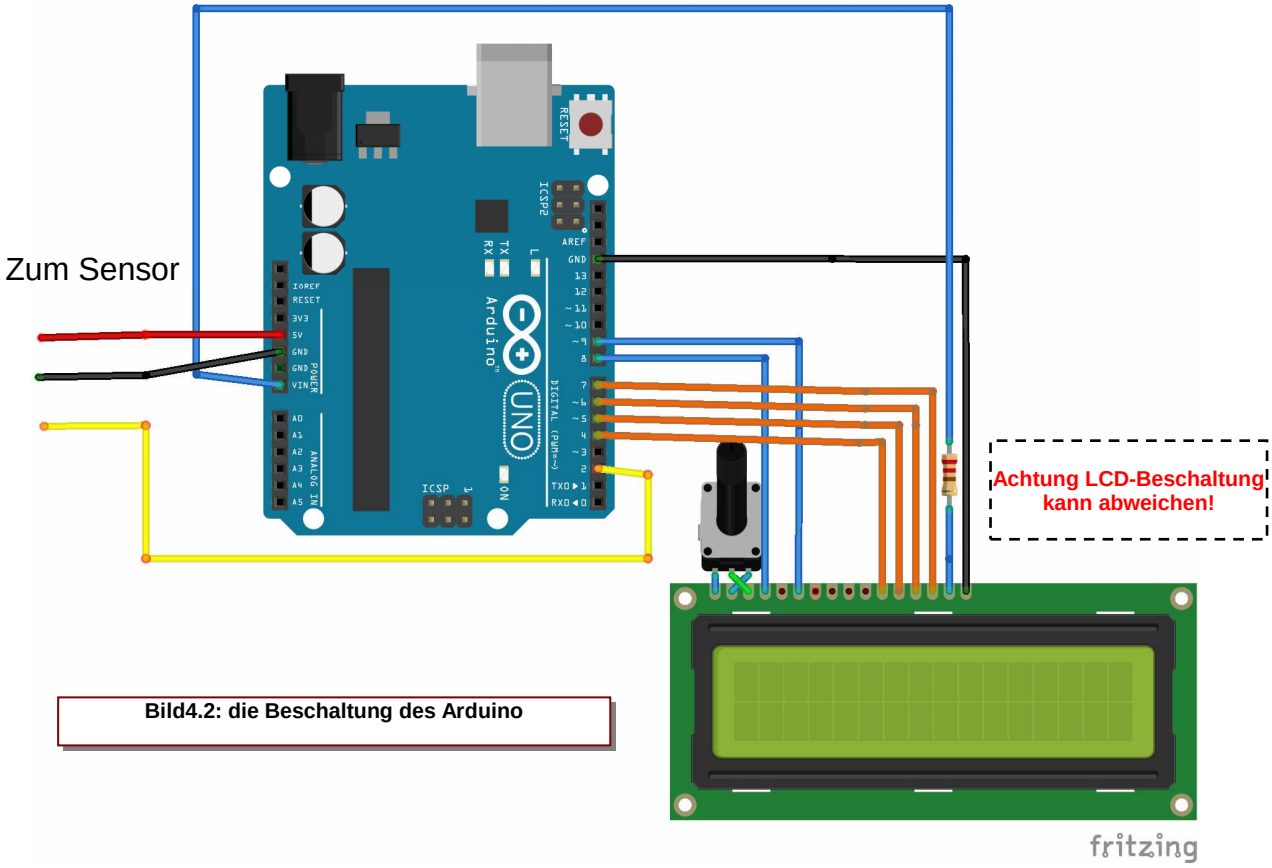



Bild4.2: die Beschaltung des Arduino

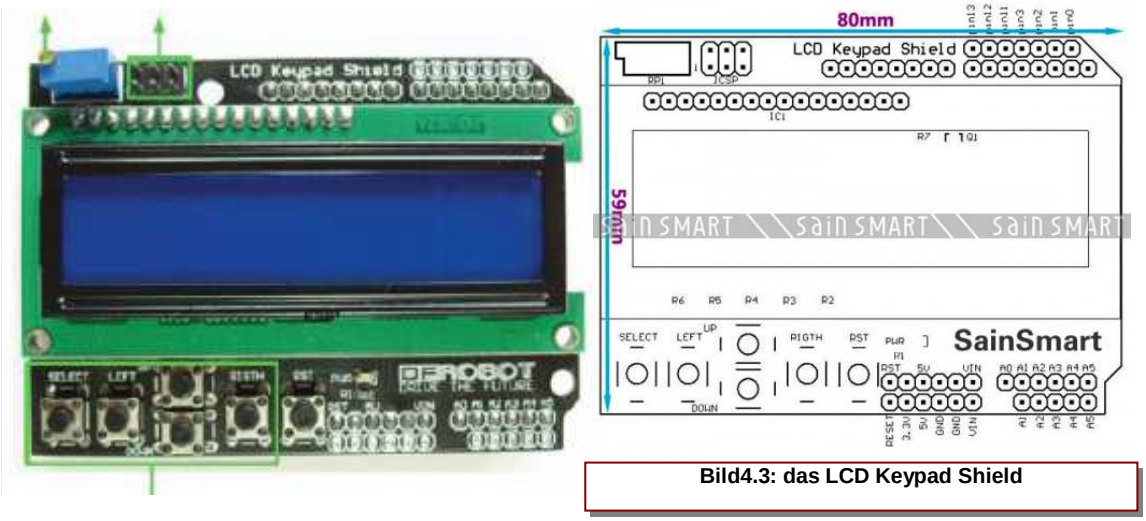



Bild4.3: das LCD Keypad Shield

## *4.3 Messwerte mit getesteten Flowsensoren*

Es wurden zunächst zwei Flowsensoren mit dem Arduino getestet. Generell tritt das gleiche Problem auf: bei zu geringen Strömungsgeschwindigkeiten können keine Messwerte erfasst werden, da auf Grund von Reibung die Turbine nicht in Bewegung gesetzt wird. Einer der getesteten Sensoren, drohte bei hohen Durchflusswerten zerstört zu werden.

## *4.4 Software zur Ausgabe der Daten*

Das Programm für den Arduino befindet sich im Anhang des Dokuments. Um die so genannte Sketch auf den Arduino zu bekommen muss nur das gleichnamige Programm auf den Rechner installiert werden. Nachdem dies durchgeführt wurde muss unter den Menupunkt Tools nun das Board Arduino Uno und der passende Seriellport eingestellt werden.
Als letzter Schritt wird nun der Sketch aus dem Anhang herüber kopiert und auf den Arduino hochgeladen,
Das Programm selber gibt den Durchfluss im Liter pro Minute an. Außerdem werden der Durchschnitt und die Zeit mit angeben. Diese Angaben können mit der „Select"-Taste auf dem Shield oder einen Massekurzschluss an Pin A0 zurückgesetzt werden.

