

Autor: Dipl. Ing. Uwe Behrndt [ubehrndt@web.de](mailto:ubehrndt@web.de)

# Inhaltsverzeichnis

1 Sensoren.....	5
1.1 Der Temperatursensor.....	5
1.1.1 etwas Theorie.....	5
1.1.2 Kalibrierung.....	7
1.1.3 Ausführung als Aufsteckmodul (nur für die Analog- Erweiterung sinnvoll).....	8
1.1.4 Temperatursensoren am 12 bit A/D Wandler MAX 1236.....	8
1.2 Der Helligkeitssensor.....	9
1.2.1 Die Schaltung.....	9
1.2.2 Ausführung als Aufsteckmodul.....	9
1.2.3 Die Einbindung des Sensors in die Hauscomp.ini.....	10
1.2.4 Der Helligkeitssensor am Nordgiebel.....	10
1.3 Der Windsensor.....	11
1.3.1 Die Schaltung.....	11
1.3.2 Die Kalibrierung, Verwendung von Hallsensoren.....	11
1.3.2 Ausführung als Aufsteckmodul.....	12
1.4 Ein einfacher mechanischer Winkelsensor.....	13
1.5 Der analog – binär Adapter.....	13
1.5.1 Die Schaltungen.....	13
1.5.2 Die Kalibrierung.....	15
1.5.3 Ausführung als Aufsteckmodul.....	15
1.5.4 Die Einbindung des analog- binär Adapters in die Hauscomp.ini.....	15
1.6 Feuchtesensoren.....	16
1.6.1 Die Schaltung und die Ausführung als Aufsteckmodul.....	16
1.6.2 Die Einbindung des Betauungssensors in die Hauscomp.ini.....	17
1.7 Der Drucksensor.....	17
1.7.1 Spreizung des Messbereiches mit einem invertierenden Verstärker.....	17
1.7.2 Dimensionierung der Schaltung.....	18
1.7.3 Kalibrierung des Drucksensors als analoger Sensor.....	21
1.7.4 Kalibrierung des Drucksensors für die Multisensor-Plattform.....	21
1.8 Ein AC-Stromsensor, Energiemessung in Echtzeit (smart meter).....	21
1.8.1 Aufgabenstellung.....	21
1.8.2 Strommessung mit dem Sensor SCT-013-000.....	23
1.8.3 Phasenmessungen.....	29
1.8.4 Zusätzliche Elektro-Patronen im Pufferspeicher.....	32

1.9 Ein hochauflösender Differenzdrucksensor.....	36
1.9.1 Die Schaltung.....	36
1.9.2 Aufbau, Inbetriebnahme und Skalierung.....	37
1.9.3 Anbindung an den Hauscomputer.....	38
1.9.4 Die Temperaturkompensation.....	41
1.10 Spannungsmessung/Batterieüberwachung.....	42
2 Schaltmodule.....	43
2.1 Ansteuerung der Schaltmodule.....	43
2.2 Ein einfaches Schaltmodul mit Halbleiterrelais.....	44
2.3 Schaltmodul für Hutschiene.....	45
2.4 Schaltmodul für Hutschiene zur Steuerung von Rollladenmotoren.....	46
2.5 Schaltmodul für Hutschiene mit Schalter EIN - AUS - Automat.....	49
2.6 Ein „einfacher“ Dimmer für eine Heizungsumwälzpumpe.....	51
2.6.1 Impulspaketsteuerung für unregelmäßige Heizungspumpen (ältere Variante).....	52
2.6.2 Impulspaketsteuerung für unregelmäßige Heizungspumpen (neuere, bessere Variante mit TL494).....	56
2.7 Ein 12V Netzteil für die Hutschiene.....	57
2.8 Ansteuerung einer 230V-Elektropatrone (Heizstab).....	58
2.9 Verweis auf Normen.....	60
3 Eine „fast perfekte“ Rollladensteuerung.....	61
3.1 Die Aufgabe.....	61
3.2 Die notwendige Hardware.....	61
3.3 Der Funktionsschaltplan.....	62
3.4 Die Umsetzung in der Hauscomp.ini.....	67
4 Vorschlag für eine Alarmanlage mit Komfort.....	71
4.1 Die Aufgabe.....	71
4.2 Die notwendige Hardware.....	71
4.3 Der Funktionsschaltplan.....	73
4.4 Die Umsetzung in der Hauscomp.ini.....	77

**weitere Dokumentation:**

- [1]: Hauscomputer Hardware Band 0 (Allgemeines, Interfaces mit ATtiny 26)
- [2]: Hauscomputer Hardware Band 1 (Hausbus, Interfaces, Bussensoren)
- [3]: Hauscomputer Hardware Band 2 (Sensoren, Schaltmodule)
- [4]: Hauscomputer Hardware Band 3 (praktische Anwendungen)
- [5]: Hauscomputer Hardware Band 4 (kombinierte Heizungssteuerung)
- [6]: Hauscomputer und Linux
- [7]: Programmhandbuch Hauscomp.exe

**Die jeweils aktuelle Version ist verfügbar unter**

**<http://www.hauscomputer.gmxhome.de/>**

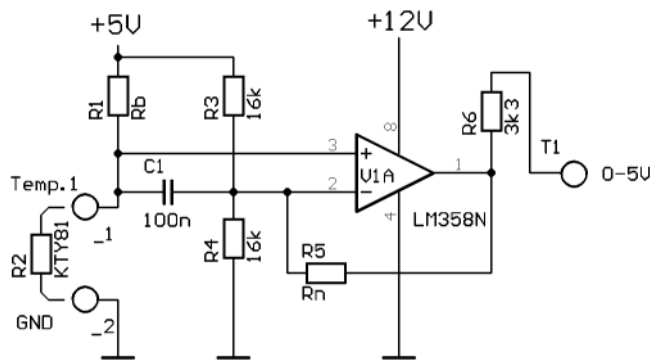
# 1 Sensoren

## 1.1 Der Temperatursensor

### 1.1.1 etwas Theorie

Sensor: KTY 10 bzw. KTY 81-210, PT1000 oder anderer Widerstandssensor.

Wandler: OPV wandelt Widerstand des Temperatursensors in eine Spannung im Bereich 0,12 V – 5 V für den A/D Wandler PCF8591 um. Die verwendeten Widerstände sollten Metallschicht-Widerstände mit einer Toleranz von 1% oder besser sein. Die Spannung +5 V muss gut stabilisiert sein, da sie sonst die Messung verfälscht. Die Spannungsversorgung des OPVs (+12 V) ist dagegen unkritisch. Es gibt eine Einschränkung: Die Ausgangsspannung am OPV liegt im Bereich +0,12..+5,0 V, d.h. Kodewerte kleiner 6 gibt es damit nicht. Die Software-gestützte Ausfallerkennung, die unter 6 Kodewerte erst anspringt, erkennt damit keinen Sensor-Kurzschluss. Einige getestete LM358N gingen z.T. auch nur bis 0,55V zurück. Der Einsatz spezieller Rail to Rail OPVs, oder die Einführung einer negativen Versorgungsspannung für die OPVs würde Abhilfe bringen. In diesem Projekt bleibt es aber bei dieser kostengünstigen Variante.



Verstärkung  $V = \frac{(R_n + R_{34})}{R_{34}}$   $R_n$  bestimmt also die Auflösung,  $R_b$  dagegen den Temperaturbereich

$$R_{34} = \frac{(R_3 \cdot R_4)}{(R_3 + R_4)}$$

$$U_{a,2,5V} : R_2 = R_b$$

$$\text{Kodewert} = \frac{U_a \cdot 256}{+5V} \text{ gültig für PCF8591 (8 Bit A/D Wandler)}$$

Interne Bezeichnung	Sensor	Temp. Bereich	$R_b$	$R_n$	$T_{max} - T_{min}$	Auflösung [ $^{\circ}\text{C}$ je Kode]	Bemerkungen
T-A	KTY 10 (1)	-25..+50 $^{\circ}\text{C}$	1,6 k	30 k	75 $^{\circ}\text{C}$	0,3 $^{\circ}\text{C}$	
T-B	KTY 10 (1)	-25..+115 $^{\circ}\text{C}$	2,0 k	24 k	140 $^{\circ}\text{C}$	0,56 $^{\circ}\text{C}$	
T-C	KTY 10 (1)	-25..+115 $^{\circ}\text{C}$	2,0 k	24 k	140 $^{\circ}\text{C}$	0,56 $^{\circ}\text{C}$	
T-D	KTY 81-210	-20..+50 $^{\circ}\text{C}$	1,82 k	47 k	70 $^{\circ}\text{C}$	0,27 $^{\circ}\text{C}$	Verwendet im A+D Interface
T-E	KTY 81-210	-25..+104 $^{\circ}\text{C}$	2,1 k	24 k	129 $^{\circ}\text{C}$	0,5 $^{\circ}\text{C}$	Verwendet im A+D Interface

Interne Bezeichnung	Sensor	Temp. Bereich	Rb	Rn	$T_{max} - T_{min}$	Auflösung [°C je Kode]	Bemerkungen
T-F	KTY 81-210	-64..+45 °C	1,6 k	30 k	109 °C	0,43 °C	
T-G	PT 1000	-26..+118°C	1,13 k	56 k	144 °C	0,57 °C	
T-H	PT 1000	-26..+43 °C	1,02 k	110 k	69 °C	0,27 °C	
T-I	PT 1000	-30..+155 °C	1,15 k	47 k	185 °C	0,7 °C	
T-J	KTY 81-210	-25..+55 °C	1,8 k	47 k	80 °C	0,3 °C	
T-K	PT 1000	-36..+225°C	1,2 k	28 k	261 °C	1,02 °C	8-Kanal Sensorinterface, Sonnenkollektoren u.a.
T-L	KTY81-122	+1,34..+113 °C	1,2 k	28 k	115 °C	0,45 °C	8-Kanal Sensorinterface, Heizungstechnik
T-M	KTY81-122	-40..+88 °C	1,2 k	28 k	128 °C	0,5 °C	8-Kanal Sensorinterface, Außen-/Innentemp. Sensor mit 316 Ohm in Reihe
T-N	KTY 10 (1)	-25..+75 °C	1,8 k	28 k	105 °C	0,41 °C	8-Kanal Sensorinterface, Rb austauschen! Außen-/Innentemp.
T-O	KTY 10 (1)	-7..+107°C	2,2 k	28 k	114 °C	0,44 °C	8-Kanal Sensorinterface, Rb austauschen! Heizungstechnik (Kessel-/Speichertemp.)

(1) In etlichen Heizungssystemen ist ein PTC Temperatursensor mit der Widerstandskennlinie des KTY 10 bereits verbaut

Temperatur [°C]	Widerstand KTY 10 [Ω]	Widerstand KTY 81-210 [Ω]	Widerstand KTY 81-122 [Ω]	Widerstand PT-1000 [Ω]	Kalibrierung	angezeigter Kodewert (aus der Praxis)
-40		1135			F	
-25	1325			902		
-20		1367		922	A, H	
-10		1495			D	D:043,040
-5	1578					
0		1630		1000	A, D, E, F, G, H, K	D:080,078 E:063,063 G:65 K:76
20				1078		
23			1000		L	L:76
25		2000			A, D	D:171,170

Temperatur [°C]	Widerstand KTY 10 [Ω]	Widerstand KTY 81-210 [Ω]	Widerstand KTY 81-122 [Ω]	Widerstand PT-1000 [Ω]	Kalibrierung	angezeigter Kodewert (aus der Praxis)
40		2245		1155	E, F, G, H	E:146,145 G:139
50	2389	2417		1194		
59,1			1300		L	L: 151
77,65				1300	K	K:151
80		2980	1500	1309	E, L	E:218,217 L: 192
100		3390		1385	G	G: 231
105	3370					
130,48				1500	K	K:192

## 1.1.2 Kalibrierung

Die nachfolgende Tabelle zeigt Standardwerte für die Sensorkalibrierung in der Hauscomp.ini. Der in der Tabelle angegebene zulässige Fehler ist der zu erwartende Fehler zwischen der angezeigten und der tatsächlichen Temperatur bei Verwendung von 1% Widerständen ohne zusätzliche Kalibrierung. Er lässt sich durch entsprechende Korrektur der Wertepaare (Vergleichsthermometer!) weiter verringern. PT 1000 Fühler ändern im Vergleich zum KTY nur wenig ihren Widerstand. Deshalb benötigt der OPV eine größere Verstärkung. Damit muss wiederum der Widerstand Rb sehr präzise sein (möglichst 0,1%). Eine nachträgliche Kalibrierung wird deshalb empfohlen. Für die nachträgliche Kalibrierung eignen sich: 1. Eiswasser mit 0°C (Eiswürfel längere Zeit in Wasser) 2. Gefrierschrank/ Kühlschrankschrank 3. Körpertemperatur/Fieberthermometer 4. siedendes Wasser (ca. 100°C). Möglich ist es ebenfalls anstelle des Temperaturfühlers einen entsprechenden Widerstand zu simulieren und Rb solange zu variieren bis der zugehörige Kodewerte angezeigt wird.

Für PT 1000 Fühler und KTY81-122 bietet sich noch eine elegantere Kalibriertechnik: anstelle des Fühlers werden für die Ermittlung der Wertepaare (3) 0,1% Vergleichswiderstände angeschlossen (1k; 1,3k; 1,5k). Da diese Sensoren im Gegensatz zu den restlichen KTY Typen sehr genau gefertigt werden (besser 1%), erübrigt sich der Vergleich mit einem Thermometer.

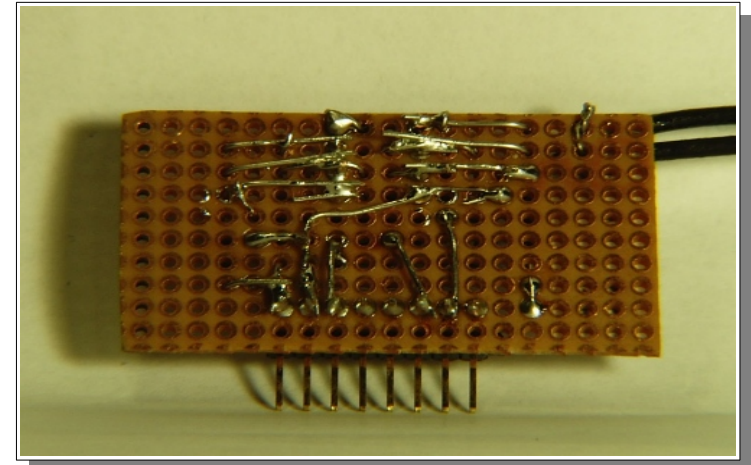
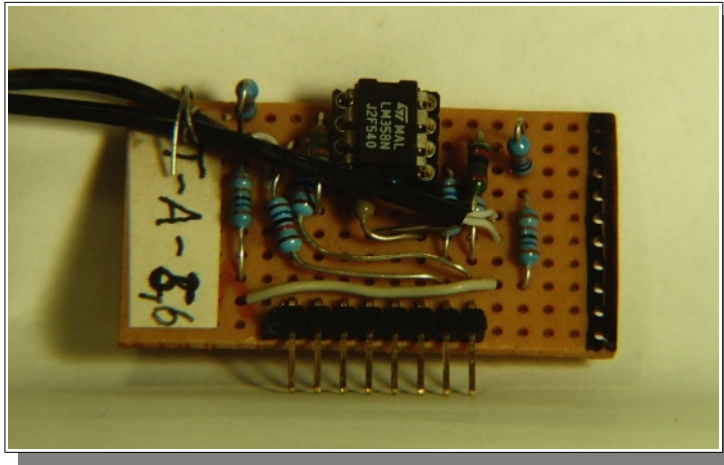
Bez	Sensor=...	°C	1	2	1.Wertepaar	2.Wertepaar	3.Wertepaar	zul.Fehler
T-A:	Sensor=yyy	°C	1	2	0	-20.0	7	0 86 +25.0 174 /±3,0 °C
T-B, C:	Sensor=xxx	°C	1	2	30	-24.0	35	+3.6 84 +44.4 157 /±3,5 °C
T-D:	Sensor=T1	°C	1	0	90	-10.0	42	0 79 +25.0 170 /±1,5 °C
T-E:	Sensor=T2	°C	1	1	90	0	63	+40.0 145 +80.0 217 /±2,5 °C
T-F:	Sensor=T3	°C	1	2	90	-40.0	51	0 135 +30.0 210 /±2,5 °C
T-G:	Sensor=T4	°C	1	3	90	0	65	+40.0 139 +100.0 231 /±3,5 °C

T-H:     Sensor=T5   °C    4 1  90        0 109   +40.0  245   -20.0  33        /±4,5 °C

Sensor=T2 °C 1 1  90 0 63  +40.0 145  +80.0 217 /Bsp. für Kalibrierung eines KTY81 im Bereich -25..+104°C (Typ E)

Sensor=T4 °C 1 3  90 0 65  +40.0 139  +100.0 231 /Bsp. für Kalibrierung PT 1000 im Bereich -26..+118°C (Typ G)

### 1.1.3 Ausführung als Aufsteckmodul (nur für die Analog- Erweiterung sinnvoll)



### 1.1.4 Temperatursensoren am 12 bit A/D Wandler MAX 1236

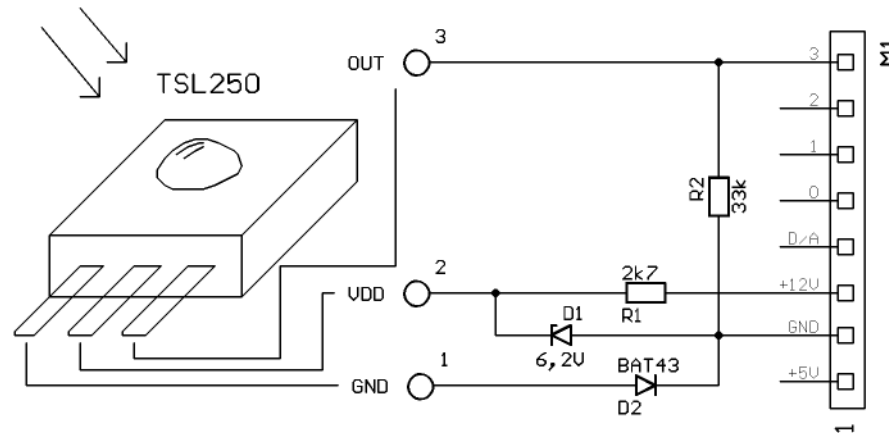
Das Anschlussprinzip eines Temperatursensors an einem hochauflösenden MAX 1236 ist das gleiche wie in den vorangegangenen Kapiteln. Lediglich die Berechnung ist eine andere. Zudem entfällt die Notwendigkeit, für mehrere Temperaturbereiche verschiedene Dimensionierungen zu kreieren, da der Wandler eine 16-fach höhere Auflösung besitzt und damit alle denkbaren Fälle abdeckt. Notwendig sind derart genaue Temperaturmessungen z.B. bei Wärmemengenzählern in Solaranlagen. Für diese und andere Zwecke hier die Dimensionierung mit industriellen PT1000 Sensoren:

$$\text{Kodewert} = \frac{U_a \cdot 4096}{+4,096 V}$$



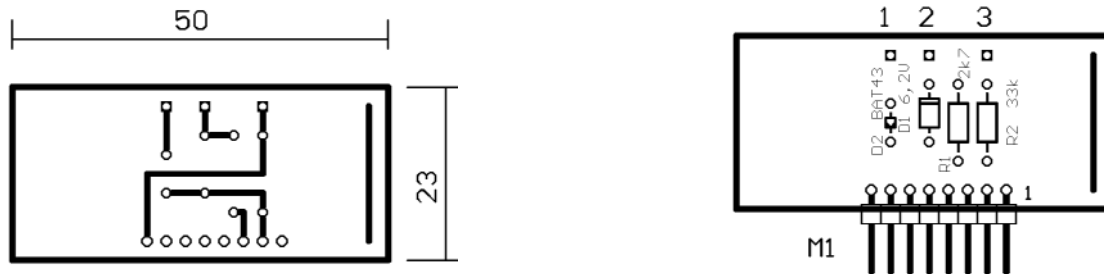
## 1.2 Der Helligkeitssensor

### 1.2.1 Die Schaltung



Der TSL 250 liefert eine von der Helligkeit abhängige Ausgangsspannung. Die Zehner-Diode D1 begrenzt die Ausgangsspannung auf ca. 5,5 V. Die Diode D2 erhöht die Ausgangsspannung um ca. 0,2 V. Damit wird gewährleistet, dass bei Dunkelheit die Ausgangsspannung des Sensors größer 0 V ist – Voraussetzung für die sichere Funktion der Ausfallerkennung der Software. Der Helligkeitssensor kann aber in der Praxis durch interne SPS Module ersetzt werden, da die Astrofunktionen sehr genau den Sonnenstand berechnen und damit präzise Beginn und Ende der Dämmerung erkennen.

### 1.2.2 Ausführung als Aufsteckmodul



### 1.2.3 Die Einbindung des Sensors in die Hauscomp.ini

Der Abgleich beschränkt sich auf die Ermittlung der beiden Kodewerte für „maximale Helligkeit“ (x2) und „absolut dunkel“ (x1). Dazu wird die aufgebaute Schaltung mit dem Sensor verbunden und auf eine Buchsenleiste im A+D Interface aufgesteckt. Auf der Seite 18 des laufenden Programms Hauscomp.exe (Hausbus) liest man unter der Adresse des Interfaces (1) den Kanal 3 aus. Die Dunkelheit erzeugt man durch Zuhalten des Sensors und die maximale Helligkeit mittels einer Taschenlampe. Die ermittelten Werte schreibt man folgendermaßen in die Hauscomp.ini:

Sensor=Außenlicht % 1 3 30 0 x1 100 x2 also z.B.:

```
Sensor=Außenlicht % 1 0 30 0 10 100 230
```

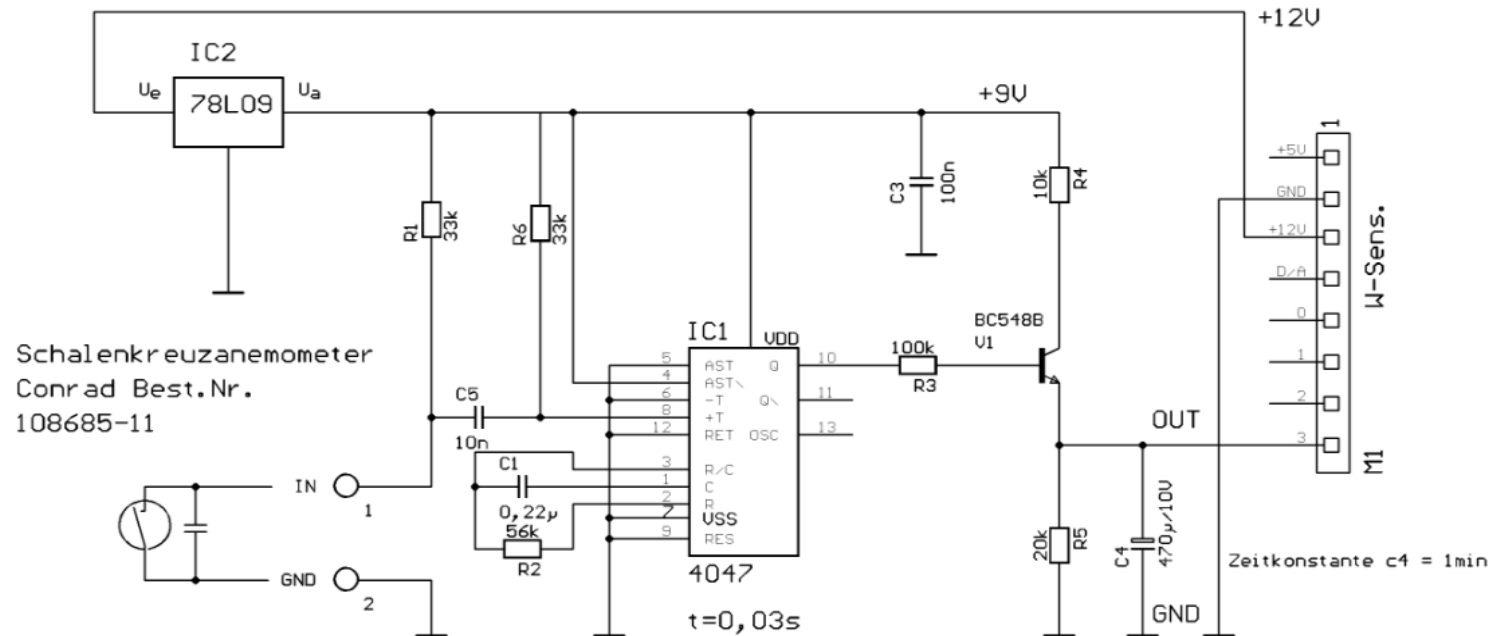
Damit ist der Sensor für den Bereich 0-100% skaliert. Wird der Bereich von 4- 251 Kodewerten überschritten, so kann man R1 etwas variieren. Ändert sich der Kodewert überhaupt nicht, könnte vielleicht noch ein anderer Sensor auf dem A+D Interface parallel geschaltet sein!

### 1.2.4 Der Helligkeitssensor am Nordgiebel



## 1.3 Der Windsensor

### 1.3.1 Die Schaltung



Grundlage für den Windsensor ist ein beliebiges Schalenkreuzanemometer mit rotierendem Magnet und feststehendem Reedkontakt. Kernstück des f/U Wandlers ist ein Monoflop IC1, das die Impulse vom Reedkontakt auf eine einheitliche Länge von 30 ms trimmt. Der nachfolgende Transistor V1 lädt den Kondensator C4 in Abhängigkeit vom Schaltverhältnis auf und über R5 wieder ab. Damit ist die Spannung an C4 über eine e- Funktion mit der Windgeschwindigkeit verknüpft. Die Linearisierung übernimmt die Software mittels 3 Wertepaare. Die Schaltung ist unkritisch in der Auslegung. Die angegebenen 30ms bedeuten lediglich, dass die maximal messbare Drehzahl des Anemometers 33 U/s beträgt.

### 1.3.2 Die Kalibrierung, Verwendung von Hallensoren

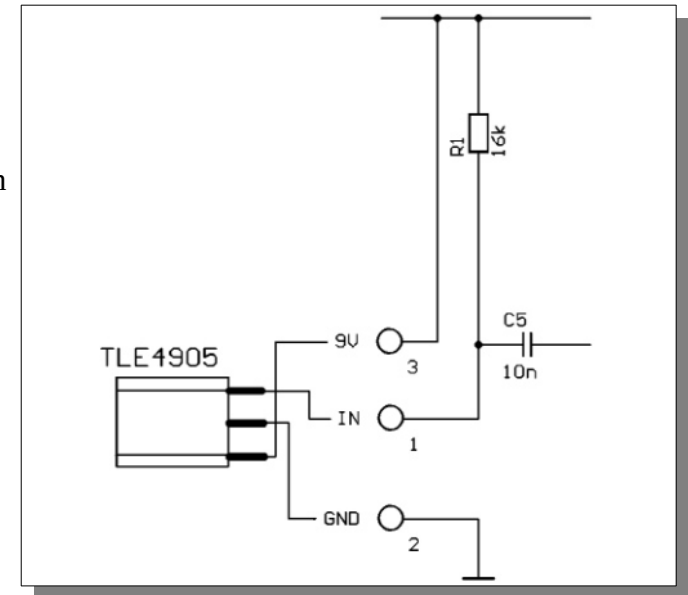
Die Kalibrierung erfolgt wie gehabt über eine „Sensor=“ Zeile in der Hauscomp.ini. Ein Beispiel sei hier angegeben:

```
Sensor=Windstärke m/s 13 0 0 0 9.26 102 22.4 192
```

Die Angaben 9,26 bzw. 22,4 sind die Windgeschwindigkeit in m/s; 102 und 192 die zugehörigen Kodeeinheiten. Für die genaue Kalibrierung muss man

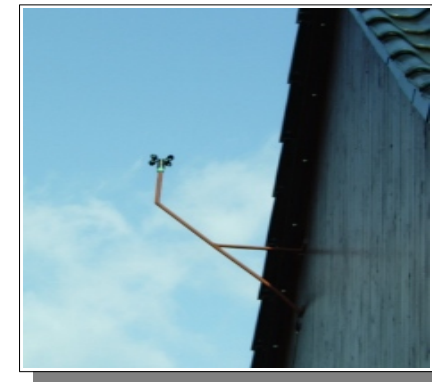
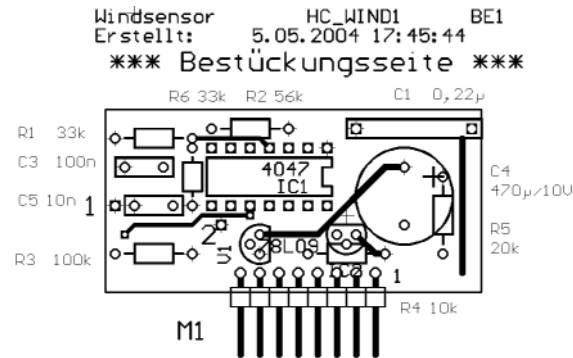
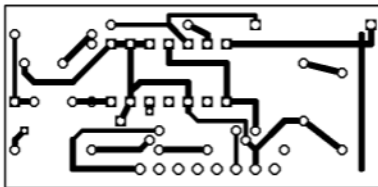
entweder ein Vergleichsgerät verwenden oder die Windstärken des meteorologischen Dienstes verwenden. Den Windmesser aus dem fahrenden Auto heraus halten und die Spannung am OUT-Ausgang messen wird natürlich super genau! Eine Spannung von 5 V entsprechen dann 255 Kodeeinheiten.

Soll der Windsensor langfristig genutzt werden, sollte man berücksichtigen, dass Reedkontakte letztlich auch verschleifen können. Es gibt auch den Effekt des Zusammenklebens der Kontakte. Die Reparatur eines am Haus angebrachten Windsensors wird dann immer sehr aufwändig sein. Als die elegantere Lösung bieten sich preiswerte Hallensoren als Ersatz an. Die folgende Schaltung verwendet einen TLE4905, der anstelle des Reedkontaktes über eine 3-adrige Leitung angeschlossen wird. Zur sicheren Auslösung ist R1 auf 16k zu reduzieren. Über die dritte Leitung werden 9V zur Stromversorgung des ICs übertragen. Der Abstand des Magneten zum Schaltkreis sollte bei Auslösung nur wenige mm betragen. Vor dem Anbau an einen Ausleger unbedingt Funktion testen! Für die Verwendung am Raumsensor/Außensensor Interface (U=5V) ist R1 auf 4k7 zu reduzieren und C5 entfällt komplett.



### 1.3.2 Ausführung als Aufsteckmodul

Windsensor HC\_WIND1 BE1  
Erstellt: 5.05.2004 17:37:10  
\*\*\* 9127912 \*\*\*

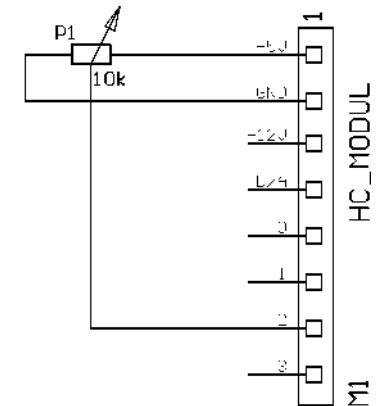


## 1.4 Ein einfacher mechanischer Winkelsensor

Für viele Aufgaben werden mechanische Lageinformationen benötigt. Eine Möglichkeit besteht darin, die Lage z.B. einer Lüftungsklappe über ein Hebelsystem in einen Winkel zu transformieren und dann mit einem einfachen Potentiometer zu messen. Zuerst werden Adresse und Kanal festgelegt. Sollte später die Änderungsgeschwindigkeit des Sensorsignals (Trend) benötigt werden, muss der Abfragezeitraum (ZDiff) dafür festgelegt werden. Im Zweifelsfall setzt man ZDiff auf 90 (=90s). Am Potentiometer werden zur Skalierung jeweils kurz vor den Anschlängen Markierungen angebracht, dann werden die zugehörigen Wertepaare (Winkel und Kodewert) an den Markierungen ermittelt. Bei nichtlinearen Potentiometern nimmt man zusätzlich die Mittelstellung als drittes Wertepaar. Das Programm toleriert sowohl 2 als auch 3 unterschiedliche Wertepaare. Bei drei Wertepaaren wird später automatisch durch das Programm Hauscomp.exe über das Interpolationspolynom von Newton ein Polynom zweiter Ordnung berechnet. Da der A/D Wandler nur mit 8 bit arbeitet, reicht das praktisch auch völlig aus. Die gesammelten Angaben werden dann in die Hauscomp.ini nach folgendem Muster übertragen:

Sensor= Bezeichnung Einheit Adresse Kanal ZDiff y0 x0 y1 x1 y2 x2, also z.B.:

```
Sensor=LüfterKlappe  grd  13  90      10  0    45 103    90  205
```



## 1.5 Der analog – binär Adapter

Für einige Verwendungen, wenn sehr viele Schalteingänge benötigt werden (z.B. Alarmanlage) ist es sinnvoll, einen Analog- Kanal zweckentfremdet zu verwenden. Die Idee: eine Konstantstromquelle speist eine Kontakt-/Widerstandskette. Die Kontakte erzeugen einen entsprechenden Spannungssprung, der über ein Filtermodul in der SPS ausgewertet wird. Damit können theoretisch bis zu 8 Kontakte in einer einzigen Leiterschleife detektiert werden. Wegen der praktisch vorhandenen Widerstandstoleranzen und der notwendigen Störfestigkeit werden aber im Folgenden nur 5 Kontakte verwendet. Die Abfrage eines Analog- Kanals bei voller Ausbaustufe mit 8 PCF8591 bzw. ATtiny26 erfolgt aller 9s.

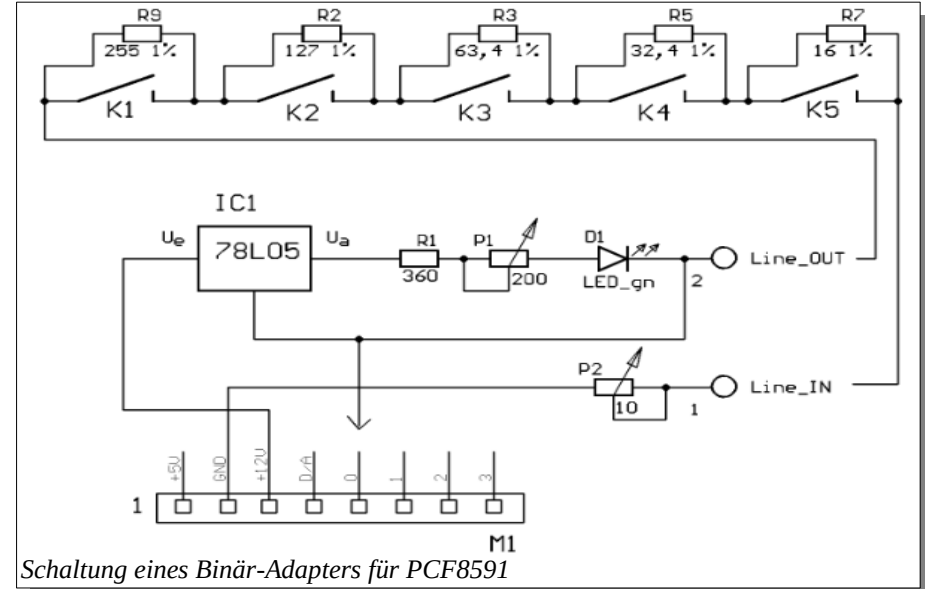
- Vorteile:
- mit wenig Verkabelungsaufwand können 5 Kontakte an einen Analog- Kanal angeschlossen und einzeln detektiert werden
  - kein Binär- Kanal notwendig
- Nachteile:
- Abfragezeit des Analog- Kanals sehr hoch
  - Stromversorgung muss kontinuierlich mindestens 11,6 V (11,0V zweite Schaltung) liefern
  - Problematik Kontaktwiderstände/ Alterung

### 1.5.1 Die Schaltungen

IC1 erzeugt zusammen mit R1 und P1 einen konstanten Strom von ca. 9 mA. Die Diode D1 dient zur optischen Kontrolle, ob die angeschlossene Wider-

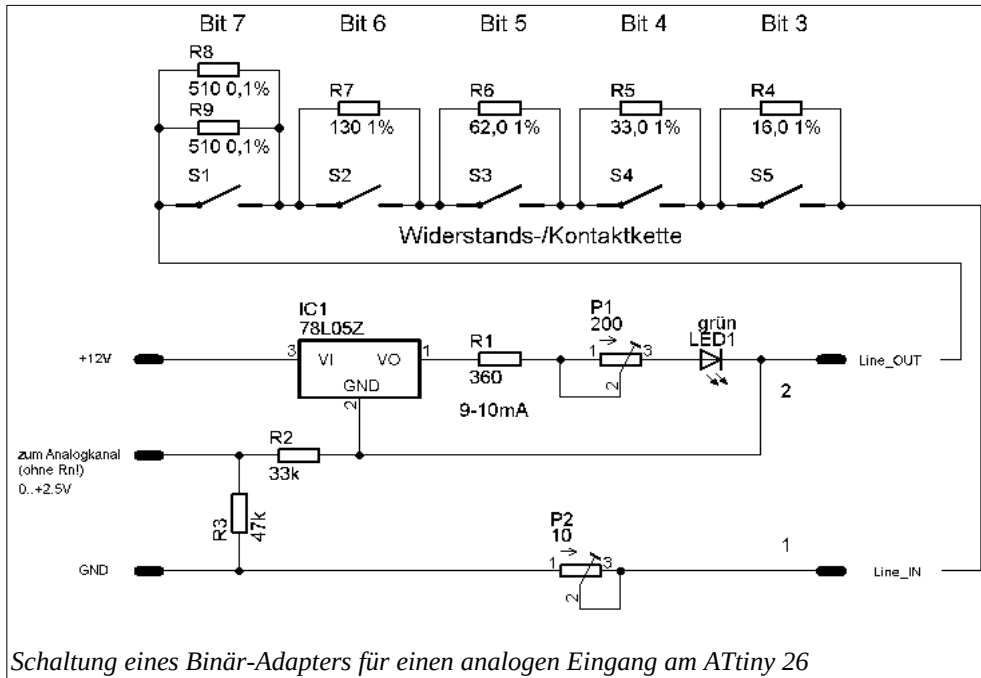
standskette intakt ist. Mit P2 wird der Leitungswiderstand kompensiert. Die Spannung an Punkt 2 wird somit immer im Bereich von 0,058 und 4,96V liegen. Punkt 2 wird entsprechend der individuellen Situation an einen analogen Eingang (PCF8591) angeschlossen.

Die Auswertung, ob ein Schalter offen oder geschlossen ist, erfolgt mit einem SPS- Modul vom Typ 13 oder 27. Dabei wird der analoge Kodewert mit einer Bitmaske UND- verknüpft. So kann der offenen bzw. geschlossenen Kontakt sicher detektiert werden. Je nach Ruhezustand ist natürlich auch eine Negation des Kontaktes programmierbar. Neben dem Schaltzustand wird auch ein Farbattribut generiert, dass für grafische Übersichten direkt verwendet werden kann (Abschnitt 5 in [4]).



Ein Langzeit- Problem ist die Frage der Kontaktwiderstände. Sollte sich im Laufe der Zeit eine Korrosionsschicht an einem Kontakt bilden, so wird der Gesamtwiderstand verfälscht und eine Fehlauswertung kann die Folge sein. Maximal 8 Ohm sind tolerierbar.

Die zweite Schaltung ist die aktuelle Ausführung für einen Analogkanal auf der Basis des ATtiny26. Mit R2 und R3 wurde die geringere Eingangsspannung des A/D Wandlers berücksichtigt und die Parallelschaltung von R8/R9 trägt der problematischen Beschaffung von 255 Ohm Rechnung. Alles andere ist gleich geblieben. Die höhere Auflösung des A/D Wandlers von 10 Bit beim ATtiny26 gegenüber den 8 Bit des PCF8591 wird über eine Division durch 4 in den SPS Modulen automatisch berücksichtigt. Die Schaltung ist jetzt bis herunter auf 11,0V funktionsfähig.



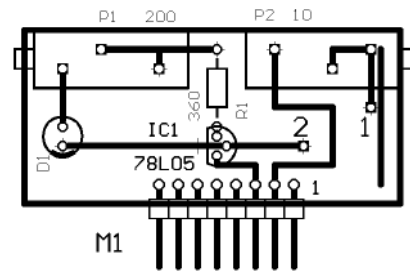
## 1.5.2 Die Kalibrierung

Für die korrekte Funktion des Adapters ist neben präzisen Widerständen in der Kontakt-/Widerstandskette eine genaue Kalibrierung erforderlich. Sind alle Kontakte geöffnet, so darf sich später während des Betriebes auch bei Schwankungen der Versorgungsspannung der A/D Wert nur um +/- 14 Kodewerte verändern. Deshalb können auch nur 5 Kontakte detektiert werden – der technische Aufwand wäre sonst zu groß. Die zwei Potentiometer P1 und P2 werden nach dem Anschluss an ein A+D Interface bzw. einen analogen Eingang in folgender Reihenfolge kalibriert:

P2 – alle Schalter „EIN“ schalten (alle Kontakte geschlossen), dann mit P2 die Leitung kompensieren. Dazu im Menü „Funktionen..“ → „A/D-Wandler“ den entsprechenden Analogkanal auf „3“ einstellen (ATtiny26 auf „8“);

P1 – alle 5 Schalter „AUS“ schalten, dann im Menü „Funktionen..“ → „A/D-Wandler“ den entsprechenden Analogkanal mit P1 auf „251“ Codeeinheiten (PCF8591) bzw. „1005“ Codeeinheiten (ATtiny26) einstellen.

## 1.5.3 Ausführung als Aufsteckmodul



## 1.5.4 Die Einbindung des analog- binär Adapters in die Hauscomp.ini

Auszug aus einer Hauscomp.ini:

...

Sensor=Adapter\_1 Einh 1 0 0 0 0 255 255

z=206 13 K1 1 0 7 4 /Detektierung Kontakt in Alarmschleife

z=207 13 K2 1 0 6 4 /Detektierung Kontakt in Alarmschleife

...

Weitere Beispiele finden sich im Abschnitt 5 von [4].

/Initialisierung des Sensors (analoger Kanal)

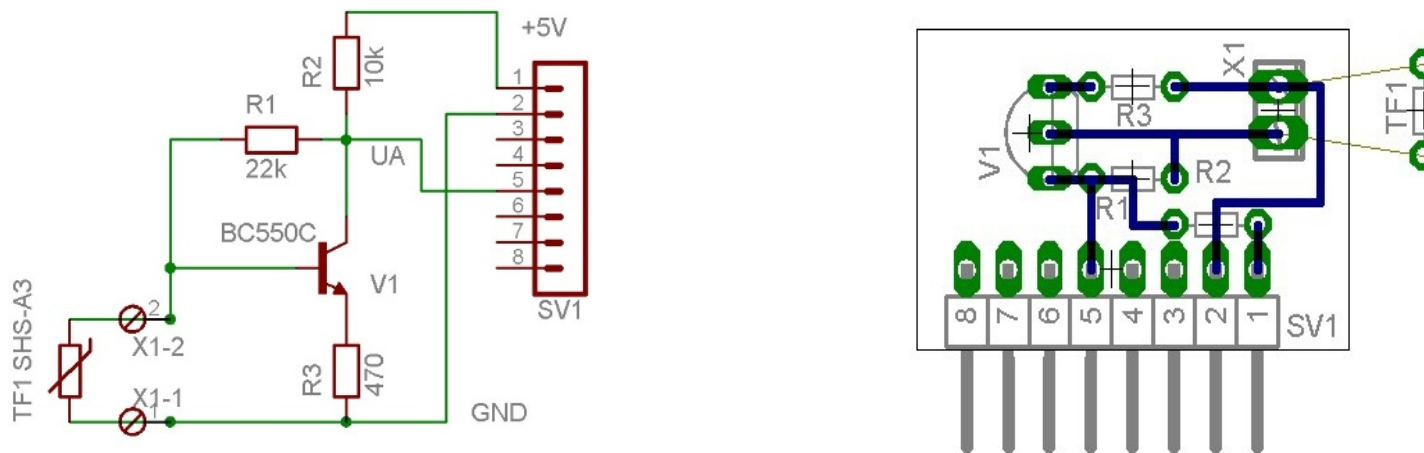
/Auswertung aller 4s: der Ausgang der Module 206 und 207 entsprechen der Schalterstellung von K1 und K2

## 1.6 Feuchtesensoren

Etliche Automatikregelungen im Bereich Klima benötigen den aktuellen Wert der relativen Luftfeuchte, um z.B. die Luft dem Menschen angenehm zu gestalten oder um Betauung zu vermeiden. Sensoren dafür gibt es reichlich am Markt, ihnen gemeinsam sind allerdings komplizierte Auswerteschaltungen und damit hohe Anschaffungskosten. Das Luftfeuchtemodul HTM1505 hat z.B. einen linearen Spannungsausgang und überstreicht sogar gesamten Feuchtebereich (ideal!), dafür kostet es aber auch ca. 40€ (Bestell-Nr. 18 00 03-xx bei CONRAD).

Nachfolgend sei eine preiswertere Variante unter Verwendung des resistiven Betauungsfühlers SHS-A3 von HYGROTEC vorgestellt. Ihn gibt es für ca. 8€ bei CONRAD ELECTRONIC (Bestell-Nr.187594-07). Er ist aber auch auf manchen Kopftrommeln von ausrangierten Videorecordern zu finden. Wie der Name schon sagt, ändert der Fühler seinen Widerstand in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte. Sein extrem nichtlineares Verhalten erschwert den eigentlichen praktischen Einsatz als analoger Sensor. Für die Anwendungen im Haus, wo ein Lüfter im Bad oder der Dusche zu schalten ist, reicht es aber aus.

### 1.6.1 Die Schaltung und die Ausführung als Aufsteckmodul



Die Schaltung ist einfach. Der Betauungssensor ist parallel zum Basis- Emitter Übergang eines pnp- Transistors geschaltet. Damit wird die ex potentielle Sensorkennlinie logarithmiert und damit wesentlich linearer. Zudem beträgt die Gleichspannung am Sensor maximal 0,8V. Das ist notwendig, um Elektrolyseeffekte am Sensor bei hohen Luftfeuchten zu vermeiden. Die Ausgangsspannung UA wird an einen der 4 analogen Eingänge angeschlossen (in der Zeichnung Kanal 0). Sie ändert sich im Bereich von etwa 85% bis 100% Luftfeuchtigkeit. Unter 85% liefert die Schaltung eine konstante Ausgangsspannung von etwa 3,5V. Sie verringert sich auf ca. +1V bei 100% Luftfeuchtigkeit.



## 1.6.2 Die Einbindung des Betauungssensors in die Hauscomp.ini

Auszug aus einer Hauscomp.ini:

```
...
Sensor=Bad_Feuchte  %F 1 7 0 85 177 100 44
...
z=210 3 F_Bad 7 0 4 90 60
z=211 33 Lüfter 210 210 210 7
```

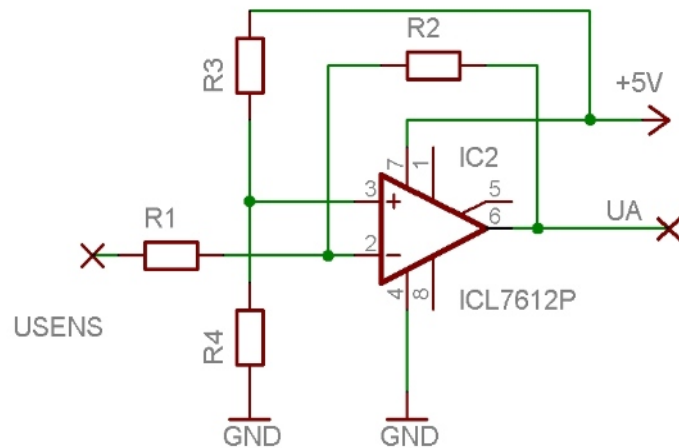
/Initialisierung des Feuchtesensors Kanal 0 Adresse7

/schaltet den Lüfter an D/A Adresse 7, wenn mindestens 60s lang über 90% Luftfeuchte auftritt.

## 1.7 Der Drucksensor

Für die Messung des Luftdrucks gibt es bei REICHELTE für ca. 25€ den MPX4115A von Motorola. Dieser Sensor liefert eine Ausgangsspannung zwischen 0,3V und 4,8V. Selbstverständlich kann der Sensor damit direkt an einen A/D Wandler angeschlossen werden. Da aber nur ein kleiner Teil des Messbereiches genutzt wird, kann der interessierende Bereich zur Verbesserung der Auflösung mit einem OPV gespreizt werden.

### 1.7.1 Spreizung des Messbereiches mit einem invertierenden Verstärker



Die folgende Schaltung lässt sich natürlich auch für andere Sensoren verwenden. Grundlage für diese Schaltung ist ein so genannter „rail to rail“ OPV, dessen Ausgangsspannung nahezu 0V bzw. +VS erreicht. Damit kann die vorhandene Stromversorgung von +5V für die optimale Anbindung an den A/D Wandler genutzt werden. Die folgende Schaltung erweitert (oder verkleinert) einen bestimmten Spannungsbereich auf den Bereich 0..+5V. Zum Einsatz kommt ein ICL7612 (alternativ auch TS912 oder MCP6042) der als invertierender Verstärker geschaltet wird. Nun ein bisschen Theorie und Rechenarbeit.

Gegeben sei die maximal und minimal nutzbare Ausgangsspannung eines Sensors als Grundlage für die Dimensionierung. Zunächst wird die notwendige Verstärkung  $V$  unter Berücksichtigung des maximalen Ausgangsspannungsbereiches von 5V für den OPV errechnet:

$$V = \frac{5}{(U_{sens_{max}} - U_{sens_{min}})} . \text{ Die Verschiebung des Messbereiches erfolgt über den}$$

Spannungsteiler R3 und R4, der an Pin 3 des OPVs eine Referenzspannung liefert:

$$U_{Ref} = \frac{V}{(1+V)} \cdot U_{sens_{max}} . \text{ Aus beiden Größen werden die erforderlichen Widerstände für den invertierenden Verstärker ermittelt, wobei } R1+R2 \text{ und}$$

R3+R4=100k angenommen wird:  $R4 = \frac{(100k)}{5} U_{Ref}$  ,  $R3 = (100k) - R4$  ,  $R1 = \frac{(100k)}{(1+V)}$  ,  $R2 = (100k) - R1$  .

Die Formel für die Ausgangsspannung sieht dann folgendermaßen aus:  $U_a = (1+V)U_{Ref} - V \cdot U_{Sens}$  . Die Ausgangsspannung ist also umgekehrt proportional zur Sensorspannung. Die Eingangsoffsetspannung des OPVs beträgt lt. Datenblatt maximal  $\pm 15mV$ . Sie ist unerwünscht und addiert sich quasi zur Referenzspannung. Die Ausgangsspannung verschiebt sich damit um maximal  $\pm 0,015 \times$  Verstärkung [V]. Die Stromversorgung sollte gut stabilisiert sein, da eventuelle Schwankungen ebenfalls verstärkt und damit die Ausgangsspannung verfälschen. In der vorliegenden Anwendung ist die Stromversorgung von 5V ausreichend mit einem 78L05 stabilisiert. Die Verstärkung ist in allen Formeln zum besseren Rechnen positiv angegeben, für die Ermittlung des Übertragungsfaktors dagegen muss man dem invertierenden Verstärker mit dem Faktor „-1“ Rechnung tragen.

## 1.7.2 Dimensionierung der Schaltung

Nun kommen wir zur Anpassung eines Drucksensors. Nach Angaben der Meteorologen lag der gemessene Luftdruck im Raum Güstrow 2005 zwischen 94,7 und 104 kPa (HNN = +44m). Der Drucksensor MPX 4115A liefert dafür lt. Kennlinie eine Ausgangsspannung von 3,78..4,20V. Gewählt wird ein etwas größerer Bereich von 3,7..4,25V.