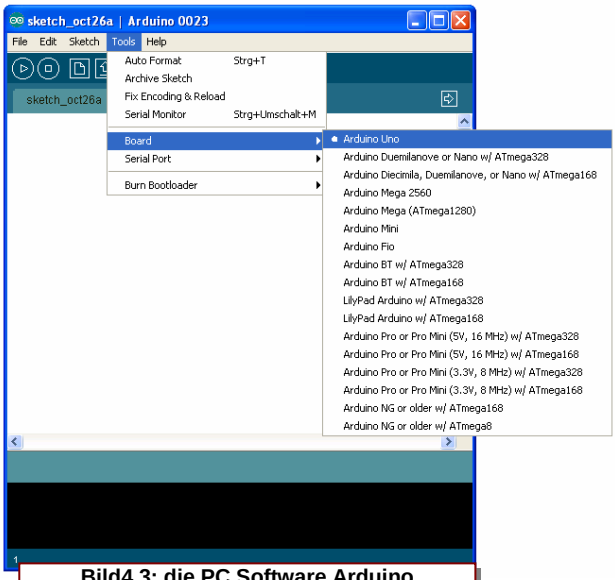
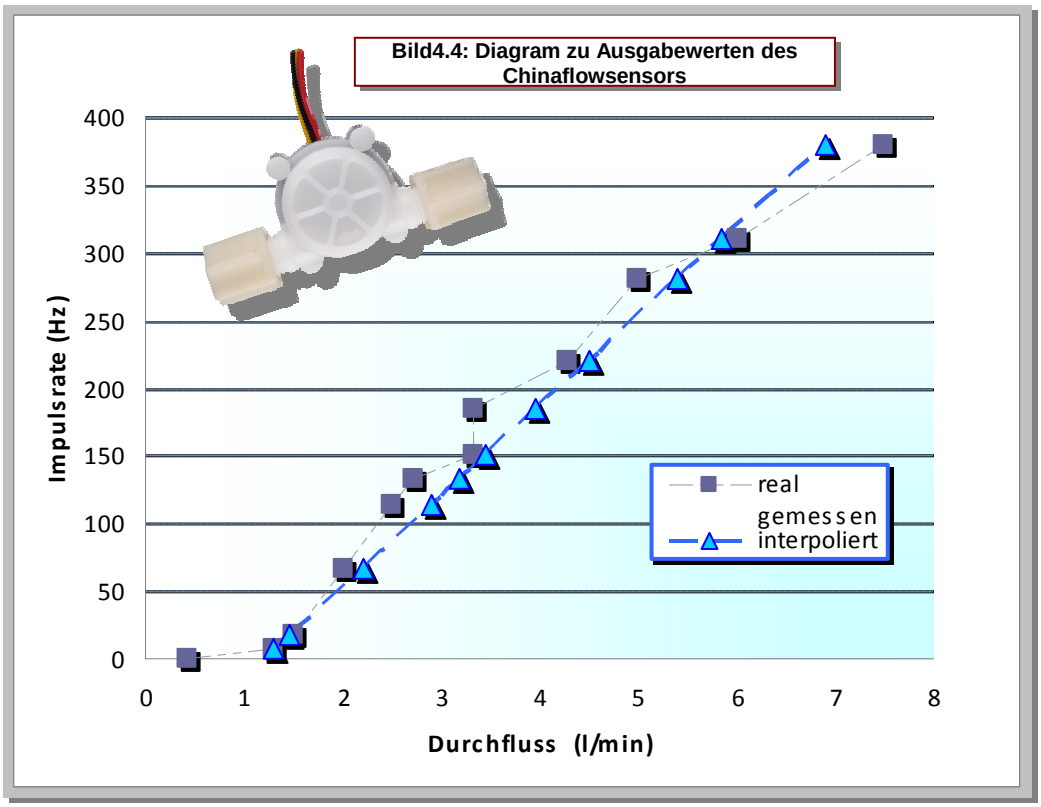


**Bild4.3: die PC Software Arduino**

Im oberen Teil der Sketch werden die Variablen deklariert hier müssen die jeweiligen Variablen Offset und Steigung an den jeweiligen Sensor angepasst werden.
Das Programm des Arduinos wurde so geschrieben, dass es nur ein lineares Verhältnis von Durchfluss und Impulsrate auswertet.