Damit ergeben sich lt. Gleichungen aus dem vorangegangenen Abschnitt, sowie unter Berücksichtigung der E96 Widerstands- Reihe:

$$V = 9,090 \quad , \quad U_{Ref} = 3,829 V$$

$$R1 = 10k, R2 = 91k, R3 = 22,6k, R4 = 75k$$

Jetzt noch kurz eine Kontrolle, ob mit den gewählten Widerständen die Verstärkung in etwa noch stimmt:  $V = \frac{R2}{R1} = \frac{91k}{10k} = 9,1$  - passt.

Der Übertragungsfaktor k des gesamten Sensors inklusive Druckwandlung, aber noch ohne Verschiebung errechnet sich wie folgt (V=9,09):

$$k = (-1) \cdot 9,09 \cdot U_{Sens} \cdot (0,009 \cdot P) = -0,40905 \frac{V}{kPa} .$$

Somit ergibt sich eine Auflösung (bzw. Anstieg der Kennlinie) von:

$$Auflösung_{8Bit} = \frac{5[V]}{(k \cdot 256)} = -0,0477 \cdot \left[ \frac{kPa}{Kodewert} \right] ,$$

d.h. bei einem Druckanstieg von 0,048 kPa verringert sich der übertragene Kodewert um 1.

Allerdings sollte man sich im klaren sein, dass bei der praktischen Umsetzung Abweichungen auftreten werden (Widerstandstoleranzen, Biasströme, Drift). Im Prototypen betragen die gemessenen Abweichungen von den (theoretischen) Formeln ca. 2 %. Das ist also beherrschbar und die Daten sind später auch nutzbar, zumal ja noch eine Kalibrierung folgt. Auch die Langzeitnutzung über mehrere Jahre lieferte bei mir relativ stabile Werte.

In der konkreten Realisierung werden die Widerstände R3 und R4 für die Referenzspannung als Einstellregler R5 ausgeführt. Das hat den Vorteil, dass die Kalibrierung in der Hauscomp.ini fest vorgegeben werden kann, der Fehlerabgleich des Sensors aber über den Einstellregler erfolgt. Damit braucht man später nur einen Punkt zum Vergleich mit einem geeichten Luftdruckmesser – der Übertragungsfaktor steht ja schon fest. Nebenbei wird damit die Eingangsoffsetspannung korrigiert. Beispielhaft kann man jetzt für 100kPa alle entsprechenden Formeln durchrechnen:

Die Ausgangsspannung am Drucksensor:

$$U_{Sens} = 5 \cdot (0,009 \cdot 100 - 0,095) = 4,025 \text{ V}$$

Die Ausgangsspannung am OPV :

$$U_a = (1 + V) \cdot 3,829 - V \cdot (4,025) = 2,05 \text{ V}$$

Damit wird über den A/D Wandler bei einem Luftdruck

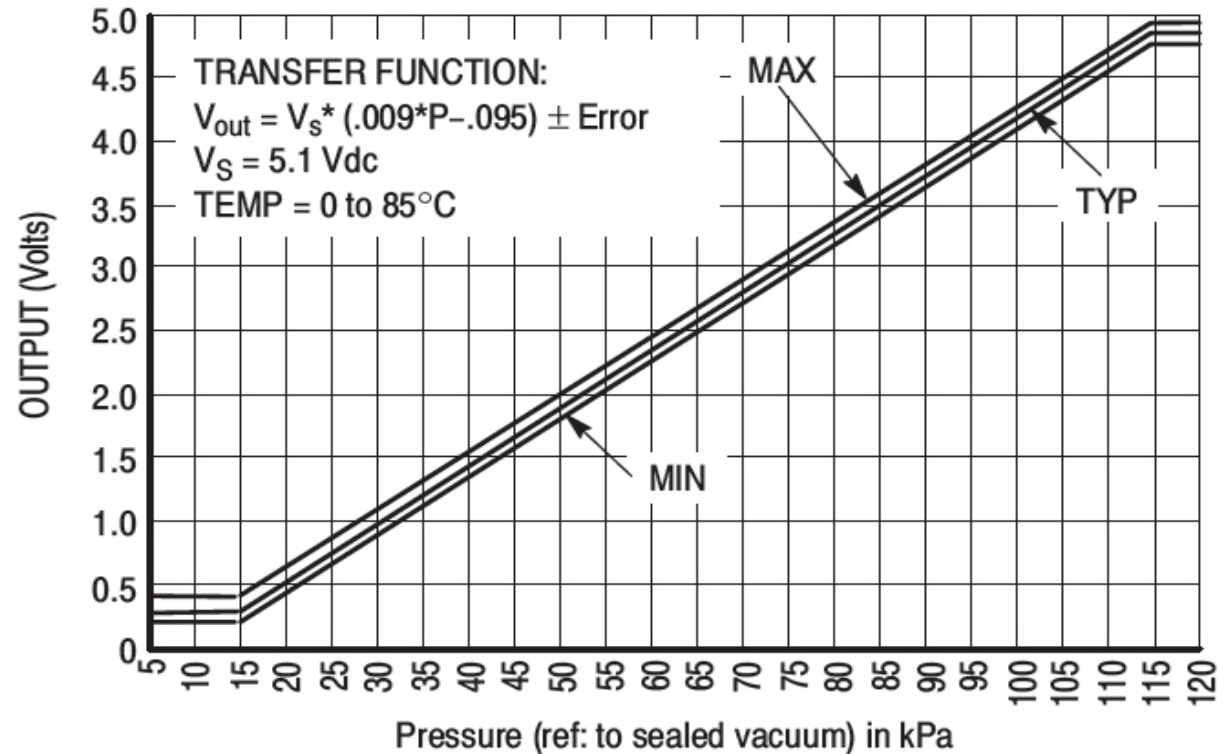
von 100kPa ein Kodewert von  $\frac{2,05}{5} \cdot 256 = 105$  erzeugt.

Andere errechnete Werte zum Vergleich:

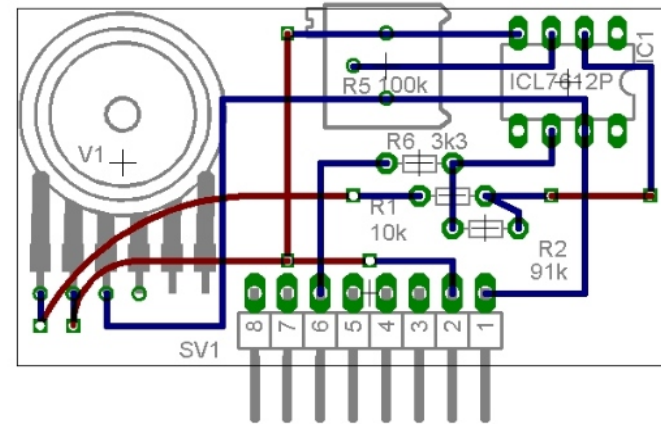
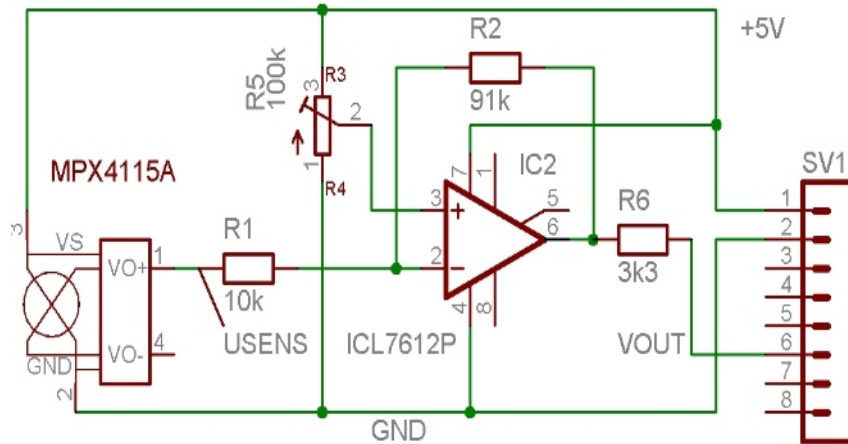
Luftdruck [kPa]	$U_{Sens}$ [V]	$U_{OPV}$ [V]	Kodewert (8Bit)
94,7	3,78	4,27	219
100	4,025	2,05	105
104	4,20	0,46	23

Der Vollständigkeit halber hier noch der umgekehrte Zusammenhang zwischen Luftdruck und Kodewert:  $Druck [kPa] = -0,0477 \cdot Kodewert + 104,8$  ,

bzw.  $Druck [hPa] = -0,477 \cdot Kodewert + 1048$  . Diese Rechnung führt der Hauscomputer dann später automatisch mit dem Scriptbefehl „Sensor2=“ durch.

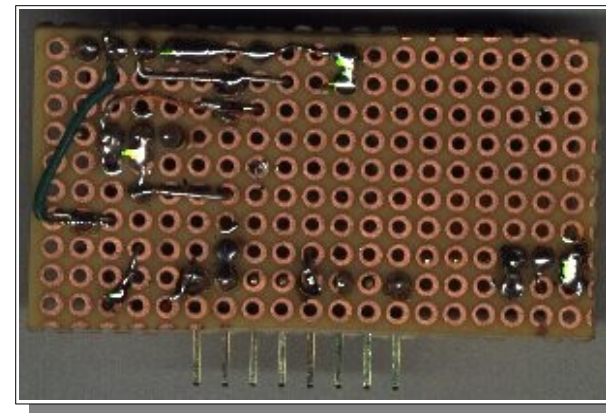
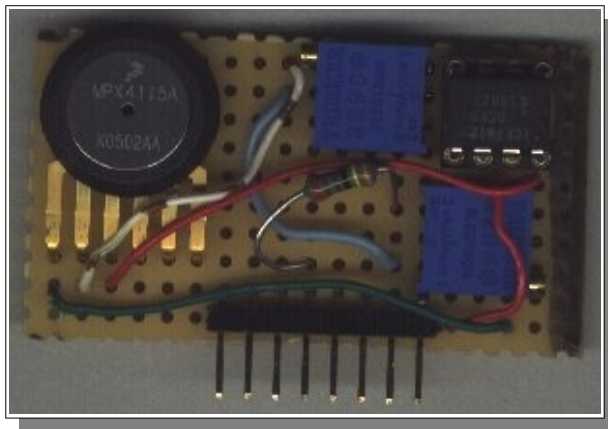


Hier die Schalt- und Bestückungspläne:



Die gesamte Schaltung passt nebst Sensor auf ein Aufsteckmodul. Die Ausgangsspannung, aus Sicherheitsgründen mit R6 begrenzt, wird an einen der 4 A/D Kanäle angeschlossen (Pin 5-8 an SV1).

Die wenigen Bauteile sind schnell zusammen gelötet. Auf dem Bild ist der Prototyp zu erkennen, R1 und R2 sind ebenfalls als Einstellregler ausgeführt – die Verstärkung ist damit variabel einstellbar.



### 1.7.3 Kalibrierung des Drucksensors als analoger Sensor

In die Hauscomp.ini werden die errechnete Werte für 100kPa eingetragen:

**Sensor2= Luftdruck kPa (Adresse) (Kanal) 900 100 105 -0.0477 /bei 100kPa ergeben sich 105 Kodewerte**

bzw. für die Verwendung in hPa:

**Sensor2= Luftdruck hPa (Adresse) (Kanal) 900 1000 105 -0.477 /bei 1000 hPa ergeben sich 105 Kodewerte**

Nach Inbetriebnahme der Schaltung wird mit R5 die Referenzspannung an Pin 3 des OPVs eingestellt. Die genaue Einstellung/Eichung erfolgt bei laufendem Programm Hauscomp.exe. Dabei wird R5 solange verändert, bis auf dem Bildschirm (Hauptmenü/Analogensensoren ..) der exakte Luftdruck erscheint. Zum Vergleich kann man notfalls auch den aktuellen Luftdruck einer nahe gelegenen Stadt aus dem Internet <http://www.meteo24.de/> nehmen. Der Prototyp wich bei der Inbetriebnahme nur um 1,8 hPa ab – ein Wert, der sich problemlos korrigieren ließ.

### 1.7.4 Kalibrierung des Drucksensors für die Multisensor-Plattform

Wird der Drucksensor an den freien Eingang der Multisensor-Plattform (Pin 12 „SOLL“) angeschlossen, so überträgt das System automatisch den gewandelten Kodewert als Data 6. Über den Modultyp 105 wird er in die SPS übernommen und nachfolgend wieder in einen Druckwert umgewandelt:

<b>z=730 70 k_50</b>	<b>-</b>	<b>-0.475</b>	<b>/Vorgabe Konstante für Kennlinien-Anstieg</b>
<b>z=731 70 k_51</b>	<b>Kode</b>	<b>1053</b>	<b>/Vorgabe Konstante für Kennlinien-Verschiebung</b>
<b>z=732 105 LZ_Data6</b>	<b>2</b>	<b>19</b>	<b>/Auslesen Data 6 am Raumsensor 2</b>
<b>z=733 71 Luftdruck</b>	<b>hPa</b>	<b>732</b>	<b>730 1 731 /Luftdruck [hPa]=k_50*Luftdruck_Kode+1*k_51</b>

## 1.8 Ein AC-Stromsensor, Energiemessung in Echtzeit (smart meter)

### 1.8.1 Aufgabenstellung

Aus verschiedenen Gründen kann es sinnvoll sein, die Stromaufnahme oder Leistung eines Gerätes aus dem Wechselstrom- bzw. Lichtnetz zu messen. Da wäre zum einen die Funktionsüberwachung bei Motoren oder Pumpen, der grafische Verlauf des Energieverbrauches eines Hauses oder auch die gar nicht so simple Feststellung, ob gerade Energie vom Energieversorger bezogen wird oder ob eine Solaranlage für den Eigenverbrauch rückwärts wieder ins Netz einspeist ... Neben professionellen Geräten (z.B. Shelly Pro 3EM) mit der Kopplung an Smartphone-Apps gibt es hier eine Eigenbau-Lösung für den HC. Zunächst aber einige Vorbetrachtungen - je nach gewünschter Anwendung:

1. Es soll präzise die aktuell verbrauchte (Wirk-) Leistung [W] und die entnommene Energiemenge [kWh] ermittelt werden.
2. Es soll eine Visualisierung über die Zeit erfolgen, es reicht dabei eine grobe Angabe der aktuell entnommenen Elektroenergie ([W], [kWh]).
3. Für die Nutzung nicht verbrauchter Solarenergie soll in Echtzeit ermittelt werden, ob Energie bezogen oder zurück ins Netz eingespeist wird.

Für 1. ist es notwendig, den aktuellen Strom- und Spannungsverlauf zu messen, dabei mit mindestens 10 Messpunkten je Halbwelle die Messwerte zu

multiplizieren um letztendlich die geforderten Daten zu erhalten. Die einzig praktikable Möglichkeit wäre derzeit (neben speziellen ICs, wie z.B. ADE7758) der (eventuell zusätzliche) Einbau eines Drehstromzählers mit analogem Ausgang und der Kopplung mit einem A/D Spannungseingang oder aber auch ein Zähler mit S0-Schnittstelle (der Busadapter „Deluxe“ hat bereits 4 entsprechende Zähl-Eingänge). In jedem Fall ist dabei ein Eingriff in die Elektroinstallation durch eine Elektrofachkraft notwendig! Preiswerte (nicht geeichte) Zähler mit S0-Schnittstelle gibt es bereits ab 10 €.

Wenn dagegen eine grobe Schätzung ausreicht (2.), kann man folgende Kompromisse eingehen: Es wird nicht die Wirkleistung ermittelt, sondern wir messen den aktuellen Wechselstrom und multiplizieren mit der gemittelten Spannung oder einer Konstante. Da im Lichtnetz die Spannung lt. europäischer Norm EN 50160 im Bereich  $\pm 10\%$  schwanken darf, wäre dieser Fehler auch in der Ermittlung der Leistung wiederzufinden. Schwieriger und mit einer größeren Abweichung behaftet ist die Tatsache, dass eine Blindleistung bzw. ein Blindstrom die Strom-Messwerte verfälscht. Insbesondere induktive Lasten, wie Motoren/Pumpen oder kapazitive Lasten, wie Schaltnetzteile und LED-Leuchten führen zu großen Abweichungen in den Messungen. **Aber:** Stromsensoren gibt es kostengünstig, sie haben von Natur aus bereits eine Potenzialtrennung und sie lassen sich in bestehende Elektroverteilungen einfach integrieren! Für eine Visualisierungen des Energieverbrauches ist das sicher ausreichend.

Die Anforderung nach 3. ist eigentlich nicht so einfach zu erfüllen, sie ist aber wichtig für solare Kleinanlagen, die nach der Gesetzeslage ab 2017 problemlos ohne zusätzlichen Einspeisezähler (und z. T. auch ohne Finanzamt) Strom für den Eigenverbrauch in den eigenen Haushalt einspeisen. Dabei muss allerdings die 70 % Regel beachtet werden, nach der am Übergabepunkt (Elektrozähler) max. 70 % der installierten Solarleistung zum Energieversorger zurückfließen darf (2023 entschärft). Bei Strompreisen von 30 Cent je Kilowattstunde und immer preiswerteren Solarmodulen sollte jeder Eigenheimbesitzer mittlerweile seine eigene Solaranlage auf dem Dach haben. Neben der Anzeigepflicht an den Energieversorger, darf man in Deutschland wahrscheinlich keinen Strom über alte analoge Zähler „rückwärts“ ins Netz speisen, die dann auch rückwärts zählen würden. Das wäre möglicherweise Betrug. Allerdings gibt es dazu noch kein Gerichtsurteil (Stand April 2019). Nach Beantragung und Aufbau der Solaranlage wird der normale Energiezähler vom Netzbetreiber gegen einen mit Rücklaufsperr (z.B. digitaler Zweirichtungszähler) ausgetauscht. Letztlich wird dann der eventuell überschüssige Solarstrom (der natürlich trotzdem immer zurück ins Netz eingespeist wird) vom Netzbetreiber nach dem EEG vergütet. Der folgende Aufwand wegen Umsatz- und Ertragssteuer hat sich seit 2022 erledigt. Allerdings liegt die Einspeisevergütung nun nur noch bei rund 8 Cent. Lenkt man die überschüssige Energie z. B. in die Erwärmung von Brauchwasser, so benötigt man entsprechend weniger fossile Energieträger – Beispiel Heizöl: ca. 10 ct je kWh (bei 1 €/l). Der Solarstrom wäre hier also 2 ct/kWh billiger.

Hat man die Information, dass eine Rückeinspeisung stattfindet, so kann man zusätzliche elektrische Verbraucher gezielt einschalten (Bruchwassererwärmung mit E-Patrone, Klimaanlage, Entfeuchter) und den zurück ins Netz fließenden Strom auf „Null“ herabregeln.

**Achtung Falle:** Es gibt saldierende und phasenbezogene (Drehstrom-) Zähler. Erstere summieren zunächst alle drei Phasen und ermitteln dann die Einspeiserichtung. Diese sind verbraucherfreundlich. Die phasenbezogenen Zähler begrenzen bereits die Zählung des in einer Phase eingespeisten Stroms. Wenn also die Solaranlage an einer Phase 300 W liefert und ein Verbraucher an der anderen Phase 300W „zieht“, so zeigt der saldieren Zähler „0“ an, während beim phasenbezogenen Zähler der volle 300 W Verbrauch angerechnet werden und die Einspeisung „verpufft“.

In der Regel werden aber saldierenden Zähler wie z. B. Q3M von EasyMeter eingesetzt. Wichtig für Schwingungspaket-Regelungen, wie in diesem Projekt beschrieben, ist der Zeitraum, indem der Zähler saldiert. Da die Hersteller die interne Software nicht offenlegen, muss experimentiert werden. Beim Q3M liegt das Zeitintervall bei ca. 0,1..0,2s. Dieses Intervall begrenzt dann natürlich auch eine sinnvolle Schwingungspaket-Regelung. Es gibt aber auch aufwendige kommerzielle Anlagen die anstelle von Schwingungspaket/Phasenanschnitt-/Abschnitt verschieden große E-Patronen in Echtzeit



kombinieren.

## 1.8.2 Strommessung mit dem Sensor SCT-013-000

Für die Umsetzung der Strommessung habe ich den Markt nach preisgünstigen Stromsensoren durchforstet. Ziel ist als Ausgangssignal eine Spannung von etwa 2,5 V für den Bereichsendwert zu erhalten. Es gibt (zum Vergleich) ein bereits fertiges Hutschienenmodul für 3 Phasen (GTZ4121) das auch eine Spannung von 0..+10V liefert, aber mit 232 Euro fast unbezahlbar ist.

Wesentlich günstiger mit < 5 € sind die chinesischen Sensoren der Reihe SCT-013-xxx. Sie sind unkompliziert, haben einen 3,5 mm Klinkenstecker (ca. 1 m Anschlusskabel), lassen sich aufklappen und so problemlos in eine Elektro-Verteilung einfügen (rechtes Bild). Aber nur der SCT-013-000 kam für die Umsetzung infrage, da in der folgenden Anleitung eine besondere Form des Lastwiderstandes (Bürde) benutzt wird und daher die interne Wicklung elektrisch zugänglich sein muss. Die anderen Varianten (SCT-013-005 usw.) besitzen bereits eine interne Bürde und sind nicht verwendbar.

Intern bestehen die Sensoren aus einem Ringkern, der mit einer (sekundären) Wicklung versehen ist. Wird der Sensor an einem (Wechselstrom-) Leiter befestigt, so stellt dieser Leiter eine einzige primäre Windung dar. Das im Kern induzierte Magnetfeld erzeugt dann in der sekundären Wicklung (hier: 2000 Wgd.) einen Strom, der proportional dem primären ist, sofern die sekundäre Wicklung kurzgeschlossen wird. Um den Strom zu messen, benötigt man einen Widerstand an der sekundären Wicklung, die sogenannte Bürde.

Leider liefert diese Konstruktion aber auch nur eine Wechselspannung als Ausgangssignal:

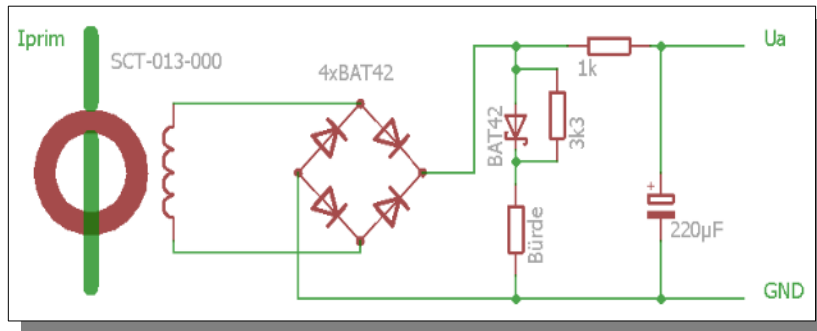
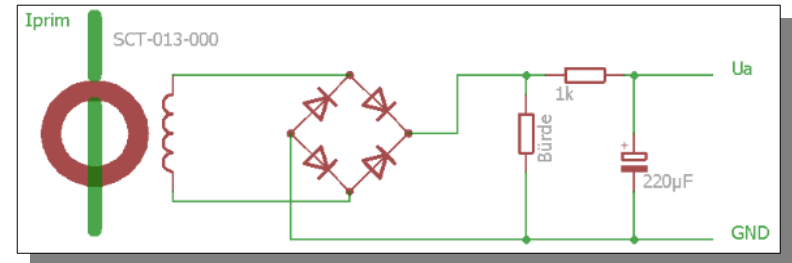
$$U_a = R_{Bürde} \cdot \frac{Wdg_{Prim}}{Wdg_{sec}} \cdot I_{prim}$$
, wobei  $U_a$  die Ausgangsspannung,  $Wdg$  die entsprechenden Windungszahlen und  $I_{prim}$  der Wechselstrom durch den zu messenden Leiter und  $R_{Bürde}$  der Bürdenwiderstand ist.

Es gibt zahlreiche Elektronikschaltungen, die daraus eine Gleichspannung erzeugen können – bis hin zu Präzisionsgleichrichtern mit mehreren OPVs. Aber es sollte nicht vergessen werden, der Hauptfehler bleibt der Blindstrom, der ohne vergleichende Spannungsmessung nicht gemessen werden kann!

Die einfachste Möglichkeit der Gleichrichtung wäre eine Diode mit nachfolgendem Kondensator zu Glättung. Eine bessere Variante ist ein Brückengleichrichter, der über einen Widerstand an einen Kondensator angeschlossen wird (nächste Seite, rechtes Bild).



Der Strom aus der Sekundärwicklung wird über 4 Dioden gleichgerichtet, bevor er über die niederohmige Bürde wieder zurückfließt. So werden beide Halbwellen genutzt und die Widerstands-Kondensator-Kombination führt zur Messung eines Mittelwertes und nicht des Spitzenwertes. Das kommt einer Effektivwertmessung schon eher nahe. Leider haben Dioden eine Flussspannung, die zu einer Unempfindlichkeit bei kleinen Wechselspannungen führen. Man kann dann kleine Ströme so einfach nicht mehr messen und muss doch Operationsverstärker einsetzen. Wird der Widerstand der Bürde in diesem kleinen Bereich aber auch automatisch größer, so könnte man die Unempfindlichkeit etwas verringern und auf komplexe Hardware möglicherweise verzichten. Leider wird es dann auch nicht-linearer und Software muss korrigierend eingreifen. Kommen aber Schottky-Dioden mit einer geringen Flussspannung ( $U_F \leq 0,2V$ ) zum Einsatz, so ergibt sich ein, doch ausreichend kleiner, Unempfindlichkeitsbereich.



In der linken Schaltung ist das Ergebnis aufwendiger Simulationen und Messungen zu sehen – eine zusätzliche 5. Diode und ein Entladewiderstand führen zu einer praktisch verwendbaren Idee (Hier noch mit 5x BAT42). Die Bauteilkosten sind minimal, die Nichtlinearitäten werden weitgehend von der Software korrigiert und die Installation ist relativ einfach. Als Bürde wurden übrigens 100 Ohm festgelegt.

Die Korrektur in der Software wurde letztlich für die besonders gut geeignete 1A Schottky-Diode 1N5817 ausgelegt.

Die Grafik auf der nächsten Seite zeigt die praktisch erzielbaren Ergebnisse mit dem chinesischen Sensor SCT-013-000 für reine ohmsche Lasten, also ohne Blindstromanteile. Zur detaillierteren Darstellung wurde ein doppelt logarithmischer

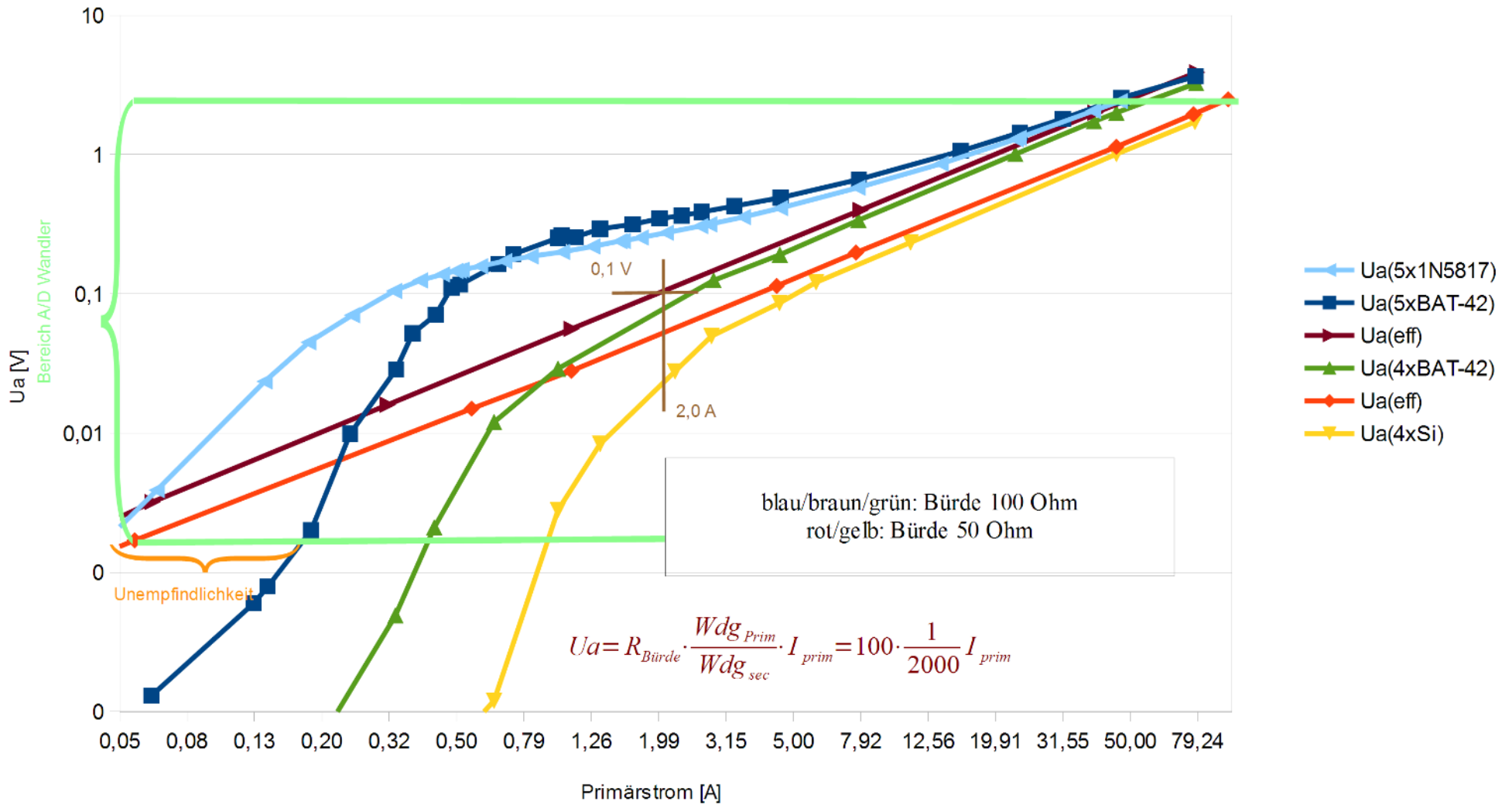
Maßstab gewählt. Die beiden geraden Linien sind die, mit einem Multimeter gemessenen Effektivwerte, mit jeweils 50 Ohm und 100 Ohm Bürde. Die restlichen vier Kurven stehen jeweils für eine Graetz-Brücke mit Silizium-Dioden (gelb), Schottky-Dioden (grün) und der zusätzlichen Varianten mit einer 5. Diode Bürde (blau/hellblau). Sehr gut ist erkennbar, dass die Varianten mit einer 5. Diode eine geringere Unempfindlichkeit bei geringen Primärströmen aufweisen, wobei die Variante mit der 1N5817 optimal ist.

Die Diode 1N5817 ist somit die erste Wahl. Sie liefert mit einem 10Bit-A/D Wandler und  $U_a = 2,5 V$  Vollaussteuerung eine gute Messkurve im Strommessbereich von  $< 0,06 A$  (15 W) bis zu einem Strom von 48 A (10 kW) an einem Wechselstromleiter. Der Strom-Messfehler nach Softwarekorrektur liegt sogar unter 5 % (!!!).

Für Messungen in der Energieverteilung eines Eigenheimes ist das ein hervorragender Bereich. Wer einen kleineren Bereich und eine kleinere Unempfindlichkeit benötigt, kann den primären Leiter auch zwei- oder dreimal durch den Sensor wickeln – mit dem gewünschten Effekt einer höheren Auflösung bei verringertem maximal messbarem Strom. An der Elektronik braucht nichts geändert zu werden, nur in der Berechnung in der SPS kommt der entsprechende Faktor zum Einsatz. Letztlich hält sich so der gesamte Messaufwand in Grenzen.

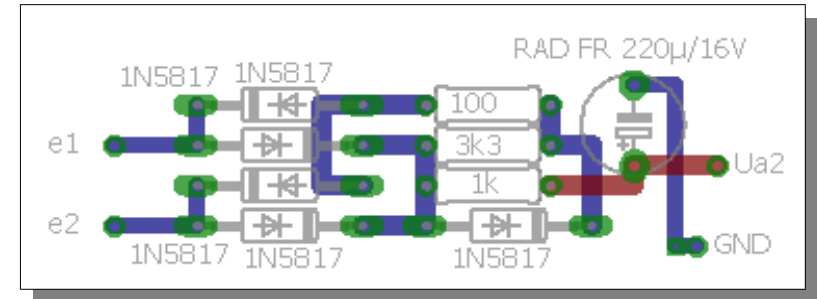


# Strommessung mit SCT013



Die Schaltung kann schnell auf einer Lochrasterplatine aufgebaut werden:

An e1 und e2 wird eine 3,5 mm Klinkenbuchse für den Stromsensor angeschlossen, während Ua und GND an einen Spannungsmesseingang führen (analoges Interface, Interface „Mini“). Ein dort eventuell vorhandener Eingangswiderstand Rn muss für den entsprechenden Kanal natürlich entfernt werden.



Initialisiert wird der neue Strommesskanal folgendermaßen:

**SensorAt26=U10 A 1 0 2 0 0 2.47 1023 /Stromsensor an Adresse 1, Kanal 0, Uref=2,47V**

Die „2“ in der Scriptzeile aktiviert die nicht-lineare Kennlinie in der Software (hauscomp.exe ab Version 6.0.50). Das darauffolgende Wertepaar kalibriert den Strom-Messkanal. Die Angabe „2.47“ bezieht sich eigentlich sinnwidrig nicht auf einen Strom, sondern ist die Referenzspannung an Pin 17 des ATtinys. Damit kann die Kennlinie noch ein wenig „gekippt“ und so genauer werden.

Aber man sollte die Blindstromproblematik nicht vergessen: während bei 11 kW mit dem Musteraufbau in 3 Phasen fast nur ohmscher Last (Herd, Bügeleisen, E-Heizung) eine Abweichung von weniger als 1 % gemessen werden konnte, betrug die Abweichung bei geringen 400 W Grundlast (Summe aller 3 Phasen) etwa 50 %, d. h. es wurden rund 200 W zu viel gemessen! Der Vergleich erfolgte dabei mit dem geeichten Zähler des Energieversorgers über ein Messintervall im Stundenbereich. Die Grundlast setzte sich im Wesentlichen aus Heizungspumpe, Kühlschrank/Tiefkühltruhe und zahllosen Schaltnetzteilen (LED-Leuchten, PCs) zusammen, eben typisch für ein Einfamilien-Haus.

Die vorgestellte Lösung misst wesentlich schneller als eine Variante mit S0-Zähler und kann praktisch an jeder (Wechselspannungs-) Leitung unkompliziert auch nachträglich angebracht werden. Nötig ist nur ein A/D Spannungseingang am ATtiny26.

Für die Umsetzung in der SPS gibt es das „Beispiel Stromsensor“. Darin sind nach folgendem Schema 4 Sensoren initialisiert:

z=100	70	Spannung	V	235			/Vorgabe Spannung als Konstante
z=101	70	Windungen	Wdg.	1			/Vorgabe Anzahl Primärwindungen
z=102	78	Strom		1	0	0	/Übernahme Strom vom Strommesskanal
z=103	80	Leistung1	W	100	102	101	/Spannung*Strom:Windungen
z=104	80	Leistung1	kW	103	1	9	/Leistung:1000
z=105	96	Zähler_1		104	1		/Ermittlung Verbrauch in kWh

Grafisch sieht das dann so aus:



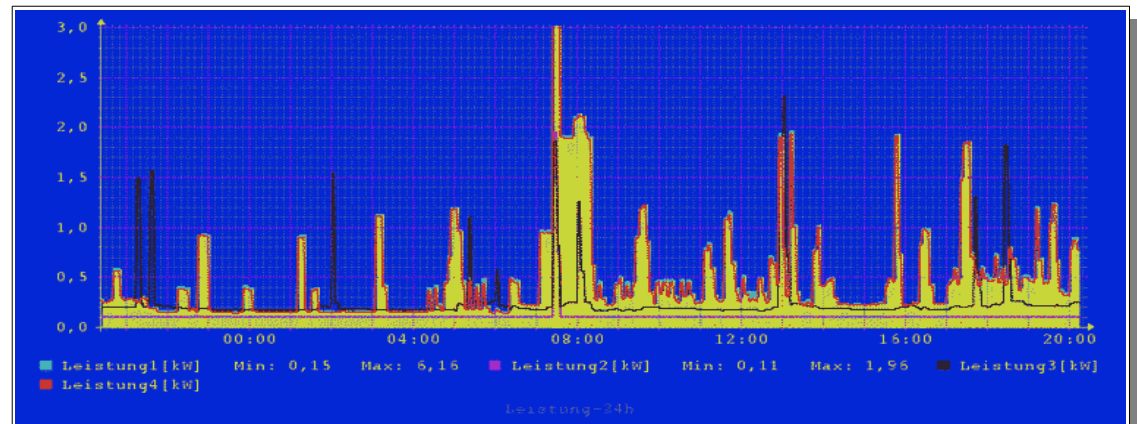
Jeder der 4 Kanäle liefert letztendlich in Echtzeit die aktuelle Leistung und die Energiemenge.

Zusätzlich wird die (geschätzte) aktuelle Leistung und Energiemenge aller drei Hauptleitungen angegeben.

Der weiteren Verarbeitung in der SPS sind auch keine Grenzen gesetzt ...

Natürlich kann man unter Linux auch eine EDB-Grafik erzeugen:

So wurde erstmals der Stromverbrauch einer im Keller zur Frost-Verhinderung eingesetzten Elektroheizung sichtbar gemacht (die Impulsspitze von ca. 800 W alle 2 Stunden).



## Erfahrungen:

Vier scheinbar gleiche SCT-013-000 erzeugten bei Primär-Strömen  $> 1A$  fast exakt die erwarteten Spannungen (Abweichungen  $< 2\%$ ). Im unteren Messbereich, bei etwa  $0,4 A$  wurden die Unterschiede aber größer – es gab eine Streuung im Bereich  $0,35$  bis  $0,51 A$  bei konstanter ohmscher Last, d. h. eine Abweichung von  $46\%$  zwischen den extremsten Sensoren und das an ein und demselben Messeingang! Möglicherweise spielen dabei neben der höheren Empfindlichkeit in diesem Bereich auch Hystereseeffekte im Kernmaterial eine Rolle. Leider muss man das so hinnehmen, es kann nicht korrigiert werden. Bei der Leistungsmessung eines Schaltnetzteils (ebenfalls im  $0,4 A$  Bereich) wurde die dreifache (!!) Leistung der realen Wirkleistung angezeigt. Hier spielen die Nichtlinearitäten der Kennlinie in Verbindung mit den gepulsten Ladeströmen bei Spannungen  $\ll$  Effektivspannung eine große Rolle. Auf jeden Fall erklärt das auch die praktisch gemessenen Abweichungen in der Grundlast. Ein weiterer Effekt wurde beobachtet: Wenn die Klappe des Sensors geschlossen wird, kann man durch Druck auf die Kappe das Messergebnis noch um bis zu  $5\%$  vergrößern ...

Alles in allem, für eine Visualisierung ist die Schaltung brauchbar, für die präzise Energiezählung vor allem im unteren Bereich aber zu ungenau – und das betrifft offensichtlich jede Elektronik, die mit klappbaren Stromtransformatoren arbeitet, egal wie präzise die Gleichrichtung erfolgt.

Praktisch gemessene Flussspannungen von Schottky-Dioden:

Typ (Bestellnr. REICHELTL)	Flussspannung bei 3 mA [V]	Preis (REICHELTL 05/2018) [€]
BAT-42 (30V/0,2A)	0,29	0,04
BAT-48 (40V/0,35A)	0,26	0,07
RND 1N5817 (20V/1A)	0,20	0,03
LL 103B SMD (30V/0,2A)	0,26	0,07

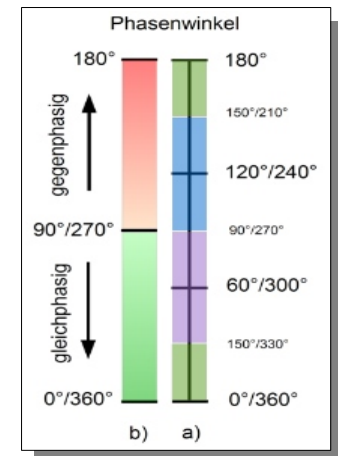
Die 1A Diode 1N5817 hat die deutlich geringste Flussspannung für die vorgestellte Schaltung.

### 1.8.3 Phasenmessungen

Um zu ermitteln, ob Energie bezogen oder zurück ins Netz gespeist wird, benötigt man eine Phaseninformation für den gewünschten Leiter. Wenn Energie zurück in das Netz eingespeist wird, so dreht sich die Phasenlage des gemessenen Stroms in der entsprechenden Leitung um  $180^\circ$ . Aus dem Vergleich der gemessenen Strom-Phase in der Leitung, über die eine mögliche Rückspeisung erfolgt, mit einer Referenz-Phase kann man dann den gemessenen Strom mit  $-1$  oder mit  $+1$  multiplizieren, je nach Ergebnis der Phasenmessung. Danach addiert man vorzeichenrichtig die Ströme aller Leitungen und erhält als Ergebnis die aktuelle Strombilanz, bzw. Energiebilanz.

a) Referenzphase aus der Strommessung einer anderen Leitung ermitteln

Wenn man den bezogenen Strom in allen drei 3 Phasen L1, L2 und L3 in der Haupteinspeisung misst, so lässt sich durch einen Phasenvergleich zwischen zwei Sensoren bereits der Phasenwinkel messen. Bei reinen Wirkstromlasten (ohmsche Lasten) beträgt der Phasenwinkel dabei im Drehstromnetz  $120^\circ$  oder  $240^\circ$ , je nachdem, welche zwei Leitungen man erwircht hat. Kehrt sich nun in einer dieser beiden Leitungen die Stromrichtung um (Phase  $+180^\circ$ ), so „kippt“ der Phasenwinkel auf  $300^\circ$  bzw.  $60^\circ$  ( $240^\circ+180^\circ-360^\circ$ ). Den gleichen Effekt erreicht man, wenn man einen Stromsensor „andersherum“ um den Leiter legt. Theoretisch ist diese Variante zur Messung optimal, da man sowieso die Ströme in den 3 Hauptleitungen misst. Der Nachteil: Die Blindströme in den Leitungen dürfen die Phasenmessung um maximal  $\pm 30^\circ$  beeinflussen, da der gemessene Phasenabstand z. B. zwischen  $60^\circ$  und  $120^\circ$  nur  $60^\circ$  beträgt. Bei geringen Lasten kann aber der Motor einer Tiefkühltruhe bereits  $40^\circ$  Abweichung erzeugen! So ist diese Variante nur für Leistungen  $> 250 \text{ VA}$  und wenig Induktivitäten sowohl in der zu messenden Leitung, als auch in der Referenzleitung praktisch einsetzbar.

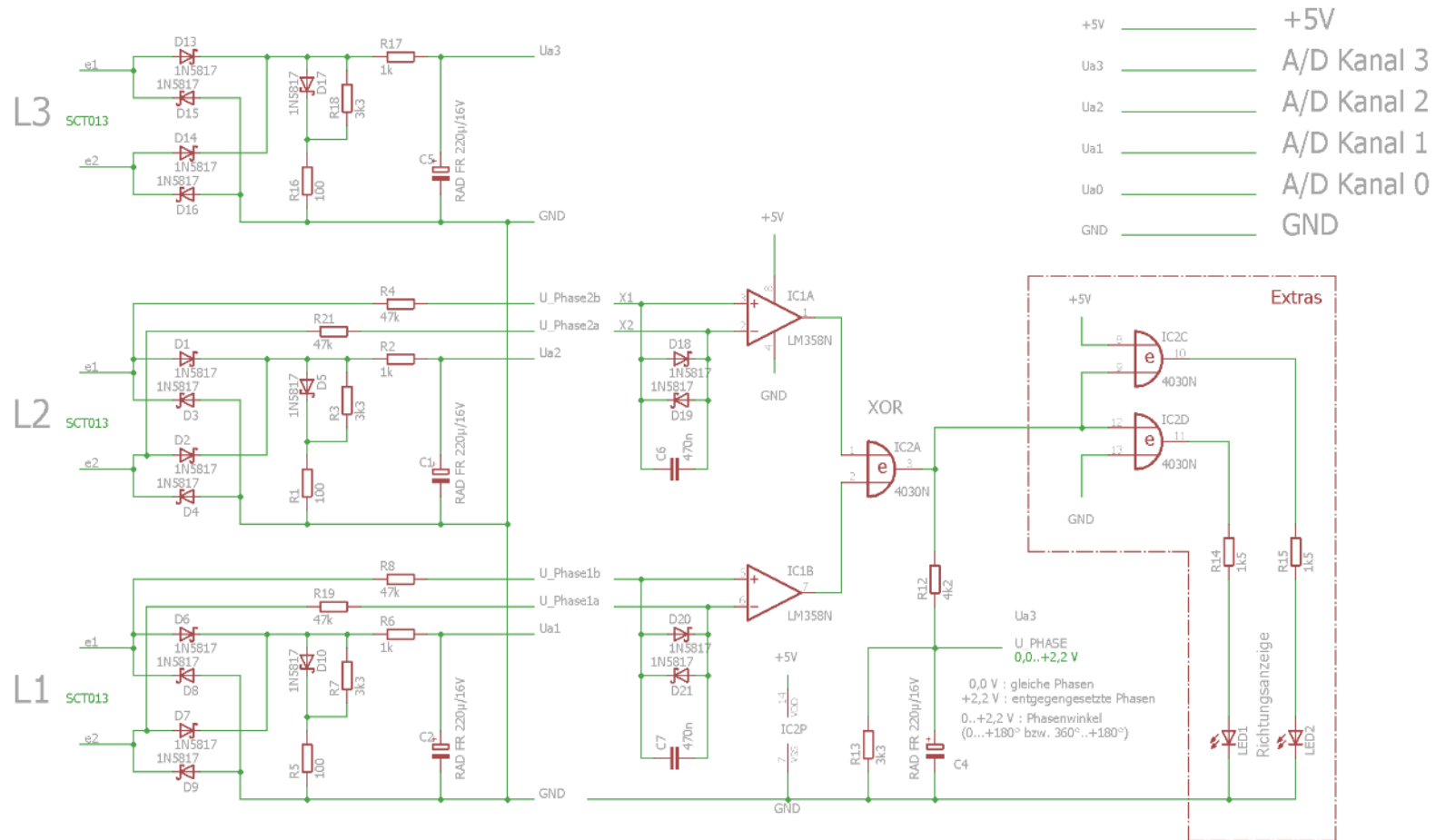


b) Referenzphase aus der Spannungsmessung der gleichen Leitung ermitteln

Vergleicht man die Phase des gemessenen Stromes mit der dazugehörigen Spannung, so beträgt sie bei ohmschen Lasten  $0^\circ$  oder  $180^\circ$ . Eventuelle Blindströme verschieben natürlich auch hier die Phase. Aber nur bei der Strommessung! Somit können Phasendifferenzen von  $\pm 90^\circ$  noch sicher der Stromrichtung zugeordnet werden. Außerdem kann man die Phasenmessung zur Korrektur in die Leistungsmessung mit einfließen lassen. Der entscheidende Nachteil: Es muss eine zusätzliche Spannungsmessung mit (Potenzialtrennung!!) stattfinden. Im einfachsten Fall reicht aber ein kleiner Optokoppler aus, da nur die Phasenlage ermittelt werden muss, nicht aber die Höhe der Spannung.

#### **Praktische Umsetzung:**

Es wird neben den Strömen in L1/L2/L3 auch die Phasenverschiebung zwischen L1 und L2 gemessen und an 4 analoge Eingänge (Interface „Mini“) übergeben (Schaltung nächste Seite). Der Phasenvergleich selbst erfolgt in Echtzeit per OPV und einem Exklusiv-ODER mit nachfolgender analoger Glättung. Die antiparallelen Dioden und die Kondensatoren an den Eingängen der OPVs glätten die in der Praxis auftretenden impulsartigen Blindströme, insbesondere von Schaltnetzteilen. Sie verschieben zwar dabei zusätzlich die Phase, die aber einheitlich in beiden Kanälen, sodass dieser Effekt nicht weiter berücksichtigt werden muss. Erzeugen die Stromsensoren an L1 und L2 Wechselspannungen mit überwiegend entgegengesetzter Phasenlage, so liegt am Ausgang U\_Phase eine Gleichspannung von  $> 1,1 \text{ V}$  an, fließt der Strom dagegen jeweils überwiegend in die gleiche Richtung, so beträgt die Spannung  $< 1,1 \text{ V}$ . Die Spannung ist proportional der gemessenen Phasendifferenz im Bereich  $0\dots+180^\circ$ .