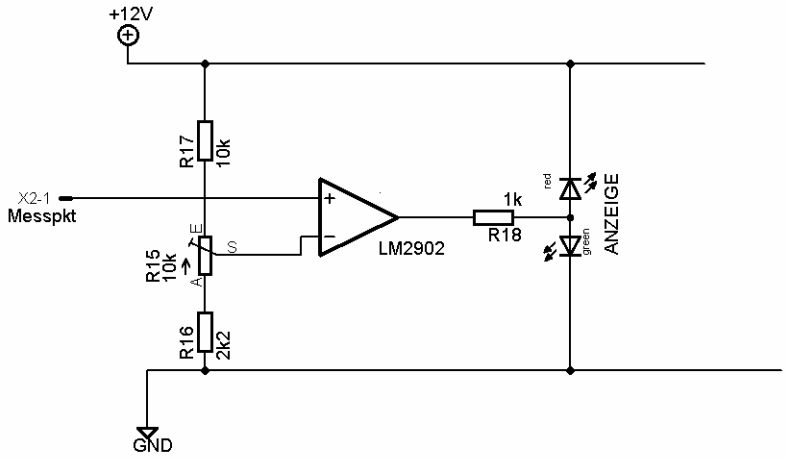
## *4.5 Anpassen der Messwerte*

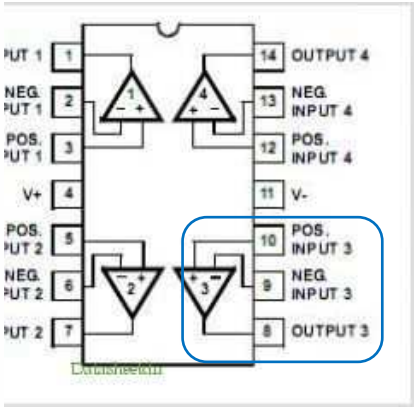
Das folgende Beispiel zeigt einen preiswerten „Chinasenor“ von Ebay. Die gemessen Werte zeigen eine Streuung und einen Versatz (Offset) nach oben. Mit Excel können verschiedene Werte für die Variablen Offset und Steigung ausprobiert werden.