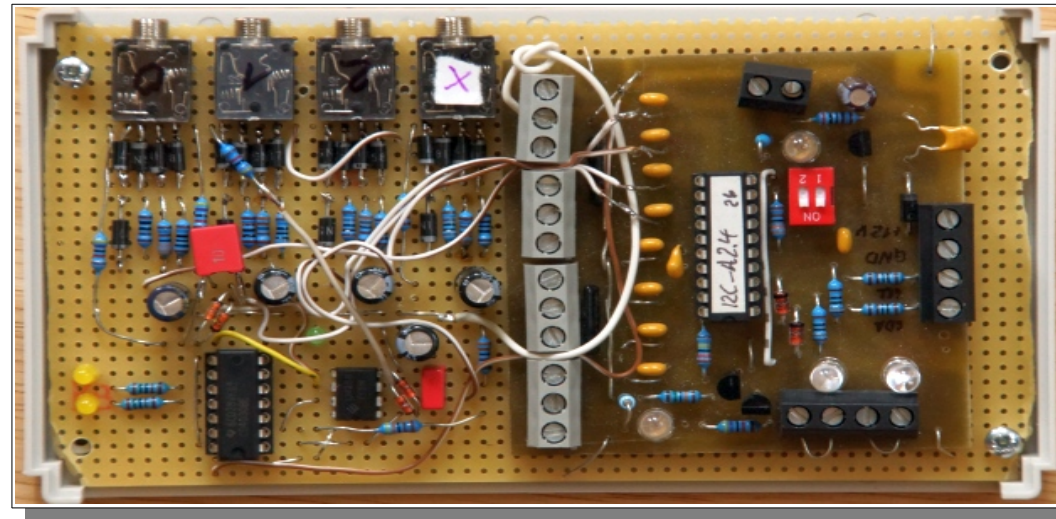


Als „Extra“ gibt es noch eine optische Anzeige für die Phasenlage, die auf die nicht genutzten Gatter von IC2 zugreift. Der Aufbau ist unkritisch, es reichen +5V für die OPVs und es muss nichts kalibriert werden. Die Initialisierung und Nutzung im Programm erfolgt folgendermaßen:

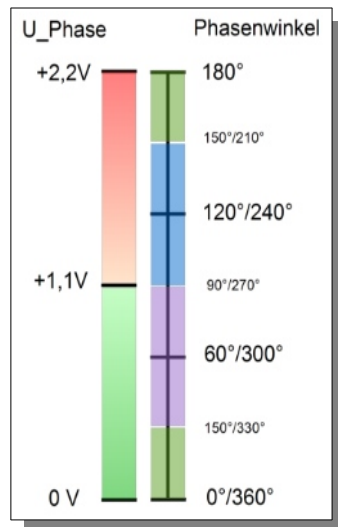
```
SensorAt26=Iph ° 13 0 0 0 180 836 /Analogkanal Interface „mini“ Adr1 Kan3: Phase zwischen L1 und L2
z=543 78 Phase_L12 1 3 0 /Phasendifferenz L1/L2 in [°] in SPS bereitstellen
```



Hier noch die praktische Umsetzung im Prototypen für 4 Strommesskanäle und einem Phasendetektor zusammen mit dem Interface „Mini“ auf einer Lochrasterplatine:

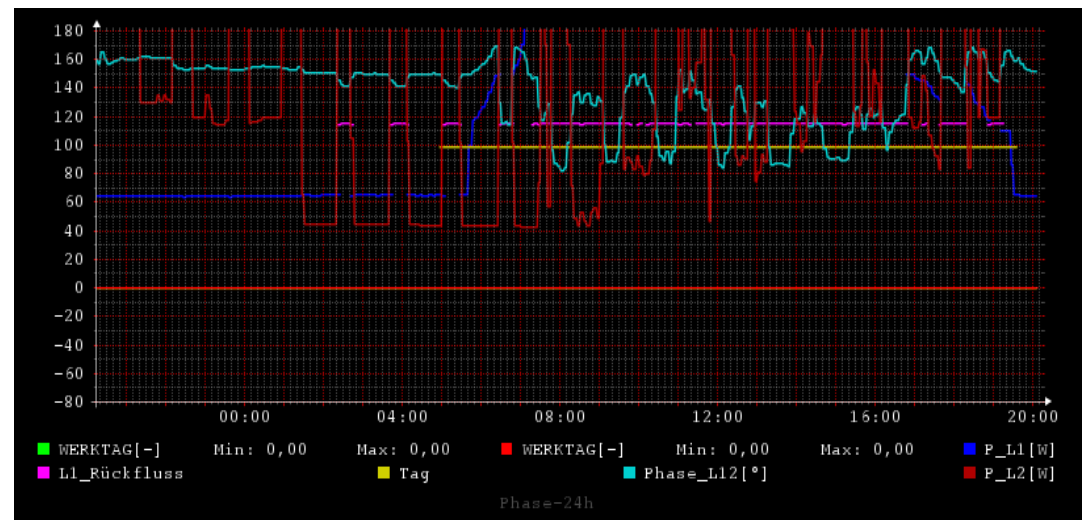


Auswertung der gemessenen Phaseninformationen über die Gleichspannung  $U_{Phase}$ :



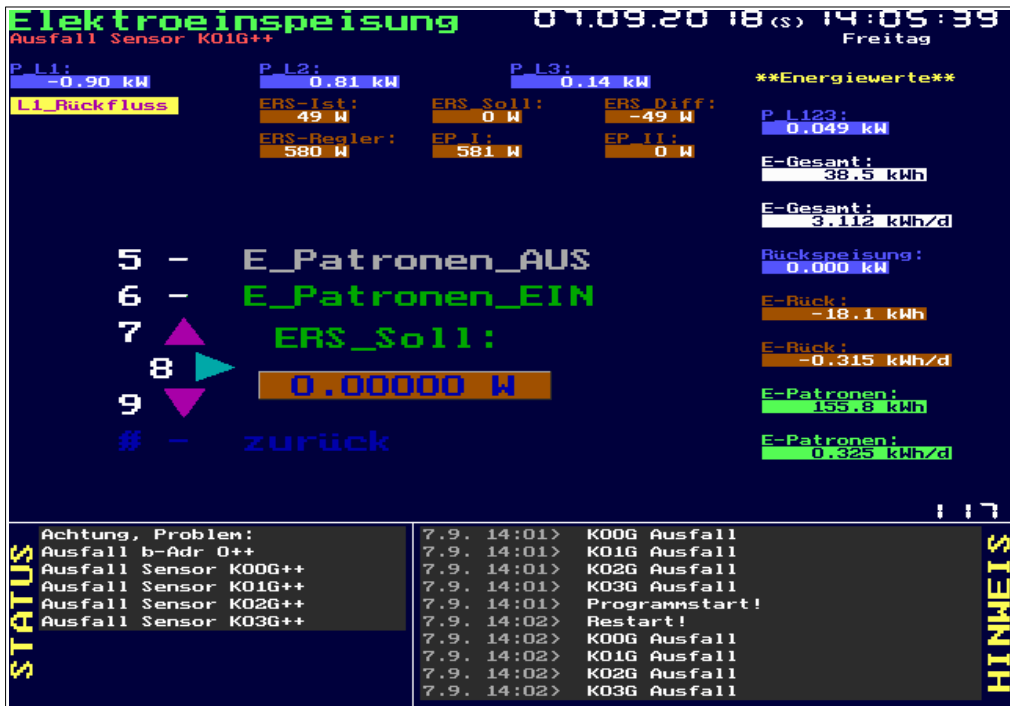
Links: Zusammenhang zwischen der Gleichspannung  $U_{Phase}$  und der Phasendifferenz.

Rechts: Reale 24 Stunden-Grafik mit Phasendifferenz (hellblaue Linie) zwischen einer solaren Rückspeiseleitung im Vergleich zu einer anderen Hauptleitung in einem EFH. Die Detektion, ob eine Rückspeisung stattfindet, oder nicht, erfolgte im Phasenfenster  $120^\circ \pm 30^\circ$ . Zahlreiche Fehldetektierungen wurden bei Leistungen  $< 250 \text{ VA}$  festgestellt.









Mit den Menütasten 5-9 lässt sich die Steuerung ein- und ausschalten, sowie der Sollwert für die Elektro-Gesamtbilanz vorgeben.

Die 3 blauen Felder in der ersten Zeile stehen für die Energieeinspeisung in den 3 „Phasen“ des Hauses, wobei das negative L1 von Rückspeisung durch die Solaranlage, also von „Sonnenschein“ zeugt. Die Werte darunter repräsentieren die charakteristischen Eingangs- und Ausgangswerte des Reglers.

Im rechten Bereich (Energiewerte) sind neben der Gesamtbilanz auch die (nicht vergüteten) Rückspeisungen, sowie die Energiemenge für die E-Patronen jeweils als Gesamtwert und als Tageswert gelistet.

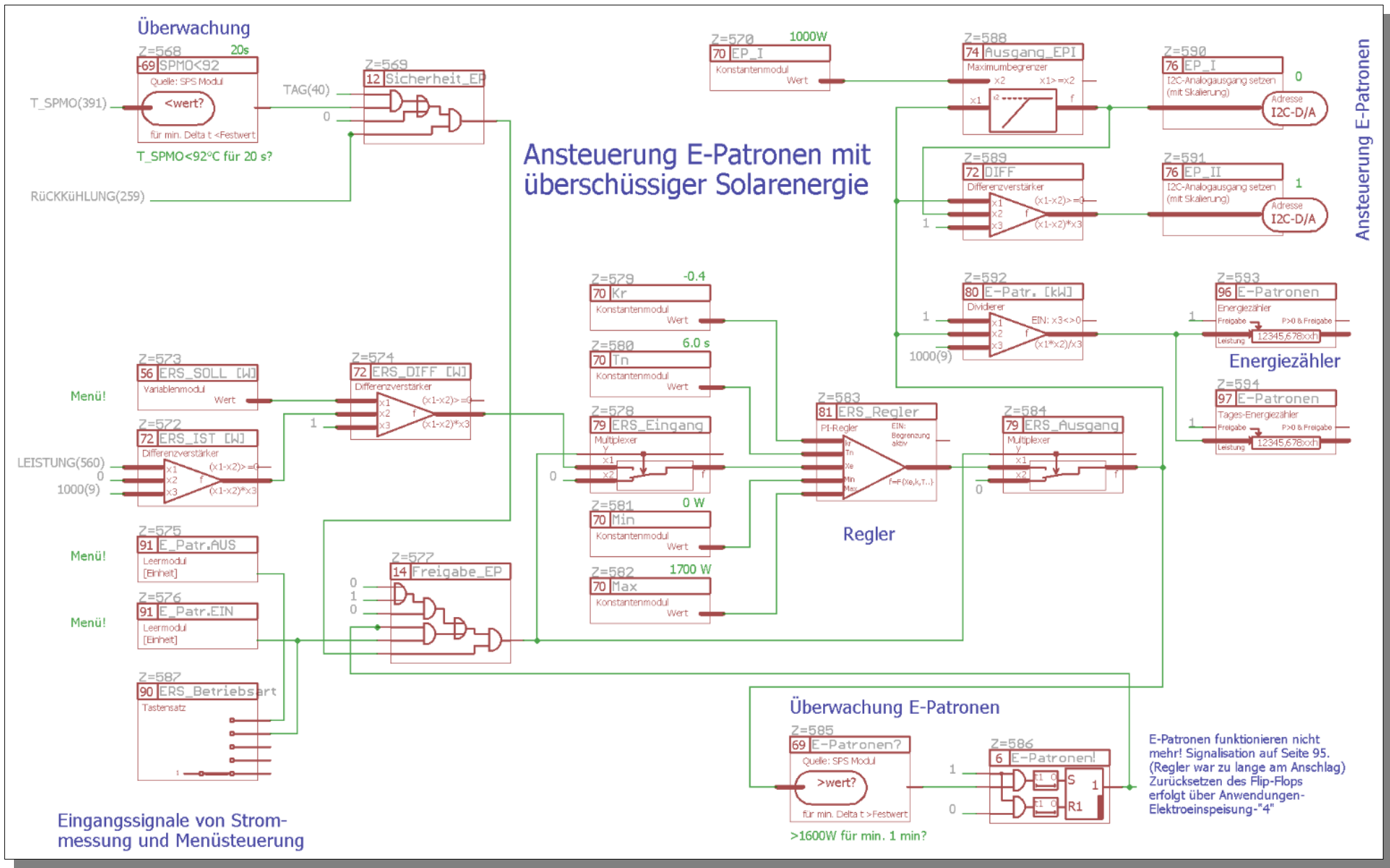
Selbstverständlich kann man die Werte auch in die EDBs einpflegen und so automatisch Tages-/Wochen-/Monats- und Jahresübersichten zeichnen lassen.

Bei der Umsetzung in ein eigenes Projekt ist zu beachten, dass der verwendete PI-Regler eventuell angepasst werden muss: je nach Anzahl der analogen Kanäle im Projekt kann der Abfragezyklus auf dem Hausbus auch länger dauern – die Nachstellzeit  $T_n$  des Reglers ist dann ggf. zu vergrößern, um ein Überschwingen zu verringern. Die Konstanten für den Regler (Prototyp) sind:

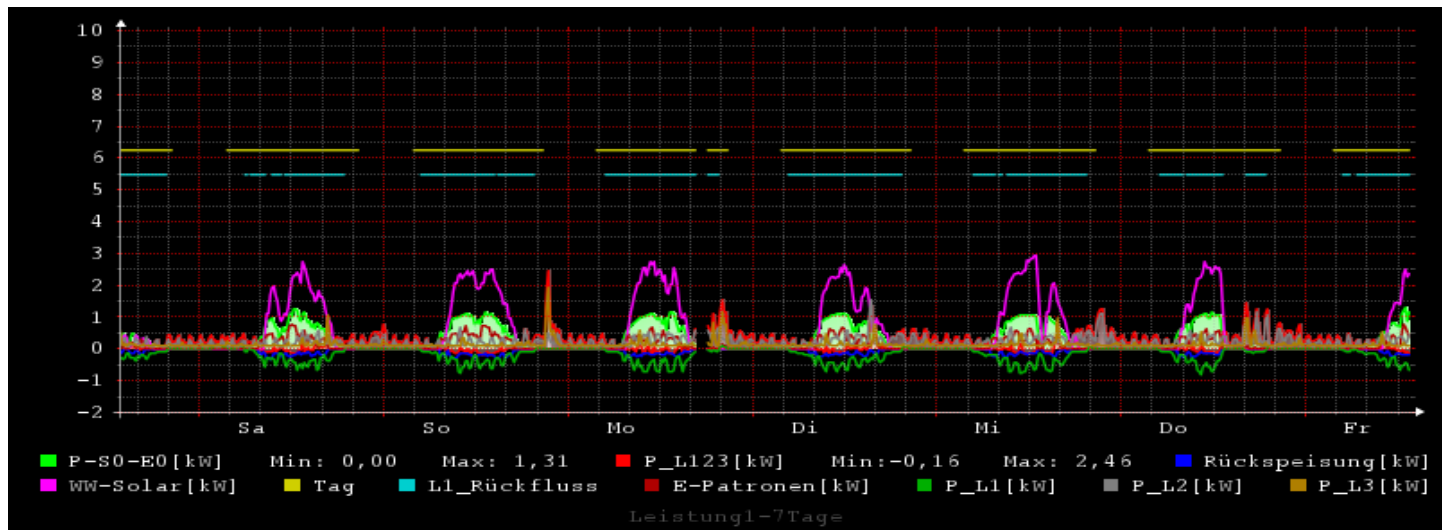
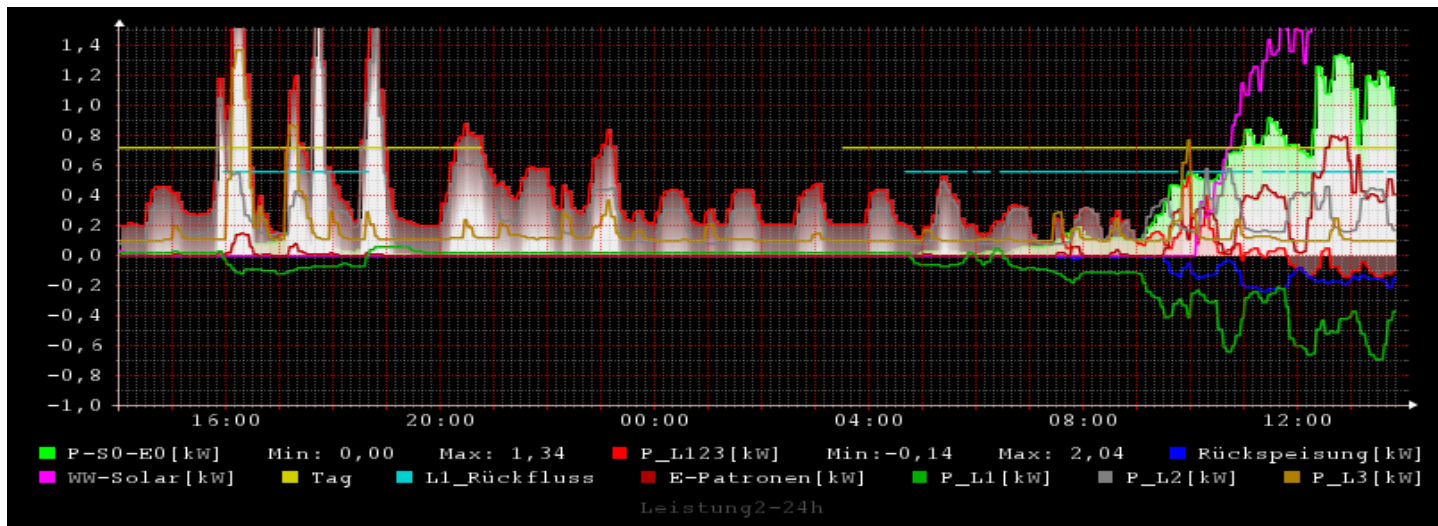
			$z=579$	$70$	$Kr$	-	$-0.1$
<b>/Verstärkungsfaktor ERS-Regler (-0.1 .. -0.3)</b>							
$z=580$	$70$	$T_n$	$s$	$1.5$	<b>/Nachlaufzeit ERS-Regler (1.0 .. 20.0)</b>		
$z=581$	$70$	$Min$	$W$	$-300$	<b>/minimales Ausgangssignal ERS-Regler</b>		
$z=582$	$70$	$Max$	$W$	$2000$	<b>/maximales Ausgangssignal ERS-Regler</b>		

In der Praxis stellt man am Ende den Sollwert auf etwas weniger als 0 W ein (beim Prototyp -150 W) – ein Kompromiss zwischen „nicht zu viel verschenken“ und „offizieller Zähler zählt geringfügig Rückspeisung auch bei Lastwechseln“. Beim Prototypen konnten so 88 % der „übrigen“ Solarenergie in den Pufferspeicher umgelenkt werden, nur 12 % gingen als Rückspeisung kostenlos in das Netz. Das geht natürlich nur bei maximalem Sonnenschein.

Auf der nächsten Seite sieht man die schematische Ansteuerung der E-Patronen. Ausgehend vom SPS-Modul 560, das die Gesamtleistung am Einspeisepunkt liefert, (negative Werte bedeuten Rückspeisung) wird in Abhängigkeit von Menüeinstellungen der PI-Regler (583) angesteuert. Dessen Ausgang dient der Ermittlung der Leistungswerte für die beiden E-Patronen von jeweils max. 1000 W. Am Ausgang sind auch zwei Energiezähler verbaut (Gesamt- und Tagesertrag) und es gibt ein Überwachungsmodul, falls die thermische Sicherung anspricht (585, 586). Modul 569 (links oben) gibt das Ganze nur am Tag und nur dann frei, wenn die Temperatur im Pufferspeicher oberhalb der E-Patronen  $<94$  °C ist (in der Beispiel-*ini* deaktiviert). Um das Abfrageintervall der Stromsensoren zu verringern, bietet sich zusätzlich der Scriptbefehl „Vorrang01=1“ in der *Hauscomp.ini* an.



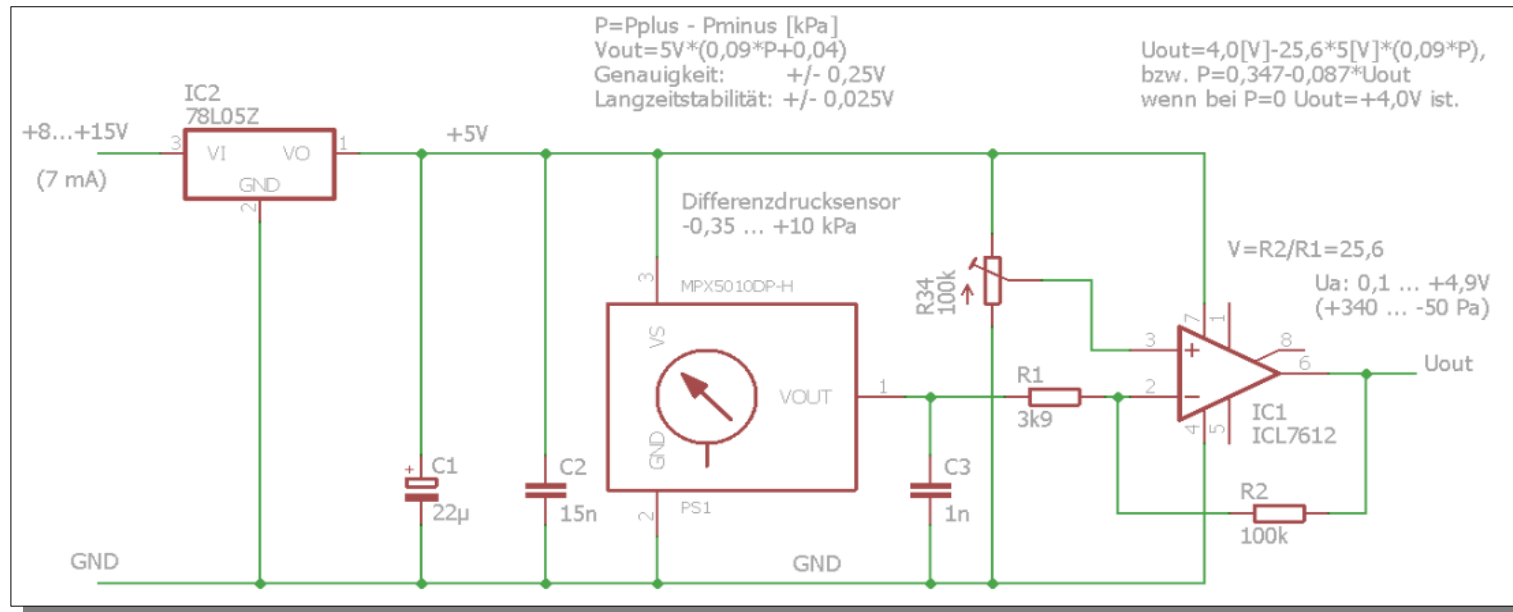
Läuft alles zufriedenstellend, kann man auch die EDB-Datenbanken mit einbeziehen und sich verschiedene automatische Grafiken organisieren:



## 1.9 Ein hochauflösender Differenzdrucksensor

### 1.9.1 Die Schaltung

Für die Auslegung von Lüftungsanlagen gibt es eine Reihe von theoretischen und praktischen Hilfsmitteln. Allerdings sind die Messungen des Luftdurchsatzes (oder auch des Massendurchsatzes) in einer konkreten raumlufthechnischen (RLT) Anlage nicht ganz einfach. Eine preiswert umzusetzende Möglichkeit ist, an einem Bauteil der Anlage, dessen Luft-Widerstands-Wert bekannt ist, den statischen Luftdruck vor und nach dem Bauteil zu messen und die Differenz zu ermitteln. Anhand des Widerstandswertes ergibt sich der Luftdurchsatz. Ursprüngliches Ziel war es, an einem Lüfter (mit bekanntem Druckdiagramm bei maximaler Leistung) den Luftdurchsatz bei verschiedenen Leistungsstufen zu messen. So entstand diese Schaltung:

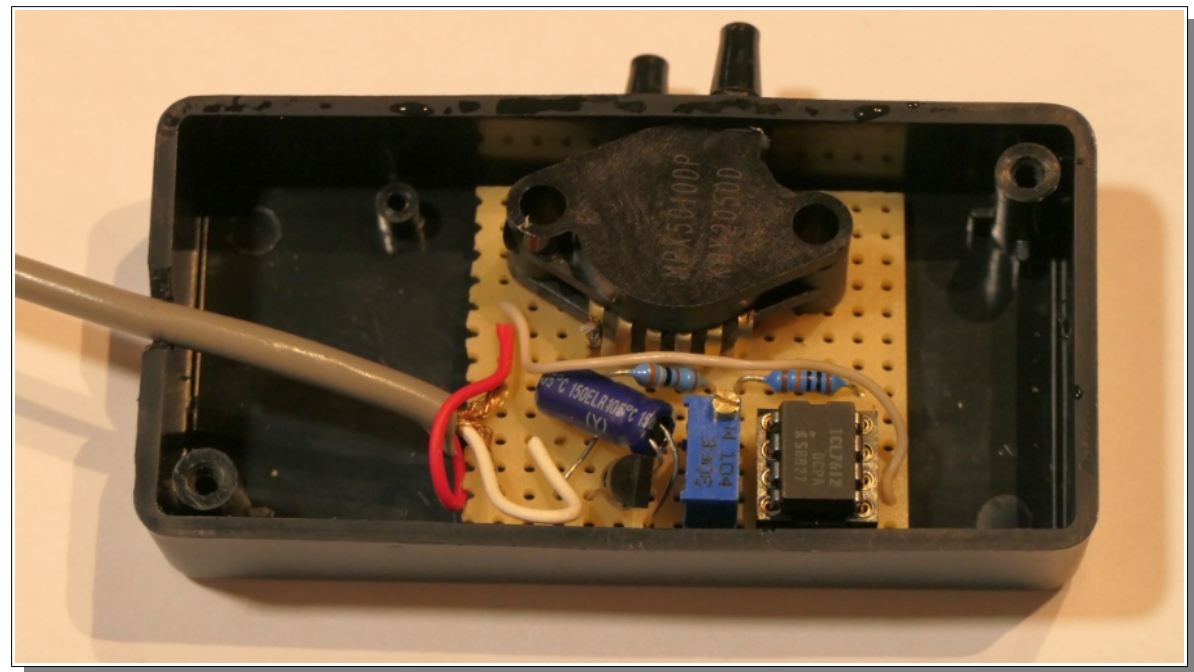
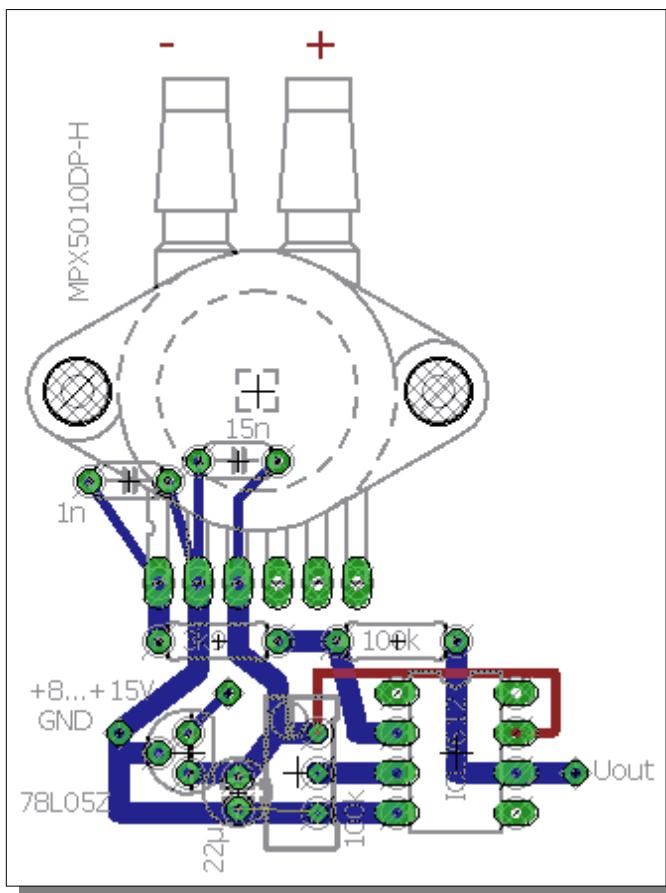


Ein qualitativ hochwertiger fertiger Differenz-Drucksensor von Freescale Semiconductor mit einem Messbereich von 0 ... 10kPa ( $\hat{=}$  0,1 Bar bzw. 1 m Wassersäule) misst den Differenz(Luft-)druck. Aus diesem bereits relativ kleinen Messbereich soll darüber hinaus nur ein Bereich von maximal 0,35 kPa ( $\hat{=}$  350 Pa), also nur 3,5 % des möglichen maximalen Messbereichs des MPX5010DP (Reichelt: 13,95 € 2021) auch möglichst genau genutzt werden. Das ist technisch relativ anspruchsvoll und nicht so ohne weiteres umsetzbar. Ein Spannungsmessgerät mit kalibrierter Genauigkeit von mindestens 0,5 % wird benötigt. Zwei Prämissen sind Voraussetzung: zum einen ist eine Korrektur des Nullpunktes erforderlich, zum anderen müssen die Sensordaten mit einer zuverlässigen Vergleichsgröße verglichen und entsprechend skaliert (kalibriert) werden. Die Ausgangsspannung des Sensors ist stark von der Stromversorgung (5V) abhängig. Daher ist dem Drucksensor ein eigener Spannungstabilisator (78L05) zugeordnet. Außerdem verändert die Lage des

Sensors im Gravitationsfeld den Nullpunkt – bis zu 15 mV Spannungs-Differenz am Sensorausgang sind möglich, das entspräche einer Abweichung von 34 Pa. Der Sensor ist demzufolge später immer in der Lage zu nutzen, wie die Kalibrierung erfolgte. Ursache ist das Messprinzip im Inneren des Sensors: es wird die Auslenkung einer mechanischen Membran gemessen und die hat ein Eigengewicht, dass je nach Lage die Messung verfälscht. Es gibt auch eine Temperaturabhängigkeit und eine Langzeitdrift. Diese spielen aber nur beim Dauereinsatz eine Rolle. Die Schaltung selbst ist unkritisch: Ein OPV verstärkt das Sensorsignal auf das 25,6 fache. Per Trimmer (R34) wird der Druck-Nullpunkt am Ausgang auf 4,0 V eingestellt. Damit kann auch ein leichter Gegendruck gemessen werden.

### 1.9.2 Aufbau, Inbetriebnahme und Skalierung

Der Aufbau ist wenig anspruchsvoll – eine kleine Lochrasterplatte reicht völlig aus:



Drei Leitungen sind herausgeführt: GND, +12 V, Uout. Oben im Bild die beiden Druckanschlüsse für Schläuche mit ca. 4,3 mm Innendurchmesser. C2 und C3 sind im Bild nicht zu sehen, da sie auf der Rückseite der Leiterplatte aufgelötet wurden.

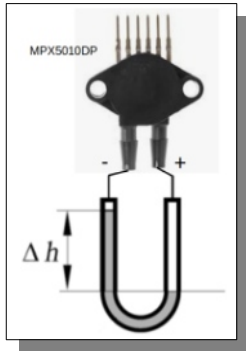
Das Schaltungsprinzip beruht auf den im Abschnitt 1.7. beschriebenen Formeln. Am Ausgang des OPVs ergibt sich eine Spannung in Abhängigkeit des Differenzdruckes beider Eingänge:



$$U_{out} = U_{Null} - \frac{R2}{R1} \cdot U_5 \cdot 0,09 \cdot (P_{plus} - P_{minus}) = U_{Null} - \frac{R2}{R1} \cdot k \cdot \Delta P$$

. Da der Nullpunkt per Trimmer einmalig korrigiert wird, ist nun nur noch eine

Vergleichsmessung mit einer bekannten Druckdifferenz nötig, um k möglichst präzise zu ermitteln. Allerdings gibt es ein Problem: Für den vollen Druckbereich am Ausgang des OPV steht nur ein Messbereich von h=35 mm mit dem Wasserschlauch zur Verfügung, das ist etwas zu wenig. Daher ist nun nicht die Spannung am Ausgang des OPV relevant, sondern die Ausgangsspannung am Drucksensor. Der OPV wird erst danach eingerechnet. Zur Messung wird ein zur Hälfte mit Wasser gefüllter durchsichtiger Schlauch (ca. 1,5 m) vorsichtig an die beiden Eingänge des Sensors gestöpselt:



Nun wird zunächst der Schlauch so bewegt, dass beide Wasserpegel im Schlauch exakt gleiches Niveau haben (und kein Wasser in den Sensor gelangt!). Die Ausgangsspannung am Sensor wird in etwa der Spannung ohne Schlauch entsprechen, sie wird notiert. Notfalls trennt man nochmal einen Schlauch kurz ab. Dann hebt man den Schlauch an der (Druck-negativen) Seite so an, so dass ein Höhenunterschied  $\Delta h$  von 30...90 cm entsteht. Wieder werden die Sensorspannung und beide Höhen notiert. Da eine Differenzhöhe  $\Delta h$  von 1 mm ungefähr 9,8 Pa entsprechen, kann man nun k ermitteln:

$$k = \frac{\Delta U_{Sens} [V] \cdot 1000}{\Delta h [mm] \cdot 9,8 [Pa/mm]} \left[ \frac{V}{kPa} \right]$$

Bei mir ergab sich  $k=0,445 \text{ V/kPa}$ , was mit  $0,445/U_5=0,0883 \text{ 1/kPa}$  fast dem Hersteller-

koeffizient von „0,09 1/kPa“ entspricht. Als Spannung  $U_5$  wurden 5,041 V gemessen. Das Messverfahren funktioniert also.

Wenn R1 und R2 relativ genaue Metallschichtwiderstände sind (1%), so kann man letztendlich aus den Messwerten die Ausgangsspannung am OPV über die Verstärkung, bzw. das Verhältnis der beiden Widerstände errechnen (jeweils in [V]):

$$U_{out} = U_o - \frac{100k}{3,9k} \cdot 0,445 \cdot P [kPa] \rightarrow U_{out} = U_o - 11,41 \cdot P [kPa] \text{ bzw. } U_{out} = U_o - 0,01141 \cdot P [Pa]$$

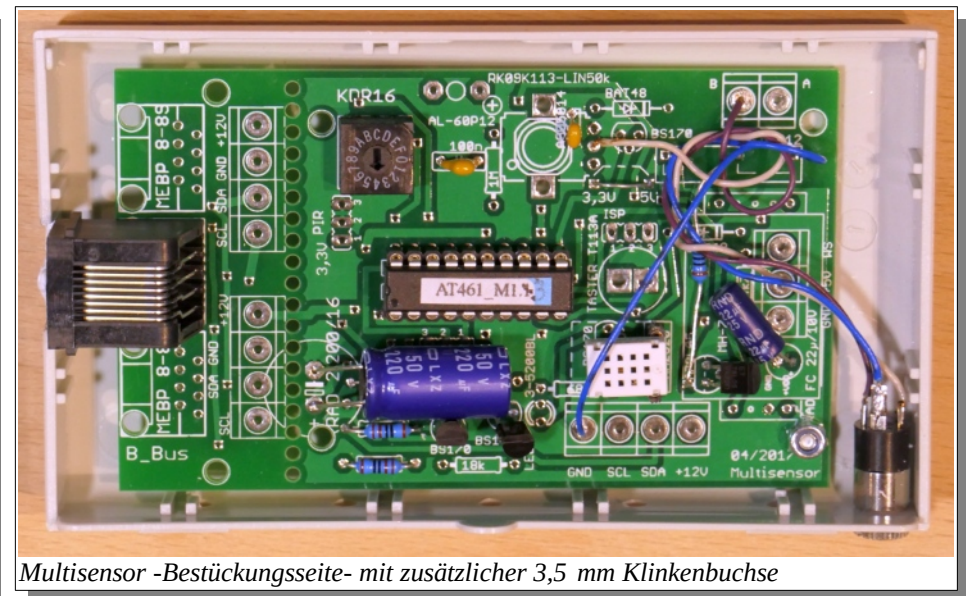
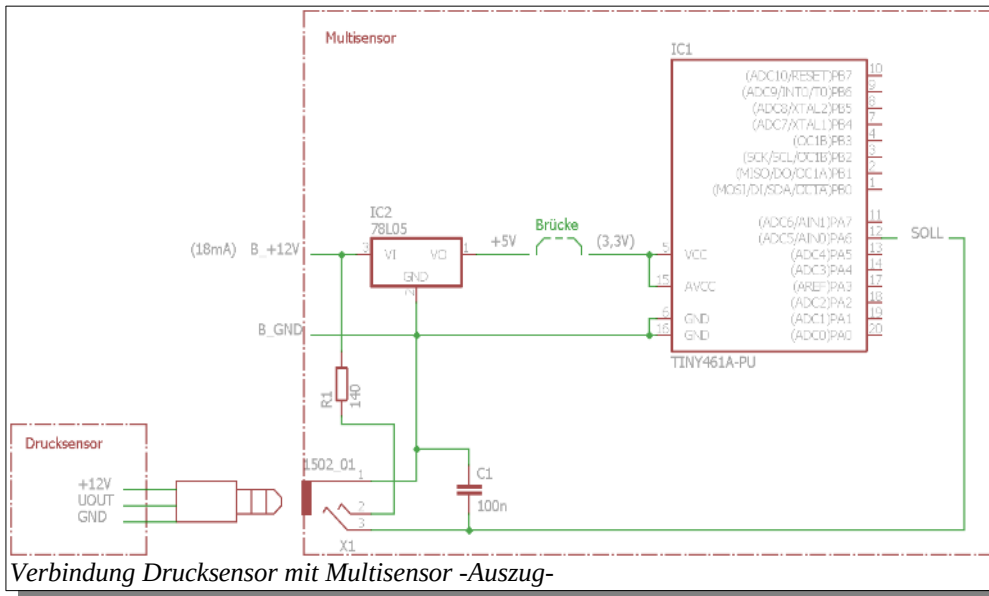
Somit beträgt der gemessene Druck für einen konkreten Sensor:  $P = \frac{U_o - U_{out}}{0,01141} [Pa]$  mit  $U_o = 3,923 \text{ V}$  (gemessen ohne Schläuche). Damit ergibt sich ein

nutzbarer Messbereich von ca. -50 ... +340 Pa. Die Genauigkeit liegt im einstelligen Prozentbereich, der Nullpunkt muss aber relativ präzise bekannt sein. Will man einen größeren Druck-Bereich abdecken, so ist R1 entsprechend zu vergrößern und der Nullpunkt nachzustellen.

### 1.9.3 Anbindung an den Hauscomputer

Der Drucksensor wurde an einen Multisensor (Abschnitt 10 Hardware Band 0) angeschlossen und später zusammen mit ihm auf dem Dachboden platziert. Der Multisensor liefert die Stromversorgung und wandelt die Ausgangsspannung des Drucksensors in einen 8-Bit Digitalwert um. Nebenbei liefert er auch die Temperatur und relative Luftfeuchte über den Hausbus an den Hauscomputer. In diesem Beispiel erfolgt die Verbindung der beiden Schaltungen per 3 m langen Kabel mit 3,5 mm Klinkenstecker/Buchse. Um einen Kurzschluss beim Ziehen/Stecken in die Klinkenbuchse zu vermeiden, ist die +12V Stromversorgung über den Widerstand R1 angeschlossen. Die Ausgangsspannung des Drucksensors gelangt direkt an den Messeingang „SOLL“ (Pin 12 am

ATtiny461). Zusätzlich wurde noch ein Keramikkondensator 100 nF zur Stabilisierung wegen der langen Leitung eingefügt. Wichtig für den A/D-Wandler ist, dass die Brücke 5V/3,3V eingelötet wird, um den vollen Messbereich zu nutzen, da  $U_{VCC}$  als Referenzspannung in der Firmware eingestellt ist. Ein Bewegungsmelder ist dann allerdings auf dem Multisensor nicht mehr bestückbar.



Die Spannung am „SOLL“- Eingang wird nach folgender Formel gewandelt:  $Kode = \frac{256}{U_{VCC}} \cdot U_{SOLL}$  . Die Rückumwandlung in den gemessenen Druck

durch die SPS erfolgt dann folgendermaßen:  $P = \frac{Kode_0 - Kode_{aktuell}}{0,01141} \cdot \frac{U_{VCC}}{256} [Pa]$  . Nun werden  $U_{VCC}$ , sowie die beiden Konstanten zu einem Faktor zusammengefasst:  $P = (Kode_0 - Kode_{aktuell}) \cdot 1,7117 [Pa]$  - eine einfache Formel, wenn man denn richtig gerechnet hat. Sicher könnte man auch die ursprünglichen Messwerte in der SPS vorgeben und die SPS immer alles neu berechnen lassen. Daher hier nochmal die Zusammenfassung, woraus der

„Faktor 1,7117“ sich zusammensetzt:  $Faktor = \frac{\Delta h [mm] \cdot 9,8 [Pa/mm]}{\Delta U_{Sens} [V] \cdot 1000} \cdot \frac{R1 [Ohm]}{R2 [Ohm]} \cdot \frac{U_{VCC} [V]}{256 [Kode]} [Pa/Kode]$  .

Idealerweise (mit der Werkskalibrierung von Freescale) beträgt der Faktor = 1,693. Der Wert am realen Sensor weicht also vom Idealwert nur um ca. 1 % ab. Den Exkurs in den Bereich der Kalibrierung hätte ich mir also sparen können, wenn da nicht die wertvollen gewonnenen Erfahrungen wären – die

Nullpunktschwankungen blieben unentdeckt und es gibt nun die Sicherheit, dass der Sensor auch bei kleinen Differenzdrücken korrekte Daten liefert.

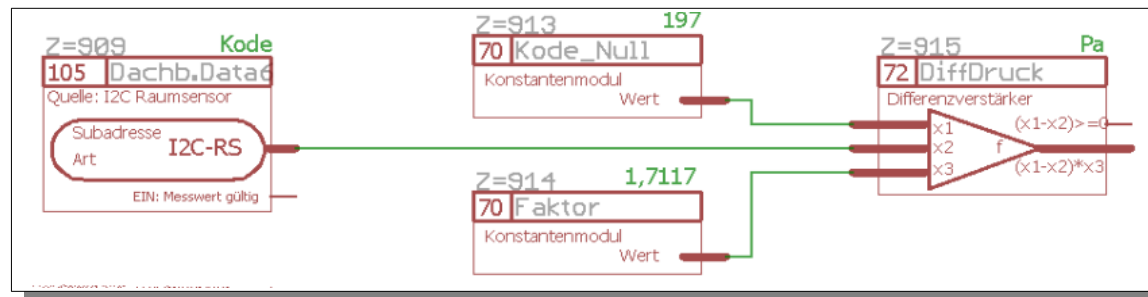
Ist die Schaltung fertig aufgebaut, schließt man sie an den Hauscomputer an, die Druckanschlüsse am Drucksensor bleiben zunächst offen. Der Raumsensor wird vom Hauscomputer selbstständig erkannt und unter der eingestellten Adresse angezeigt:

Die Temperatur und relative Luftfeuchte sollten auch stimmen. Als „Soll/WR/Helligkeit“ wird nun der Kodewert für den „Null“-Differenzdruck angezeigt. Er schwankt um einen Durchschnittswert. Dieser Mittelwert wird notiert und im nachfolgenden Schritt im SPS-Modul 913 eingetragen. Die Schwankungen betragen maximal  $\pm 5$  Kodewerte, wenn der Sensor nicht bewegt wird.



Nun kann man die SPS programmieren:

<b>Raumsensor=4</b>	<b>Dachboden</b>	<b>0.0</b>							<i>/Vorgabe Adresse/Namen/Temperaturkorrektur</i>
<b>z=909 105 Dachb._Data6</b>	<b>4</b>	<b>19</b>							<i>/Dachboden: Data6=Spannung an SOLL bzw. Differenzdrucksensor</i>
<b>z=910 105 Dachboden_T</b>	<b>4</b>	<b>1</b>							<i>/Temperatur Dachboden=Temperatur angesaugte Luft Lüftungsanlage</i>
<b>z=911 105 Dachboden_rF</b>	<b>4</b>	<b>4</b>							<i>/relative Feuchte Dachboden</i>
<b>z=912 105 Dachboden_aF</b>	<b>4</b>	<b>5</b>							<i>/absolute Feuchte Dachboden</i>
<b>z=913 70 Kode_Null</b>	<b>Kode</b>	<b>197</b>							<i>/Kodewert bei Differenzdruck=0</i>
<b>z=914 70 Faktor</b>	<b>-</b>	<b>1.7117</b>							<i>/Umrechnungsfaktor</i>
<b>z=915 72 DiffDruck</b>	<b>Pa</b>	<b>913</b>	<b>909</b>	<b>914</b>	<b>914</b>				<i>/Ermittlung Differenzdruck am Zuluft-Lüfter</i>





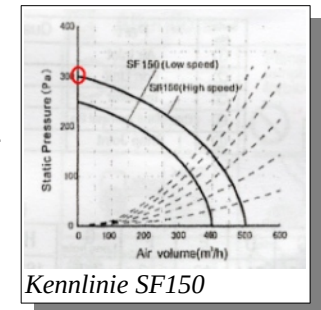
Nach dem Neustart (oder auch Restart oder automatisch um Mitternacht) des Hauscomputers liefert der SPS-Modul 915 dann den Differenzdruck in Pascal. Dieser Wert lässt sich natürlich auch anzeigen, beispielsweise auf der Anwendungsseite 116:

**Anzeige= 116 28 8 915 0 9 4 0 -100 +400 5 /Anzeige Differenzdruck Zuluft-Lüfter**



Die Genauigkeit der Druckanzeige liegt bei der gewählten Konfiguration mit R1 und R2 bei ca. ±15 Pascal, was für dieses Gerät ein ausgezeichneter Wert ist. Bei einem späteren (dauerhaften) Einbau des Sensors ist zu beachten, dass der Sensor oberhalb des zu messenden Objekts angebracht wird, damit eventuell entstehendes Kondensat nicht in den Sensor gelangt. Auch dürfen die Luftschläuche keine Knickstellen oder Verunreinigungen enthalten und sollten möglichst kurz sein. Die Luftschläuche müssen auch so angebracht werden, dass sie nur den statischen Druck und keinen Staudruck messen – also exakt senkrecht zur Luftströmung.

Mit dem Sensor wurde abschließend der maximale Druck eines Lüfters vom Typ Schiller SF150 gemessen. Dazu wurde die Druckseite des Lüfters mit einem Deckel verschlossen und der Drucksensor an beide Seiten des Lüfters angeschlossen. Die Messung ergab maximal 291 Pa – das entspricht fast genau der Herstellerangabe von etwa 300 Pa, wobei unklar ist, wie präzise der experimentelle Aufbau oder die Herstellerangaben war/sind.



### 1.9.4 Die Temperaturkompensation

Nach Fertigstellung des Druck- und Multisensors habe ich beide Baugruppen mit einem Kühllakku versehen und thermisch isoliert. Dadurch ergaben sich so nach einiger Zeit für den (Druck-) Nullpunkt in Abhängigkeit von der Temperatur zwei Wertepaare: bei 24,0 °C – 197 Kode und bei 5,5 °C – 186 Kode. Das ist ein deutlicher Temperatureinfluss, der vor allem auf den Sensor zurückzuführen ist. Laut Datenblatt führt der Temperaturfehler beim MPX5010 nur zu einer Verschiebung der Kennlinie, der Anstieg bleibt dagegen gleich. Da beide Baugruppen später auf einem ungedämmten Dachboden zum Einsatz kommen werden, sollte man diese Verschiebung berücksichtigen. Das ist verblüffend einfach – da die Temperatur bereits in SPS-Modul 910 bereitgestellt wird, muss lediglich SPS-Modul 913 (Vorgabe des Nullpunktes) durch ein Kennlinien-Modul ersetzt werden. Dabei setzt man die beiden Wertepaare als ganze Zahlen ein:

**/z=913 70 Kode\_Null Kode 197 /Kodewert bei Differenzdruck=0**  
**z=913 98 Kode\_Null Kode 910 24 197 5 186 /Nullpunkt mit Temperaturkompensation**

Fertig!

## 1.10 Spannungsmessung/Batterieüberwachung

Die Spannungsmessung per analogem Eingang ist relativ einfach. Über einen Spannungsteiler wird der analoge Eingang mit der Spannungsquelle verbunden (rechtes Bild). Je nach maximaler Eingangsspannung wird der Spannungsteiler dimensioniert, C1 dient der Pufferung für den folgenden A/D Wandler. Im Projekt Hauscomputer stehen folgende analoge Eingänge zur Verfügung:

- 0 ... +5 V am Multisensor ohne Bewegungsmelder (IC1, Pin 12)
- 0 ... +3,3 V am Multisensor mit Bewegungsmelder (IC1, Pin 12)
- 0 ... +2,5 V am „analogen Universalinterface“ und Interface „Mini“
- 0 ... +5 V an ICs PCF8591

Die Genauigkeit der Wandlung beträgt beim „analogen Universalinterface“ und Interface „Mini“ 10 Bit, bei den anderen jeweils 8 Bit.

Folgende Formel ist für die Dimensionierung entscheidend:  $U_a = U_e \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ , bzw. nach R1 umgestellt:  $R_1 = R_2 \cdot \left( \frac{U_{e\max}}{U_{a\max}} - 1 \right)$ .

Die Kalibrierung erfolgt beim PCF8591 über den Scriptbefehl „Sensor=“, bei den ATtinys über den „SensorAt26=“ Befehl und beim Raumsensor indirekt in der SPS über „Data6“ und einem Multiplizierer wie im Abschnitt 1.9.3 beschrieben.

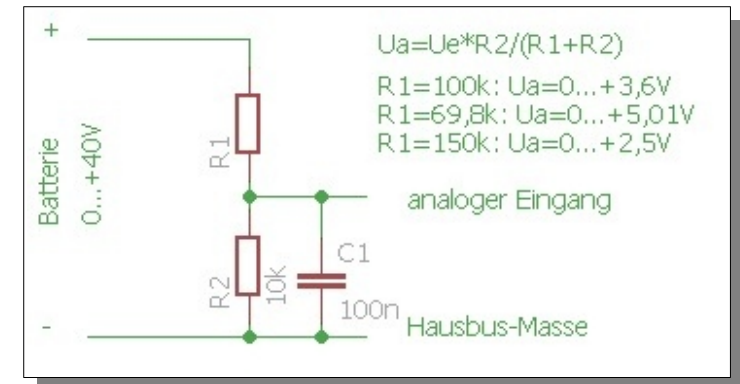
<b>Sensor=</b>	<b>Batterie V [Adr] [Kan]</b>	<b>0</b>	<b>0.0 0 40.0 255</b>	<b>/ R1=69,8k, Ue=0...+40V an PCF8591</b>
<b>SensorAt26=</b>	<b>Batterie V [Adr] [Kan]</b>	<b>0</b>	<b>0.0 0 40.0 255</b>	<b>/ R1=150k, Ue=0...+40V an Interface „Mini“</b>

Die Angabe „0“ nach dem Kanal organisiert die Abschaltung der Bereichsprüfung, damit beim Fehlen einer Spannung am Eingang keine Ausfallmeldung des Sensors generiert wird. Das zweite Wertepaar „40.0 255“ kann nach Inbetriebnahme auch mittels Messung präzisiert werden. Dazu ist eine Spannung nahe dem Maximalwert an R1 anzulegen und im laufenden Hauscomputer auf der Seite 182 (Funktionen/AD-Wandler) der zugehörige Kodewert abzulesen.

Beim Raumsensor findet man den Kodewert „Data6“ auf Seite 186 (Funktionen/Raumsensoren) in der Spalte „Soll WR/Helligkeit“. Die Umwandlung

dieses Kodewertes in die zu messende Spannung wird dann in der SPS mittels Formel  $U_{\text{mess}} = \text{Kode} \cdot \frac{U_{e\max}}{256}$  durchgeführt.

**Wichtiger Hinweis: Das zu messende Objekt darf keine weitere leitende Verbindung zur Masse/Erde haben, da es sonst zu Querströmen über die Hausbus-Masse kommen würde. Alternativ sind dann Instrumentenverstärker oder Potentialtrennung einzusetzen.**



## 2 Schaltmodule

Schaltmodule werden verwendet, um Aktoren wie z.B. Lampen, Rollladenmotoren oder elektrische Heizungen im Leistungskreis 230V zu schalten. Der Hauscomputer dient dabei als Signalquelle und die Schaltmodule realisieren die entsprechende Leistungsverstärkung und Potenzialtrennung. Es gibt dabei zwei Typen von Leistungsschaltern: mechanische Relais und Halbleiterrelais. Die Vorteile der Halbleiterrelais liegen in ihrer hohen Zuverlässigkeit und der geringeren EMV Belastung des Umfeldes. Nachteilig ist neben dem höheren Preis die Tatsache, dass Halbleiter niemals vollständig sperren können. Der, wenn auch geringe, Leckstrom verhindert den Einsatz dieser Relais zum Schalten von Neon-Röhren – sie gehen nie ganz aus.

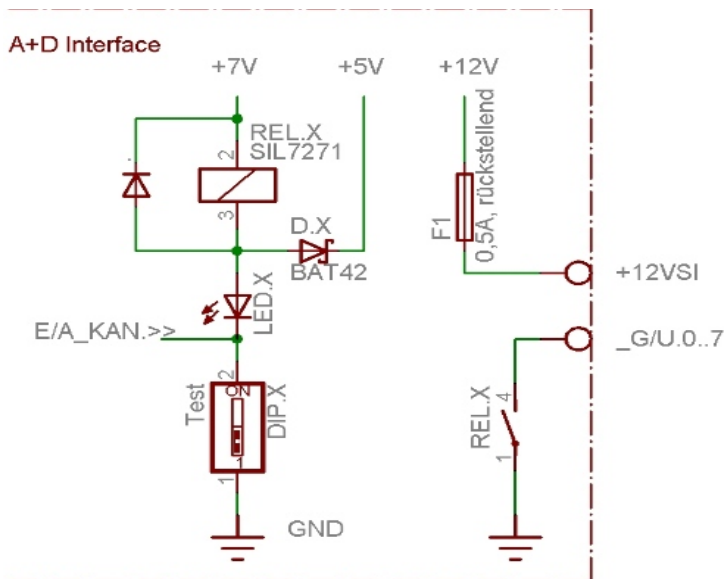
Läuft alles zufriedenstellend, kann man auch die EDB-Datenbanken mit einbeziehen und sich verschiedene automatische Grafiken organisieren:

### 2.1 Ansteuerung der Schaltmodule

Der Hauscomputer besitzt zwei Möglichkeiten zur Ansteuerung von Schaltmodulen: zum Einen die Verwendung eines digitalen Ein-/ Ausganges (z.B. am A+D Interface), zum Anderen die zweckentfremdete Nutzung eines der 8 maximal möglichen Digital-/ Analogausgänge.

Im Normalfall schaltet ein SPS- Modul im Programm einen als Ausgang verwendeten Kanal eines der beiden PCF8574 auf dem A+D Interface.