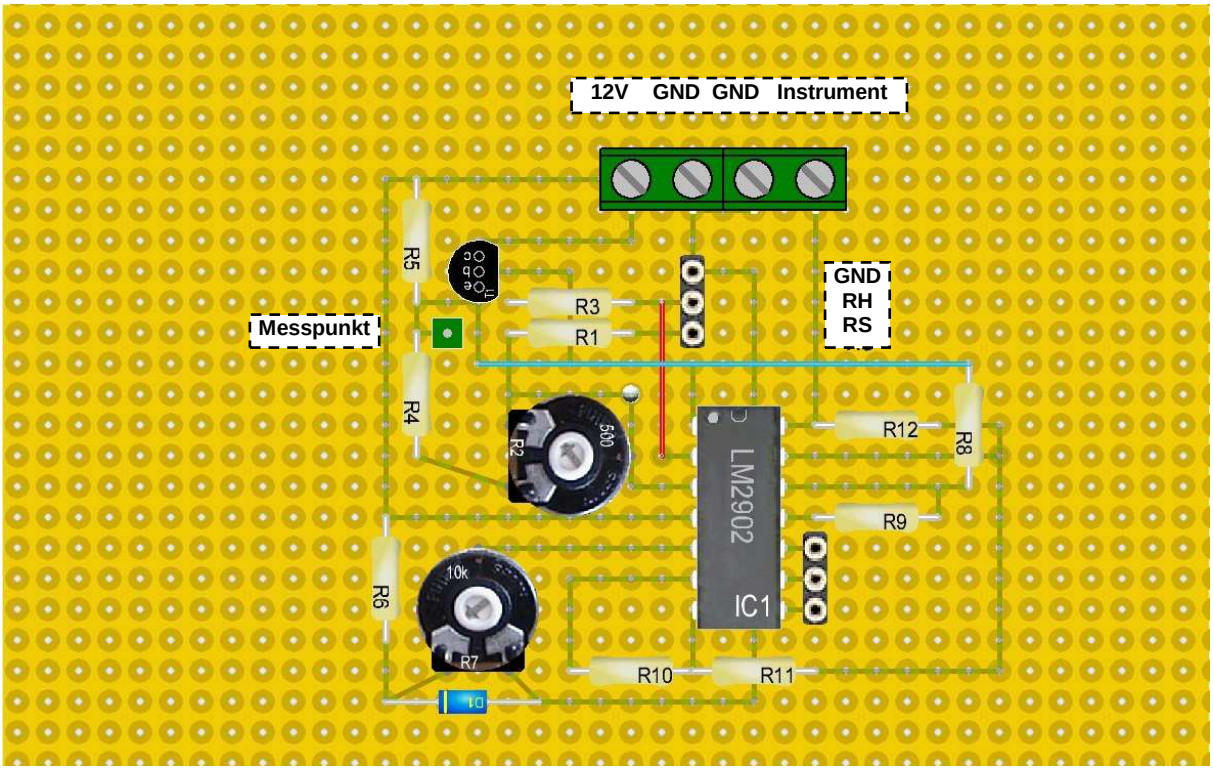
# 5.0 Anhang

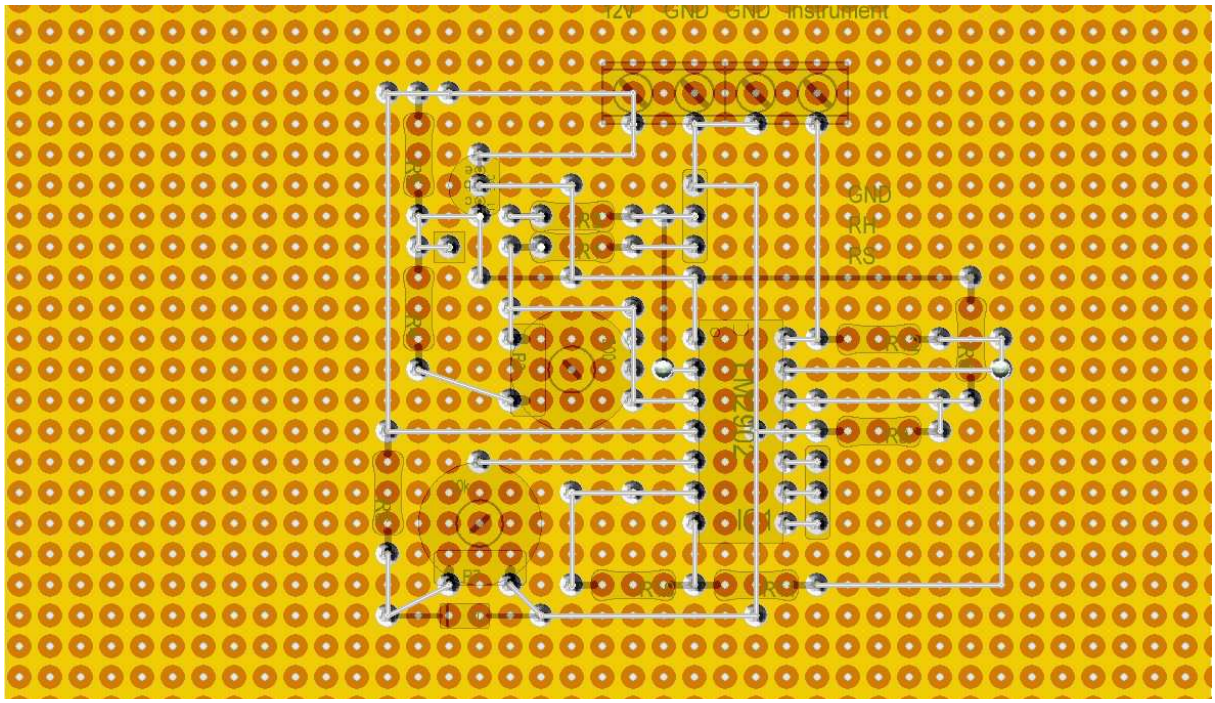
## *5.1 optionaler Komparator*




## *5.2 Lochraster Platine der FLW-122 Schaltung*




12V
GND
GND
Instrument
GND
RA
RS
IC1
MC2502
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
R16
R17
R18
R19
R20
R21
R22
R23
R24
R25
R26
R27
R28
R29
R30
R31
R32
R33
R34
R35
R36
R37
R38
R39
R40
R41
R42
R43
R44
R45
R46
R47
R48
R49
R50
R51
R52
R53
R54
R55
R56
R57
R58
R59
R60
R61
R62
R63
R64
R65
R66
R67
R68
R69
R70
R71
R72
R73
R74
R75
R76
R77
R78
R79
R80
R81
R82
R83
R84
R85
R86
R87
R88
R89
R90
R91
R92
R93
R94
R95
R96
R97
R98
R99
R100
R101
R102
R103
R104
R105
R106
R107
R108
R109
R110
R111
R112
R113
R114
R115
R116
R117
R118
R119
R120
R121
R122
R123
R124
R125
R126
R127
R128
R129
R130
R131
R132
R133
R134
R135
R136
R137
R138
R139
R140
R141
R142
R143
R144
R145
R146
R147
R148
R149
R150
R151
R152
R153
R154
R155
R156
R157
R158
R159
R160
R161
R162
R163
R164
R165
R166
R167
R168
R169
R170
R171
R172
R173
R174
R175
R176
R177
R178
R179
R180
R181
R182
R183
R184
R185
R186
R187
R188
R189
R190
R191
R192
R193
R194
R195
R196
R197
R198
R199
R200
R201
R202
R203
R204
R205
R206
R207
R208
R209
R210
R211
R212
R213
R214
R215
R216
R217
R218
R219
R220
R221
R222
R223
R224
R225
R226
R227
R228
R229
R230
R231
R232
R233
R234
R235
R236
R237
R238
R239
R240
R241
R242
R243
R244
R245
R246
R247
R248
R249
R250
R251
R252
R253
R254
R255
R256
R257
R258
R259
R260
R261
R262
R263
R264
R265
R266
R267
R268
R269
R270
R271
R272
R273
R274
R275
R276
R277
R278
R279
R280
R281
R282
R283
R284
R285
R286
R287
R288
R289
R290
R291
R292
R293
R294
R295
R296
R297
R298
R299
R300
R301
R302
R303
R304
R305
R306
R307
R308
R309
R310
R311
R312
R313
R314
R315
R316
R317
R318
R319
R320
R321
R322
R323
R324
R325
R326
R327
R328
R329
R330
R331
R332
R333
R334
R335
R336
R337
R338
R339
R340
R341
R342
R343
R344
R345
R346
R347
R348
R349
R350
R351
R352
R353
R354
R355
R356
R357
R358
R359
R360
R361
R362
R363
R364
R365
R366
R367
R368
R369
R370
R371
R372
R373
R374
R375
R376
R377
R378
R379
R380
R381
R382
R383
R384
R385
R386
R387
R388
R389
R390
R391
R392
R393
R394
R395
R396
R397
R398
R399
R400
R401
R402
R403
R404
R405
R406
R407
R408
R409
R410
R411
R412
R413
R414
R415
R416
R417
R418
R419
R420
R421
R422
R423
R424
R425
R426
R427
R428
R429
R430
R431
R432
R433
R434
R435
R436
R437
R438
R439
R440
R441
R442
R443
R444
R445
R446
R447
R448
R449
R450
R451
R452
R453
R454
R455
R456
R457
R458
R459
R460
R461
R462
R463
R464
R465
R466
R467
R468
R469
R470
R471
R472
R473
R474
R475
R476
R477
R478
R479
R480
R481
R482
R483
R484
R485
R486
R487
R488
R489
R490
R491
R492
R493
R494
R495
R496
R497
R498
R499
R500
R501
R502
R503
R504
R505
R506
R507
R508
R509
R510
R511
R512
R513
R514
R515
R516
R517
R518
R519
R520
R521
R522
R523
R524
R525
R526
R527
R528
R529
R530
R531
R532
R533
R534
R535
R536
R537
R538
R539
R540
R541
R542
R543
R544
R545
R546
R547
R548
R549
R550
R551
R552
R553
R554
R555
R556
R557
R558
R559
R560
R561
R562
R563
R564
R565
R566
R567
R568
R569
R570
R571
R572
R573
R574
R575
R576
R577
R578
R579
R580
R581
R582
R583
R584
R585
R586
R587
R588
R589
R590
R591
R592
R593
R594
R595
R596
R597
R598
R599
R600
R601
R602
R603
R604
R605
R606
R607
R608
R609
R610
R611
R612
R613
R614
R615
R616
R617
R618
R619
R620
R621
R622
R623
R624
R625
R626
R627
R628
R629
R630
R631
R632
R633
R634
R635
R636
R637
R638
R639
R640
R641
R642
R643
R644
R645
R646
R647
R648
R649
R650
R651
R652
R653
R654
R655
R656
R657
R658
R659