Über den entsprechenden Kanal wird ein Relais (Rel.X) angesteuert. Ein Schaltkontakt des Relais verbindet den Hauscomputer mit externen Schaltmodulen und erlaubt eine einfache Potenzial- und Systemtrennung. Die Relaiskontakte können bis zu 1 A belastet werden. Werden an diese Kontakte induktive Lasten angeschlossen (z.B. Relais) ist unbedingt eine Freilaufdiode parallel zur Last vorzusehen!



Der Schaltzustand eines Kanals kann über den zugehörigen DIP Schalter auf der Platine getestet und mit der entsprechenden LED überwacht werden.

Die Maximalbelastung des Spannungsausganges +12VSI beträgt in der Normalbestückung mit einer selbstzurückstellenden Polyswitch Sicherung 0,5A, kann aber selbstverständlich an eigene Bedingungen angepasst werden.

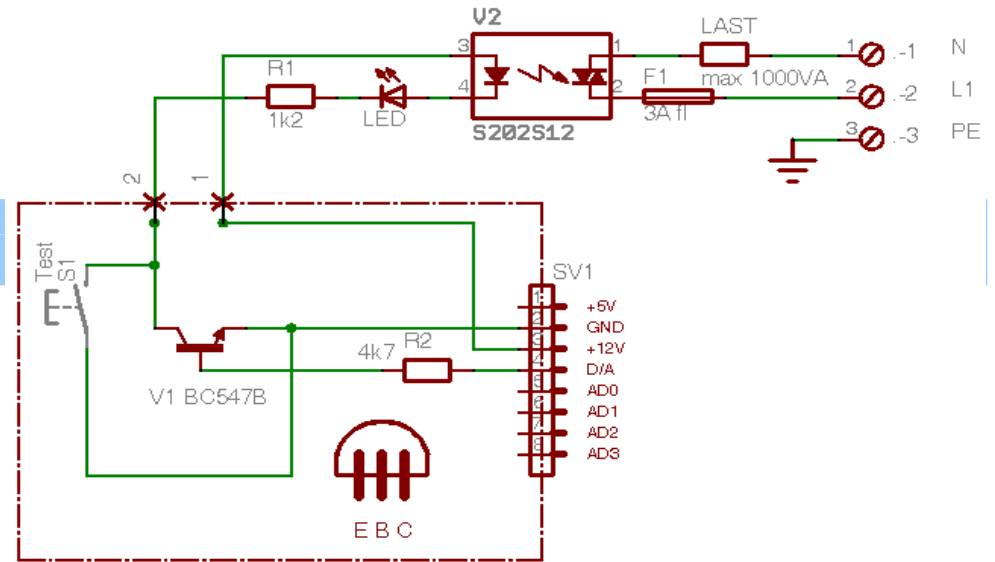
An den Schaltausgang kann man problemlos bereits fertig aufgebaute kommerzielle Schalter anschließen: Das SIL Koppelrelais FIN 38.51.12V (7,45€ bei REICHELT) ist für Hutschienenmontage gedacht, kann Lasten bis zu 1250 VA schalten, besitzt bereits eine Status-LED und ist nur 6,2 mm breit.

Die zweite Möglichkeit der Anbindung eines Schaltmoduls an den Hauscomputer zeigt nebenstehendes Bild. Das Signal des Digital-/ Analog-Wandelehranges des PCF8591 wird über einen Schalttransistor verstärkt und zur Ansteuerung eines Schaltmoduls verwendet.

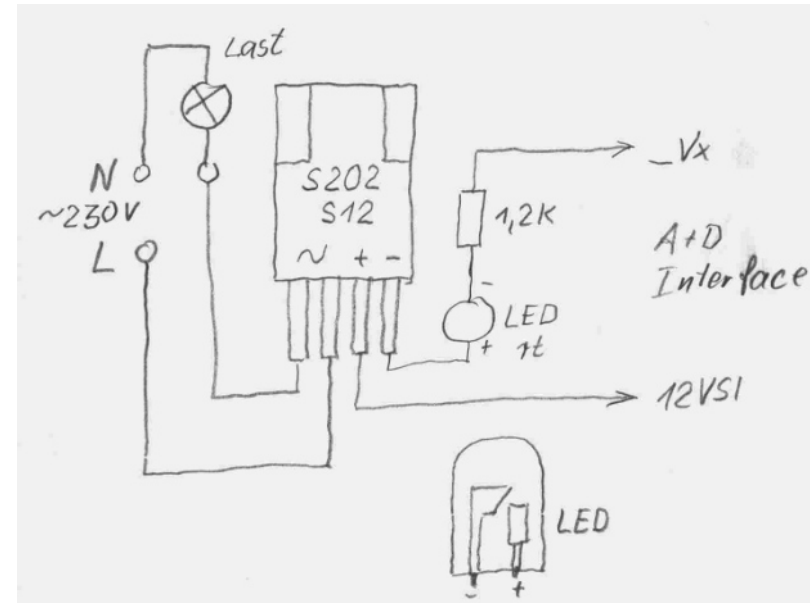
In der Hauscomp.ini sind dazu z.B. folgende Eintragungen notwendig:

```

Analog=Zirkulation E/A 3 90 0 0 0 1 255 /Initialisierung
z=86 33 Z_Pumpe 84 84 -15 3 /Zirkulationspumpe ansteuern
    
```



## 2.2 Ein einfaches Schaltmodul mit Halbleiterrelais

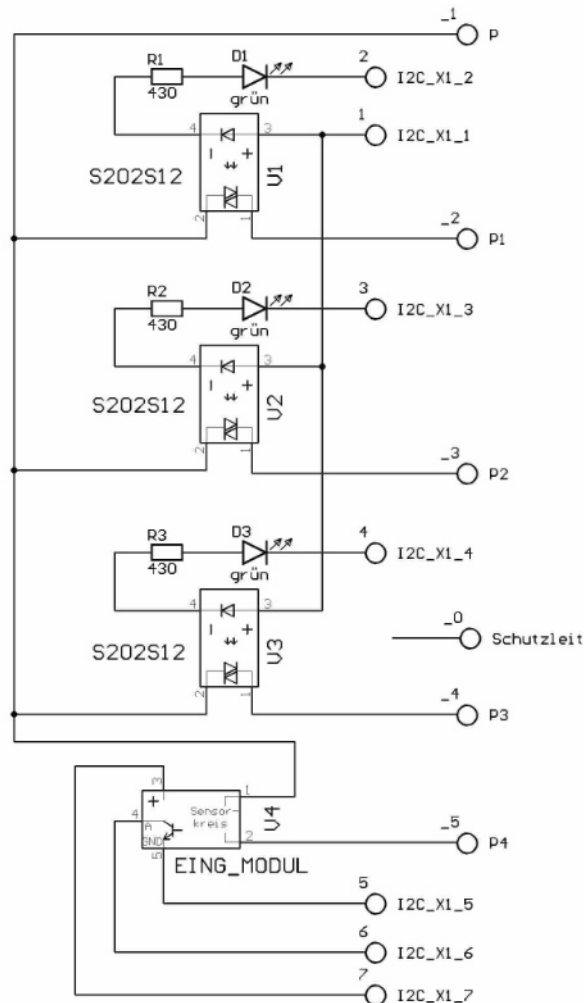


## 2.3 Schaltmodul für Hutschiene

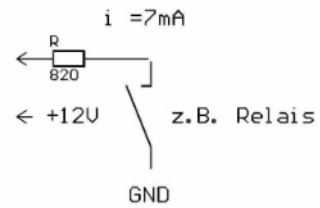
### 240V-Teil1

~/H\_POWER .SCH/ 1/1

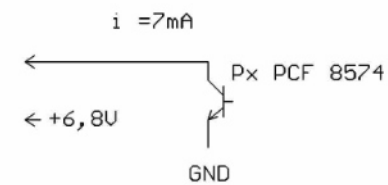
Erstellt: 4.06.2004 12:29:40 BE1



indirekte Ansteuerung



direkte Ansteuerung



Solid State Relais (U1-U3):

S202S12 (8A, Nullsp., RC) Reichelt 8,65

$P_{\text{max}}$  Lampen  $\sim$  1000W

Hutschienen Leergehäuse CONRAD EL. 541206-22 7,26

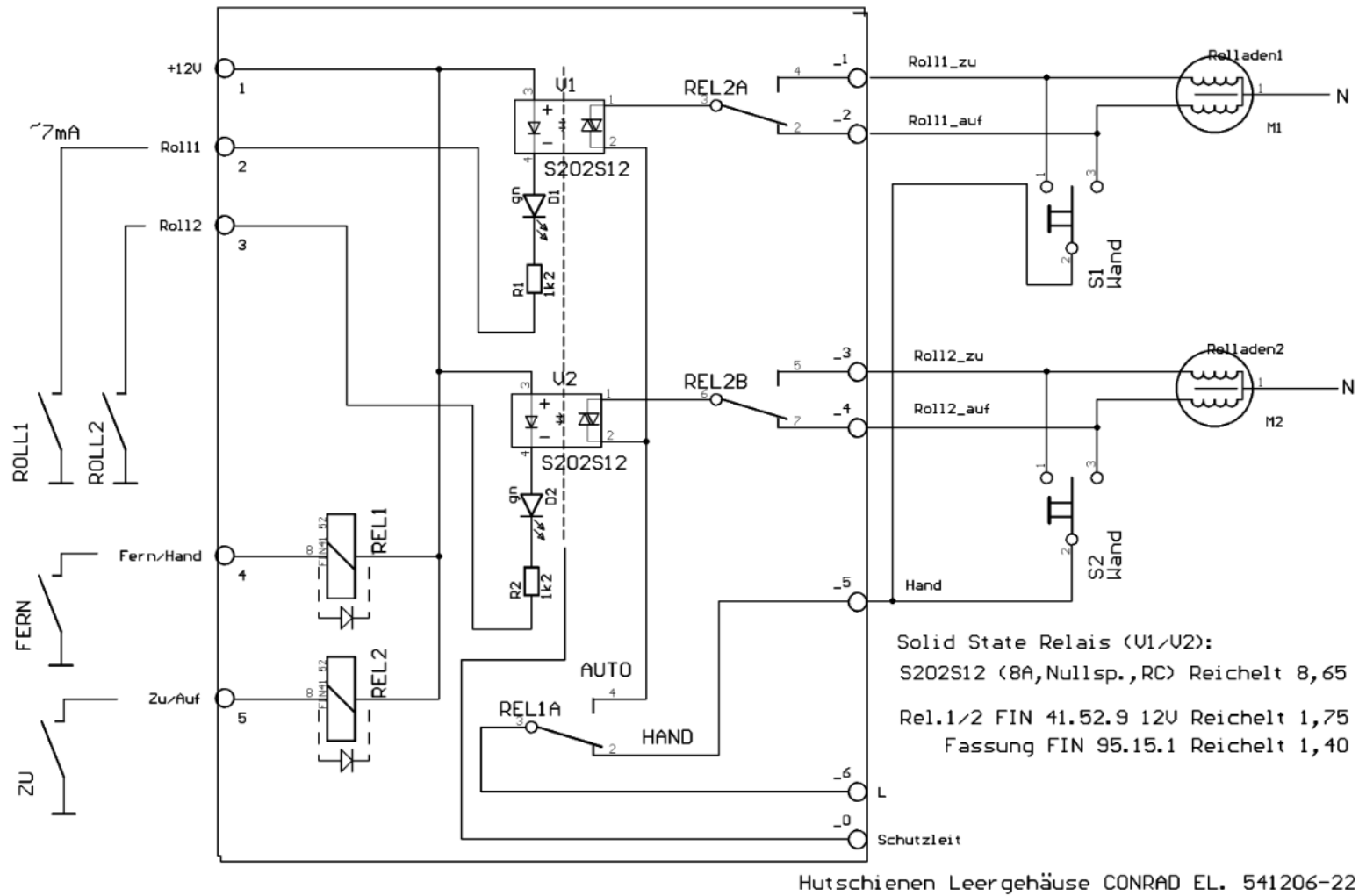
Sensoreingang (optional)

## 2.4 Schaltmodul für Hutschiene zur Steuerung von Rollladenmotoren

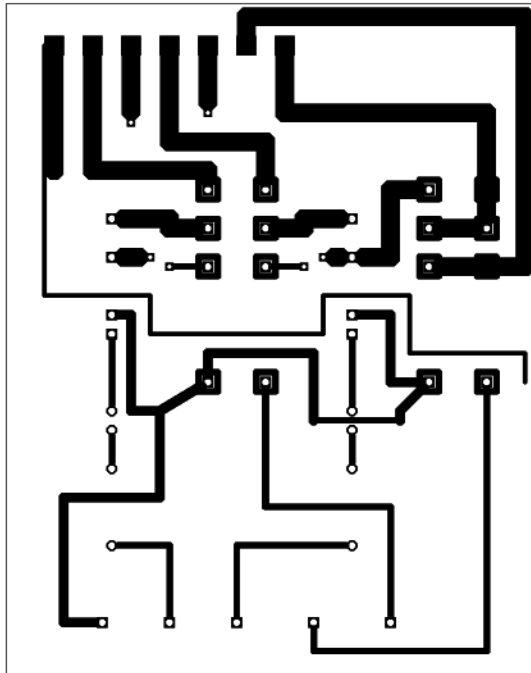
### 240V-Teil2

/SCHALT2 .SCH/ 1/1

Erstellt: 5.05.2004 17:11:42 BE1

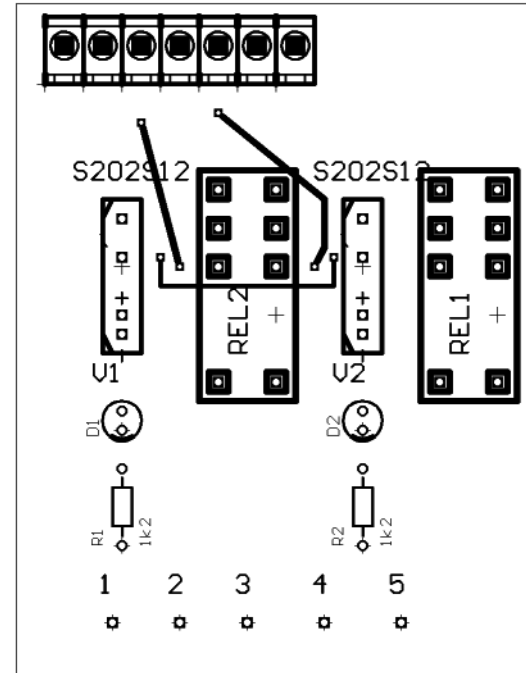


TITEL\_\_ SCHALT2 BE1  
 Erstellt: 5.05.2004 17:08:50  
 \*\*\* 9127919J \*\*\*



TITEL\_\_ SCHALT2 BE1  
 Erstellt: 5.05.2004 17:06:34  
 \*\*\* Bestückungsseite \*\*\*

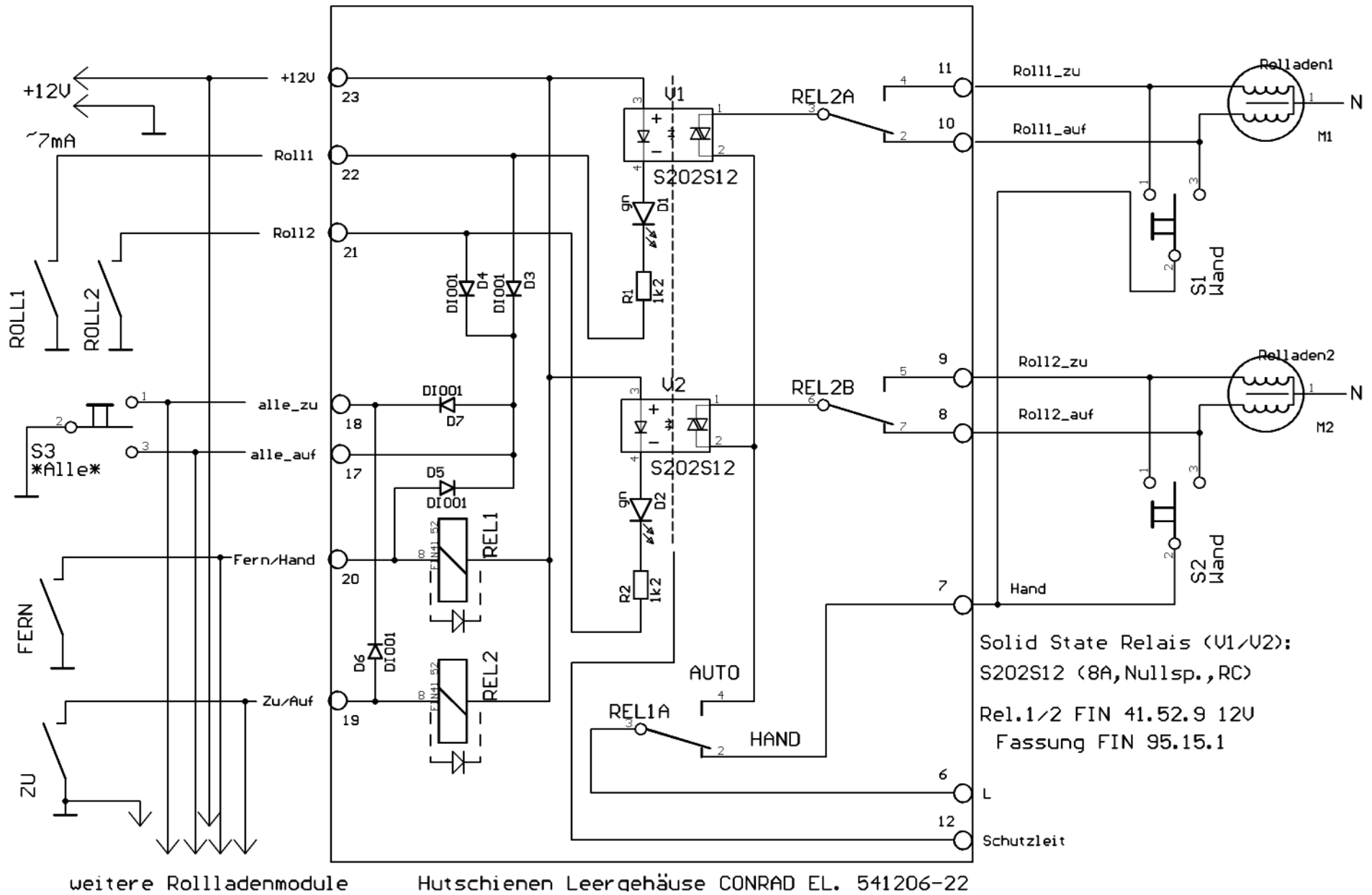
\_0 \_1 \_2 \_3 \_4 \_5 \_6



Die Schalter S1 und S2 sind gängige 3- Stellungsschalter (UP) für Rollläden. Sie werden neben dem Fenster platziert. Solange Relais 1 stromlos ist, kann man die Rollläden von Hand fahren. Sowie der Hauscomputer meint aktiv zu werden, zieht Relais 1 und anstelle der Handschalter werden die Halbleiterrelais an die Phase L gelegt. Die Signale ROLL1, ROLL2 und FERN bestimmen dann, welcher Rollladen auf- oder zu fährt. Nach einigen Sekunden schaltet der Computer Relais 1 wieder ab und der Spuk ist vorbei.

Da praktisch niemals Rollläden entgegengesetzt fahren und die Fahrgeschwindigkeit immer konstant ist, braucht man je Fenster nur einen Binärkanal. Hinzu kommen für alle Rollläden die gemeinsamen Signale Auf/Zu und Fern/Hand. Mit nur 5 zusätzlichen Dioden (kosten insgesamt 10 ct !) wird in der folgenden Schaltung aus dem Einzelmodul eine halbautomatische Steuerung – über einen zusätzlichen Wandschalter (S3) können alle Rollläden gemeinsam geschaltet werden. Hier ließe sich natürlich auch eine Zeitschaltuhr anschließen, auf den Hauscomputer könnte man dann (vorerst) verzichten.



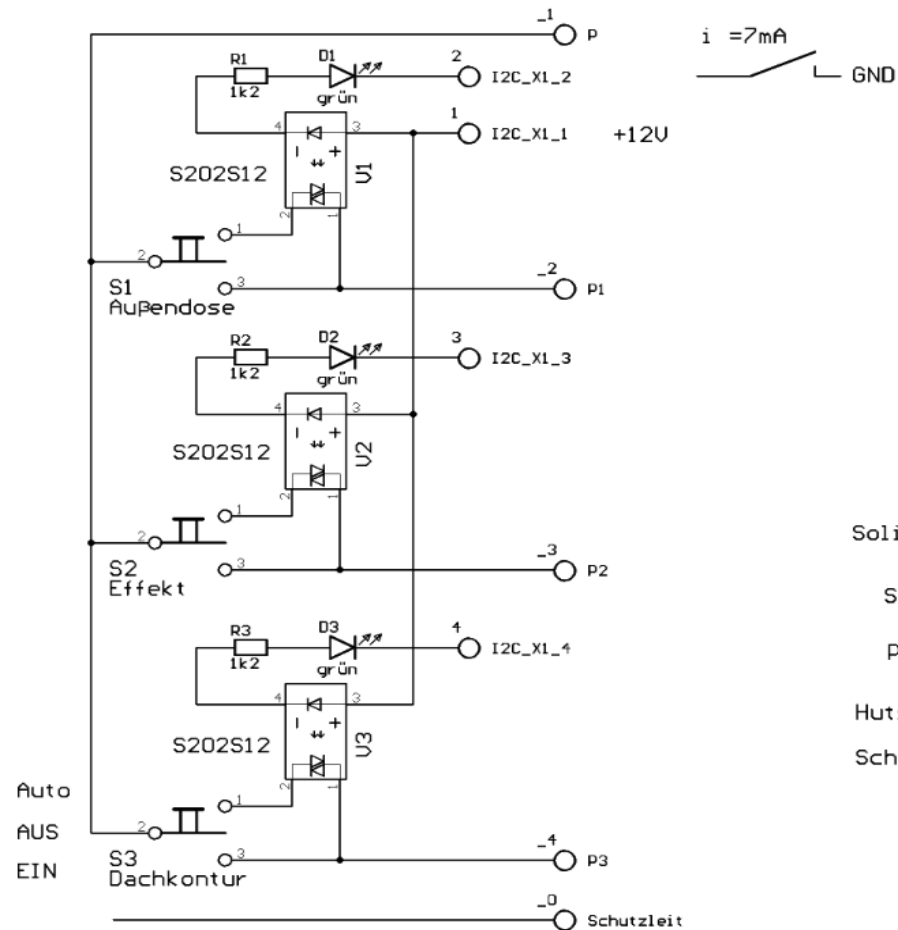


## 2.5 Schaltmodul für Hutschiene mit Schalter EIN - AUS - Automat

240V-Teil3

/SCHALT1 .SCH/ 1/1

Erstellt: 5.05.2004 16:20:02 BEI



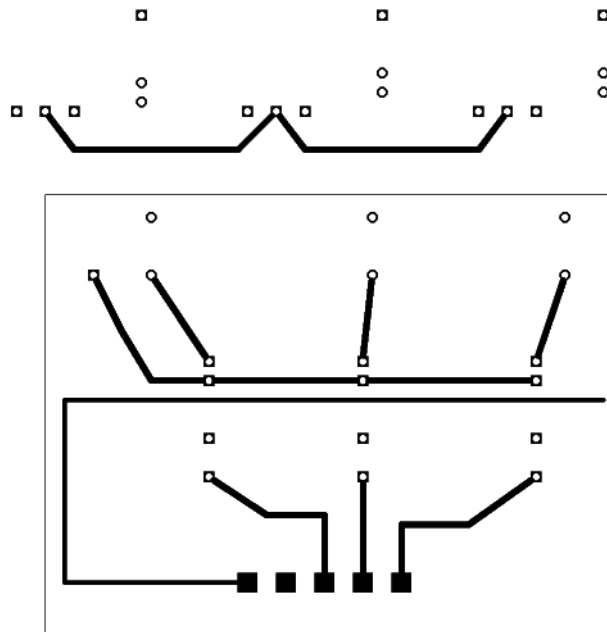
Solid State Relais (U1-U3):