R660
R661
R662
R663
R664
R665
R666
R667
R668
R669
R670
R671
R672
R673
R674
R675
R676
R677
R678
R679
R680
R681
R682
R683
R684
R685
R686
R687
R688
R689
R690
R691
R692
R693
R694
R695
R696
R697
R698
R699
R700
R701
R702
R703
R704
R705
R706
R707
R708
R709
R710
R711
R712
R713
R714
R715
R716
R717
R718
R719
R720
R721
R722
R723
R724
R725
R726
R727
R728
R729
R730
R731
R732
R733
R734
R735
R736
R737
R738
R739
R740
R741
R742
R743
R744
R745
R746
R747
R748
R749
R750
R751
R752
R753
R754
R755
R756
R757
R758
R759
R760
R761
R762
R763
R764
R765
R766
R767
R768
R769
R770
R771
R772
R773
R774
R775
R776
R777
R778
R779
R780
R781
R782
R783
R784
R785
R786
R787
R788
R789
R790
R791
R792
R793
R794
R795
R796
R797
R798
R799
R800
R801
R802
R803
R804
R805
R806
R807
R808
R809
R810
R811
R812
R813
R814
R815
R816
R817
R818
R819
R820
R821
R822
R823
R824
R825
R826
R827
R828
R829
R830
R831
R832
R833
R834
R835
R836
R837
R838
R839
R840
R841
R842
R843
R844
R845
R846
R847
R848
R849
R850
R851
R852
R853
R854
R855
R856
R857
R858
R859
R860
R861
R862
R863
R864
R865
R866
R867
R868
R869
R870
R871
R872
R873
R874
R875
R876
R877
R878
R879
R880
R881
R882
R883
R884
R885
R886
R887
R888
R889
R890
R891
R892
R893
R894
R895
R896
R897
R898
R899
R900
R901
R902
R903
R904
R905
R906
R907
R908
R909
R910
R911
R912
R913
R914
R915
R916
R917
R918
R919
R920
R921
R922
R923
R924
R925
R926
R927
R928
R929
R930
R931
R932
R933
R934
R935
R936
R937
R938
R939
R940
R941
R942
R943
R944
R945
R946
R947
R948
R949
R950
R951
R952
R953
R954
R955
R956
R957
R958
R959
R960
R961
R962
R963
R964
R965
R966
R967
R968
R969
R970
R971
R972
R973
R974
R975
R976
R977
R978
R979
R980
R981
R982
R983
R984
R985
R986
R987
R988
R989
R990
R991
R992
R993
R994
R995
R996
R997
R998
R999
R1000

## *5.3 Arduino Sketch für Messkurven mit den FLW-122*

```
#include <LiquidCrystal.h>

      LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); // Pinbelgung LC-Display
      int adc_key_in  = 0;     // Abfrage der Tasten des Keyshields
      int sensorValue = 0;     // Variable für aktuelle Messpannung 1023=5V
      int time=0; int summe=0; int durchschnitt=0; //Variablen für Durchschnitt


         void setup()
         { lcd.begin(16, 2);        // LCD starten
           Serial.begin(9600);     // Start serial port
           }

         void loop ()
         { adc_key_in = analogRead(0); // Spannung an A0 messen,Schieldtasten lesen
            if (adc_key_in < 700)   // Reset bei Taste Select oder GND an A0
          {time=0; summe=0; durchschnitt=0; }

           sensorValue = analogRead(1); // Spannung an A1 messen

               Serial.print("Spannung an A1: ");     // Serielle Schnittstelle gibt aktuelle Spannung
aus
                Serial.println (sensorValue);

            lcd.clear();         // LCD Ausgabe
             lcd.setCursor(0,0);
             lcd.print("Zeit(s): ");
             lcd.print( time);
             lcd.setCursor(0,1);
             lcd.print(sensorValue);
             lcd.setCursor(9,1);
             lcd.print(durchschnitt);



           time++;  //Berechung des Durchschnitts
            summe=summe+sensorValue;
            durchschnitt=summe/time;

          delay(1000); // Zeitintervall in ms
          }
```

## *5.4 Ardunio Sketch für Messkurven mit einem Durchflusssensor*

```
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); // Pinbelegung LC-Display
        int flowPin = 2;        // 2 bei uno und Mega2560, 3 bei Leonardo
      int adc_key_in  = 0;        // Abfrage der Tasten des Keyshields
      int pulsesCounter; // Pulszaehler
      int time=0; int summe=0; int durchschnitt=0; //Variablen für Durchschnitt

      void rpm ()    // Unterprogramm Impulszaehler
        {
          pulsesCounter++;
        }

        void setup()
        { lcd.begin(16, 2);        // LCD starten
          Serial.begin(9600);     // Start serial port
       pinMode(flowPin, INPUT);           // Initialize the digital pin as an input
          attachInterrupt(0, rpm, RISING);  // Interrupt für Zahler an Pin 2
          sei();
        }

        void loop ()

        {     adc_key_in = analogRead(0); // Spannung an A0 messen,Schieldtasten lesen
              if (adc_key_in < 700)   // Reset bei Taste Select oder GND an A0
          {time=0; summe=0; durchschnitt=0; }



                Serial.print("Imulse pro Sekunde:");    // Serielle Schnittstelle
                Serial.println (pulsesCounter);

              lcd.clear();                      // LCD Ausgabe
              lcd.setCursor(0,0);
              lcd.print("Zeit(s): ");
              lcd.print( time);
              lcd.setCursor(0,1);
              lcd.print(pulsesCounter);
              lcd.setCursor(9,1);
              lcd.print(durchschnitt);


          time++;  //Berechung des Durchschnitts
          summe=summe+pulsesCounter ;
          durchschnitt=summe/time;

              cli();    // Zählerintrupt zurücksetzen
          pulsesCounter = 0;
              sei();              // Zählerintrupt neustarten

           delay(1000); // Zeitintervall in ms

        }
```

## *5.5 Ardunio Sketch für die LPM-Ausgabe mit einem Durchflusssensor*

```
#include <LiquidCrystal.h>

      LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
         int flowPin = 2;        // 2 bei uno und Mega2560, 3 bei Leonardo
      int CALFAK=38; // Faktor zum Nachkalibrien
// Declare variables
         int pulsesCounter; // Main pulses counter
      float LPMval; // Durchflussrate


         void rpm ()
         {
           pulsesCounter++; // Every RISING pulse causes pulsesCounter to increase by one.
         }

         void setup()
         { lcd.begin(16, 2);

           pinMode(flowPin, INPUT);           // Initialize the digital pin as an input
           Serial.begin(9600);               // Start serial port
           attachInterrupt(0, rpm, RISING);  // Interrupt is attached to rpm function
           sei();                            // Enable interrupt 0 on Pin 2 for a RISING signal.
         }

         void loop ()
         {

            LPMval=pulsesCounter    *  CALFAK  *0.001;//  Umrechnung  von  Counter  zu
Messwert


               Serial.print("Durchfluss LPM:");    // Serielle Schnittstelle
               Serial.println (LPMval);

             lcd.clear();                      // LCD Ausgabe#
             lcd.setCursor(0,0);
             lcd.print("Durchfluss LPM:");
             lcd.setCursor(0,1);
             lcd.print(LPMval);

               cli();              // Disable interrupts
               pulsesCounter = 0;  // Reset main counter
               sei();              // Enable interrupts
               delay(500); // Zeitintervall in ms
         }
```