S202S12 (8A, Nullsp., RC) Reichelt 8,65

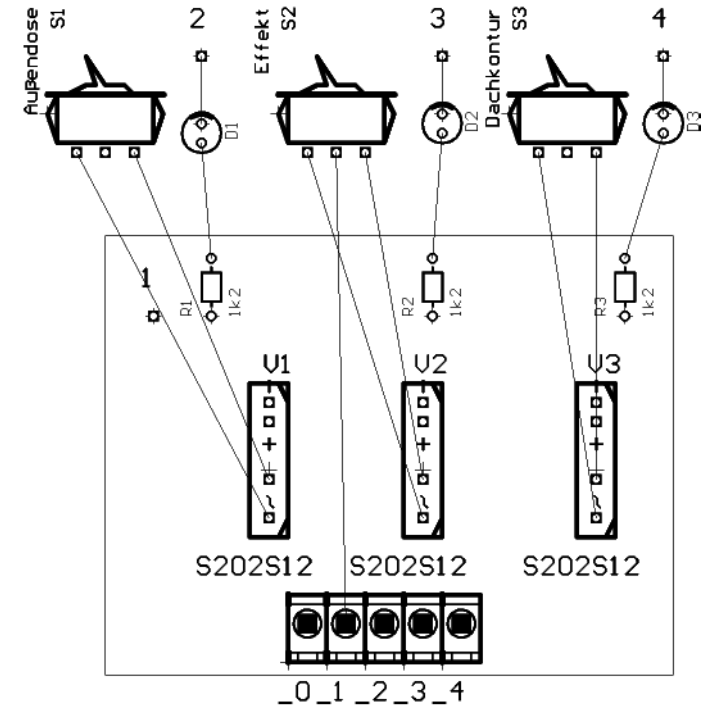
Pmax Lampen  $\sim$  1000W

Hutschienen Leergehäuse CONRAD EL. 541206-22

Schalter: Conrad El. 701041-11

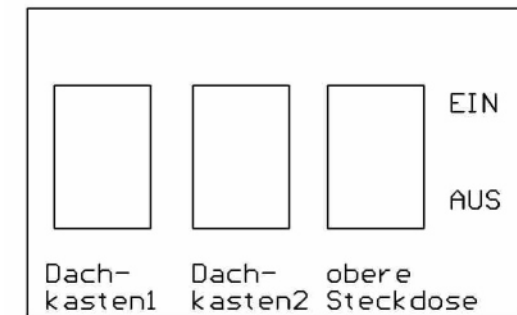
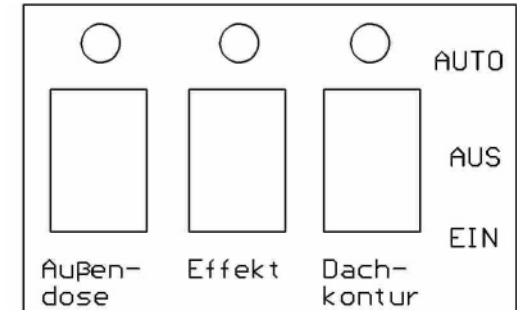
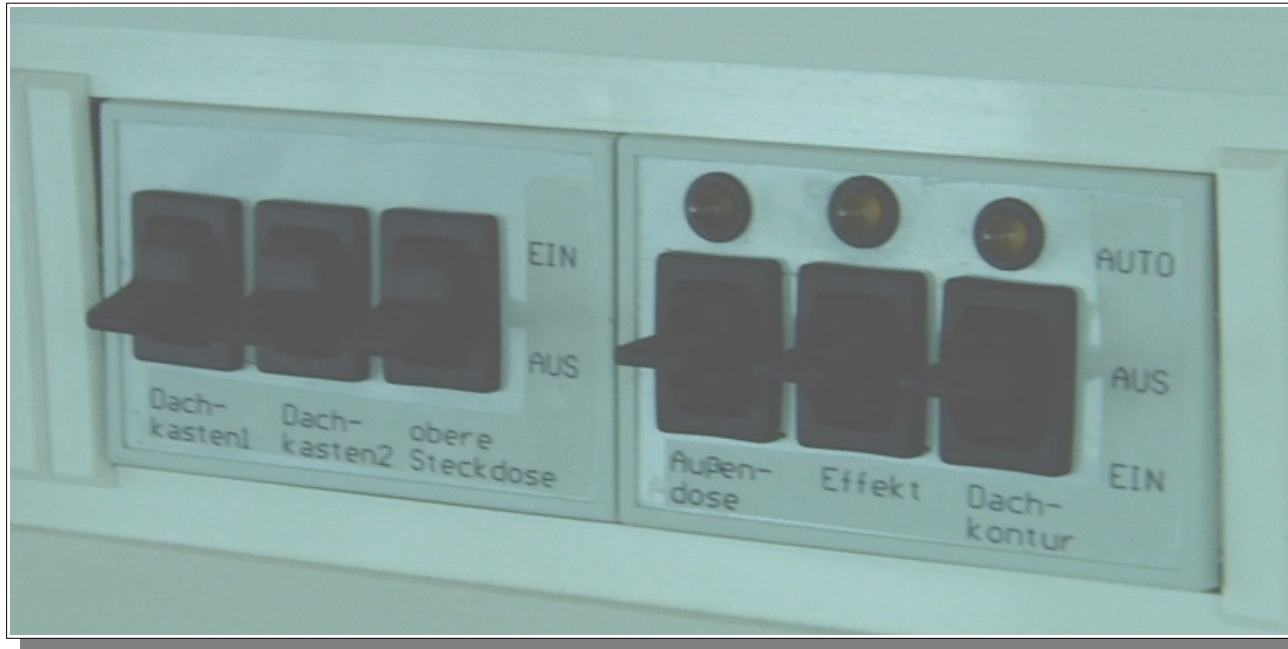


TITEL\_\_ SCHALT1 BE1  
 Erstellt: 5.05.2004 16:26:28  
 \*\*\* 919279191 \*\*\*



TITEL\_\_ SCHALT1 BE1  
 Erstellt: 5.05.2004 16:32:28

Ein Grundproblem bei der praktischen Realisierung eines intelligenten Hauses ist die Frage nach dem Primat des Menschen über die Technik. Solange ein Akteur, wie z.B. eine Lampe nur vom Menschen betätigt wird, reicht ein Ein/ Ausschalter. Darf zusätzlich auch ein, wie auch immer geartetes System diese Lampe schalten, wird es schwierig. Eine mögliche Lösung sind Impulssteuerungen. Sie sind aber statisch instabil und bedürfen einer Rückkopplung zum steuernden System. Mein Lösungsansatz ist ein 3- Stellungsschalter mit der zusätzlichen Stellung „Automat“. Leider sind derartige Schalter nicht als Unterputzausführung erhältlich, deshalb die Hutschienen Variante. Für normalerweise automatisch arbeitende Aktoren wie Lüftersteuerungen oder Sonderbeleuchtungen dürfte dieser Kompromiss nicht zuletzt wegen der elektrischen Sicherheit aber hinnehmbar sein.

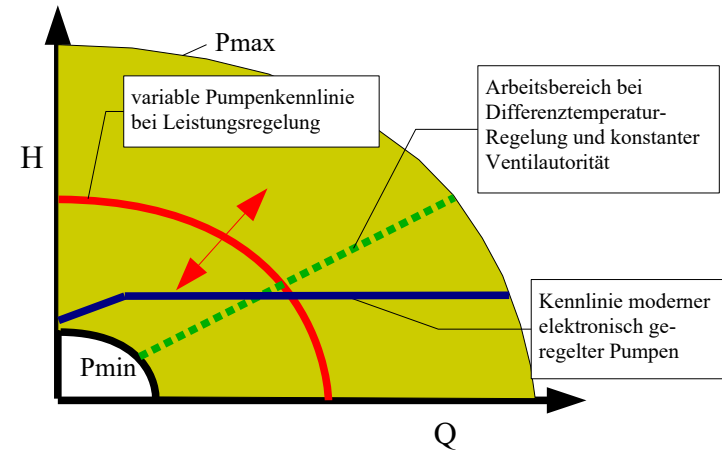


## 2.6 Ein „einfacher“ Dimmer für eine Heizungsumwälzpumpe

Bei Heizungs- und Solaranlagen steht neben der Wärmegegewinnung in der Regel auch die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Dabei spielt auch der Stromverbrauch eine gewichtige Rolle. Neuere Anlagen verwenden meist elektronisch geregelte Pumpen im Preissegment von 180..400€. Mit ein wenig Physik kann man aber auch einfache, unregelte Pumpen (z.B. UPS 25-40) zu geregelten umbauen. Theoretisch gibt es folgende Möglichkeiten:

- Frequenzmodulierung der Stromversorgung – Frequenzumformer für 230V notwendig, zu aufwändig, viel zu teuer
- Phasenanschnitt- bzw. -Abschnittsteuerung (wie bei Bohrmaschinen) – bei Bürsten losen Pumpen unbrauchbare Idee, geht einfach nicht!
- Spannungsregelung – große Verlustleistung am (elektronischem) Vorwiderstand und instabiler Pumpenanlauf, schwierige Dimensionierung
- Schwingungspaketsteuerung/ Impulspaketsteuerung (IPS) – Intervall von EIN/AUS - kann Geräusche erzeugen

Das Ziel einer Regelung ist den Durchfluss dem Bedarf anzupassen. Elektronische Pumpen nutzen zur Regelung nur die ihnen unmittelbar zur Verfügung stehenden Parameter – wie z.B. die aktuelle Pumpendrehzahl und die Temperatur des durchströmenden Mediums. Bei einer zentralen Regelung stehen aber weitaus mehr relevante Parameter zur Verfügung. Die Leistungsregelung einer Heizungsumwälzpumpe in Abhängigkeit der Differenz von Vorlauf- zu Rücklauftemperatur eines Heizkreises verringert z.B. den jährlichen Energiebedarf der Pumpe auf das erforderliche Minimum. Allerdings nur dann, wenn die Ventile an den Heizkörpern nicht geschlossen werden – die Temperaturdifferenz würde steigen und die Pumpe auf Vollast fahren. Bei einer richtig eingestellten zentralen Regelung wird aber keiner auf die Idee kommen, alle Heizungen abzustellen – und damit die Regelung zu boykottieren.



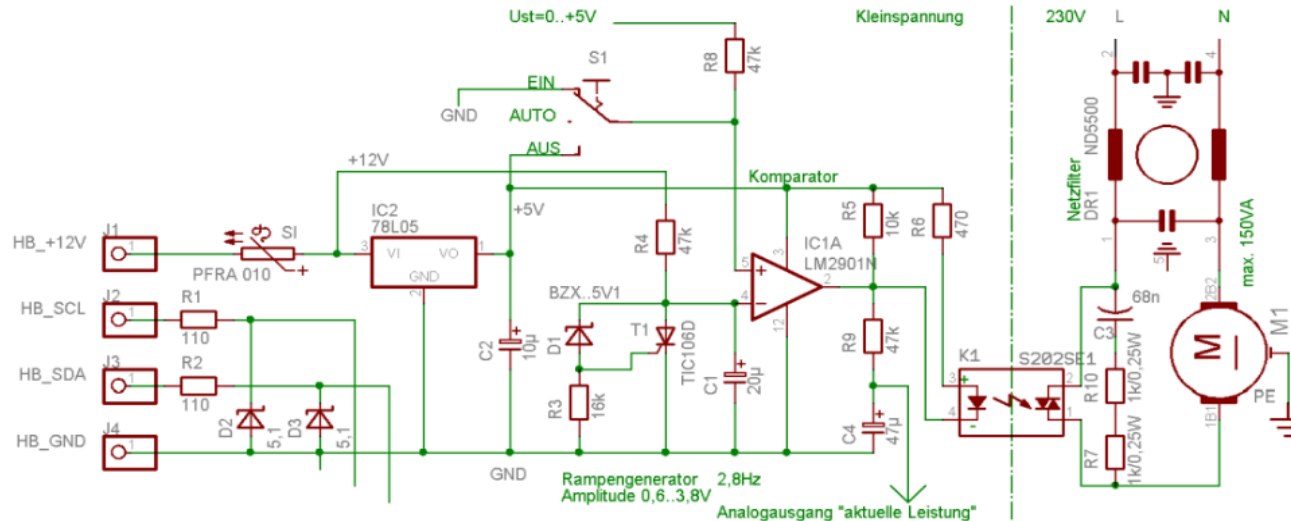
### 2.6.1 Impulspaketsteuerung für ungeregelte Heizungspumpen (ältere Variante)

Hier nun die Realisierung einer einfachen aber wirkungsvollen IPS ohne Drehzahlmessung. Eine Pumpe braucht lediglich für maximal 10 verschiedene Leistungsstufen ausgelegt sein. Bei Veränderung des EIN/AUS Verhältnisses in einem festen Intervall ergibt das bei 2 Schwingungshalbwellen je Stufe und

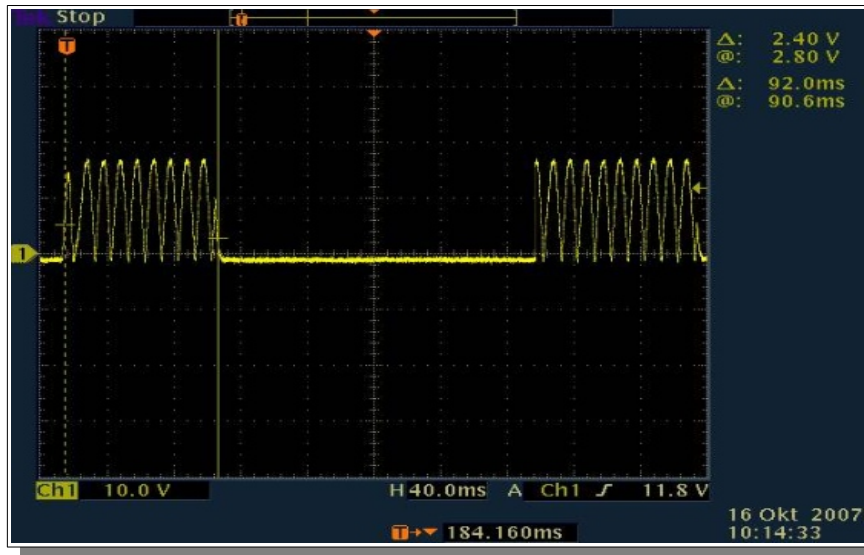
50Hz Netzfrequenz ein minimales Intervall von  $\frac{2 \cdot 10 \text{ Halbwellen}}{100 \frac{\text{Halbwellen}}{s}} = 0,2s$ . Gewählt wurde zur praktischen Realisierung ein Zielwert von ca. 0,3s.

Größere Werte führen zu deutlich hörbaren Druckschwankungen im System.

Zur Schaltung: Ein Komparator vergleicht ein periodisches Dreiecksignal mit einer anliegenden Steuerspannung Ust. Die Steuerspannung liefert der Hauscomputer über einen analogen Ausgang eines PCF8591. Solange das Dreiecksignal kleiner ist, wird die Pumpe eingeschaltet. Wird das Dreiecksignal größer als die Steuerspannung schaltet die Pumpe ab. Die Ansteuerung der Pumpe erfolgt über ein elektronisches Relais. Durch die Impulsbelastung einer Induktivität ist dabei auf ausreichende Entstörung des Netzkreises zu achten (Netzfilter). Zusätzlich sollte parallel zur Pumpe ein Varistor als Schutz vor induktiven Abschaltspitzen eingebaut werden (z.B. VDR-0,6 300V für 0,47 € bei REICHELT). Die Generierung eines sauberen Dreiecksignals ist relativ aufwändig. Für unseren Zweck reicht aber die Spannung eines sich exponentiell aufladenden Kondensators (C1) völlig aus. Bei Erreichen einer bestimmten Spannung an der Z-Diode D1 wird der Thyristor T1 gezündet, entlädt den Kondensator und der Prozess beginnt von vorn. Mit dem Schalter S1 kann man unabhängig von der Steuerspannung die Pumpe EIN bzw. AUS schalten. Die Schaltung ließe sich noch um die Funktion eines Softstarts erweitern: parallel zu R8 wird ein Widerstand von 10k in Reihe mit einer Diode geschaltet. Pin 5 von IC1 wird mit einem Elko von 20µF gegen Masse gepuffert. Im Ergebnis erreicht man die Spreizung der Auf- und Abladekennlinien bei einer Änderung des Steuersignals sowie ein langsames, geräuscharmes Anlaufen der Pumpe.



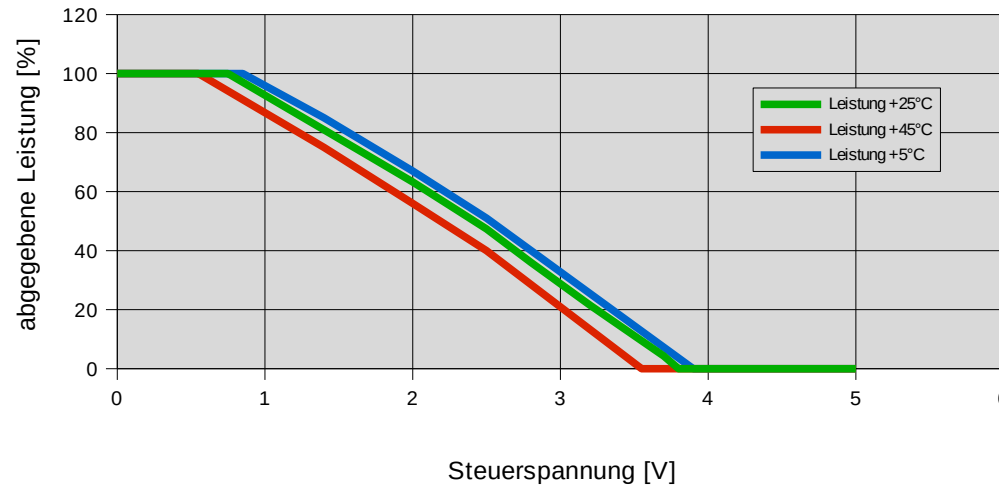
Das nachstehende Oszillogramm zeigt das gewünschte Ergebnis der Impulspaketsteuerung:



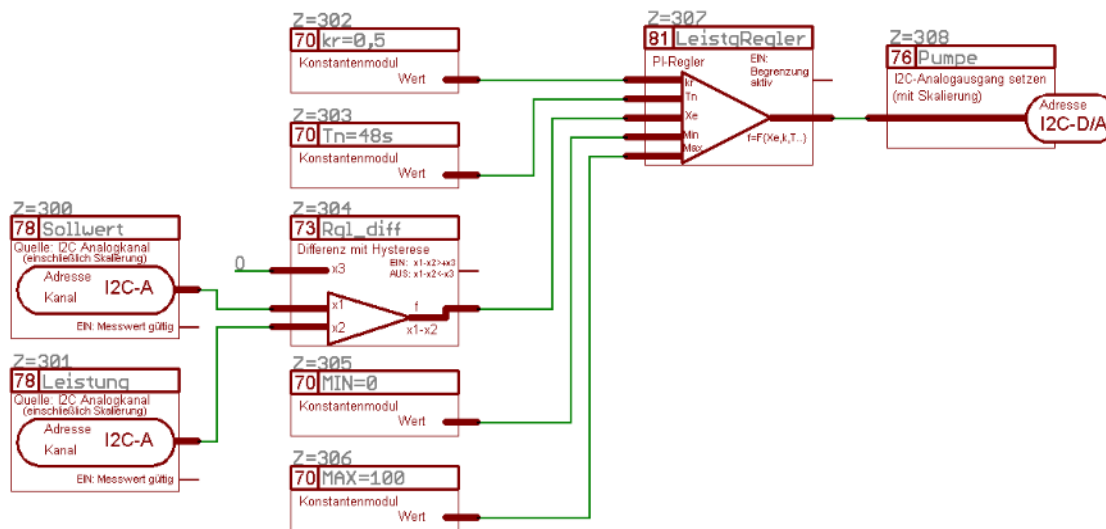
Im Beispiel ist zwar keine Pumpe, sondern ein Trafo mit Brückengleichrichter und eine 45W Autobirne angeschlossen, aber das Prinzip wird deutlich. Ein später durchgeführter Versuch mit einer gängigen UPS 25-30 Pumpe von Grundfos verlief absolut super! Die Geräusentwicklung war extrem gering und die Druckschwankungen des Wasserstrahls waren durch die Trägheit der Pumpenwelle und des Wassers kaum spürbar. Oberhalb einer Steuerspannung von 3,4 V, also unterhalb von ca. 20% der Nennleistung konnte man aber ein Surren hören; ab einer Leistung weniger als ca. 10% blieb die Pumpe schließlich stehen. Das deckt sich mit Informationen aus der Industrie: Hier gibt es die Empfehlung, den Teillastbereich nur im Bereich herunter bis ca. 25..30% zu nutzen. Bei geringeren Drehzahlen reicht die Schmierung der Nassläufer nicht mehr aus und es kommt zu erhöhter Reibung und Abnutzung. Beim langsamen Hochfahren der Leistung lief die Pumpe problemlos wieder an. Ein so genannter „Kickstart“, also das Einschalten mit großer Leistung und anschließenden Drosseln, war nicht notwendig. Nach einer längeren Stillstandszeit einer Pumpe sollte aber ein Kickstart vorgesehen werden.

Der einfache Rampengenerator mit dem Thyristor T1 hat aber auch Nachteile – er ist stark temperaturabhängig. Bereits im Alltagsbereich von +5..+45°C verschiebt sich die Kennlinie um ca. 15%. Verringern kann man diesen Effekt mit einem Trick: an den Thyristor wird ein Widerstand von 600 Ohm/ 0,25 W geklebt. Anschließend werden beide Bauelemente mit wärme- isolierenden Material umwickelt. Der Widerstand wird an +12V angeschlossen und wärmt den Thyristor somit vor. Im Dauerbetrieb funktioniert das Ganze ähnlich einem Thermostat.

Kennlinie Schwingungspaketsteuerung



Eine elegantere Möglichkeit ist die Steuerung der Schaltung mit Hilfe eines PI- Reglers. Für die dabei erforderliche Rückkopplung wird das RC-Glied R9/C4 benötigt. Die dort gebildete Spannung ist der Leistungsabgabe proportional und wird in den Hauscomputer eingespeist. Die SPS verknüpft diesen Istwert mit dem Sollwert und regelt entsprechend nach. Somit entfällt der aufwändige Aufbau eines Thermostaten und nebenbei wird die Kennlinie linearisiert:



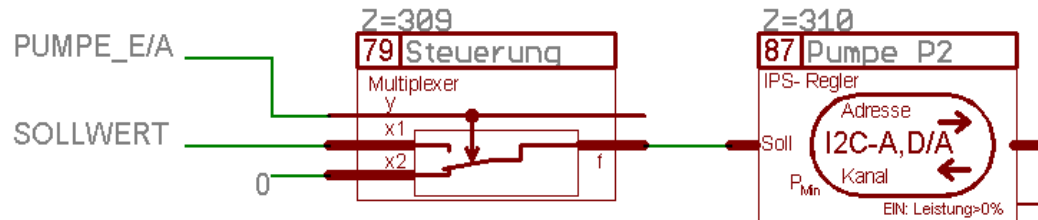
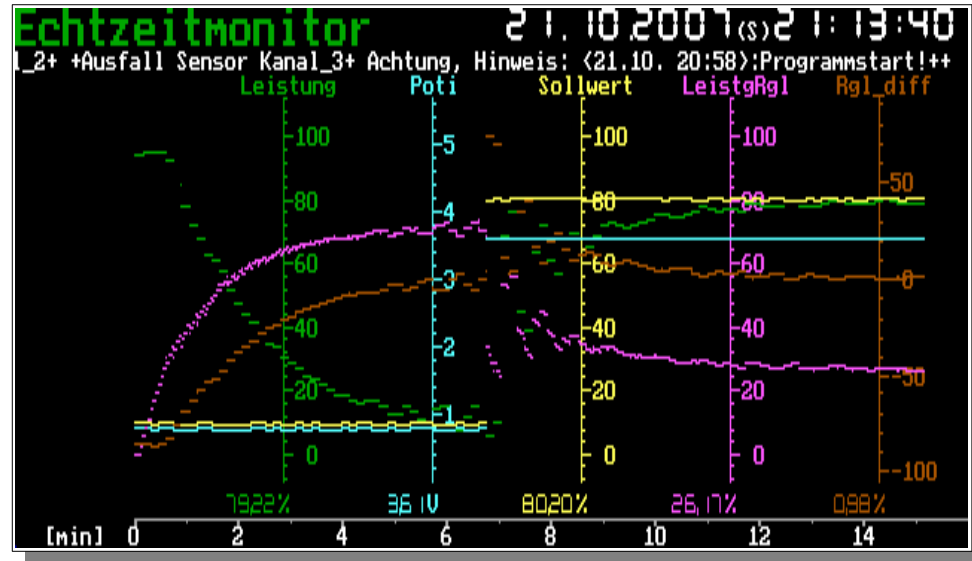
Der PI Regler verstärkt die Regeldifferenz zwischen Sollwert und gemessener Leistung. Sie wird bei bleibender Regelabweichung über die Nachstellzeit  $T_n$  nachgeführt. Letztlich wird die Regelabweichung 0. Die Temperaturabhängigkeit der Bauelemente und die nichtlineare Kennlinie der Schaltung werden durch den geschlossenen Regelkreis vollständig eliminiert. Einzig der Zeitfaktor bleibt etwas groß. Die Zeit zwischen zwei Abfragen beträgt bei einem voll ausgebauten Hausbussystem bekanntlich um die 10 s. Dementsprechend lange braucht der Regler um zu verwertbaren Signalen zu kommen. Die Faktoren  $K_r$  und  $T_n$  sind darauf abgestimmt und können bei schnellerer Abfrage der analogen Signale verringert werden.



Ein Blick in den Echtzeitmonitor bestätigt die Funktion:

Nach ca. 6 min (bei voller Busabfrage) ist die Regelabweichung nahezu Null. Werden weniger PCF8591 eingesetzt, so verkürzt sich die Zeitspanne bis zum Einschwingen bis unter 1 min. Im rechten Beispiel wurde der Sollwert übrigens als analoges Signal von einem Potentiometer über den Bus eingelesen. 7 min nach Beginn der Aufzeichnung wurde mit dem Poti ein Sollwert von 80% eingestellt. Die darauf erfolgte Sprungantwort brauchte ebenfalls um die 6 min bis zum Einschwingen.

Um das Handling zu vereinfachen, habe ich für die vorgestellte Hardware einen speziellen SPS-Modul entwickelt, der die gesamte Regelung enthält. Es wird nur noch der Sollwert übergeben, alles Andere, Zeitkonstanten usw., auch der Kickstart werden automatisch errechnet:



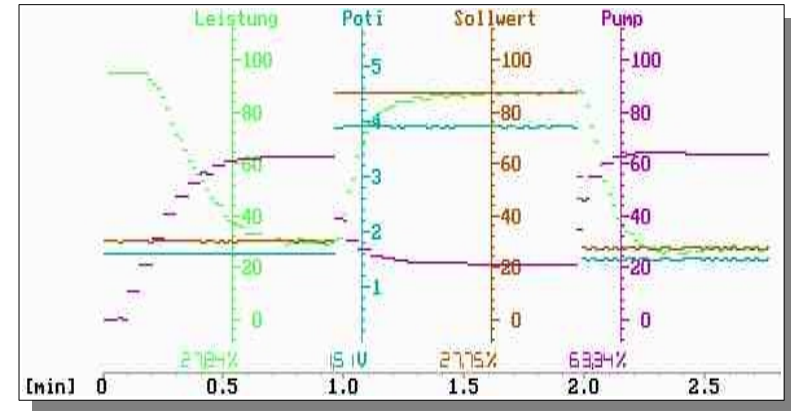
**z=309 79 Steuerung % xxx 0 yyy / Multiplexer Sollwert vom Modul xxx, Pumpe\_E/A von Modul yyy**  
**z=310 87 Pumpe\_P2 309 25 0 0 /IPS-Pumpe regeln: Adresse 0, Kanal 0 (Leistungsmessung); Ust an Analogausgang Adresse 0**

Die interne Regelung wurde soweit optimiert, dass die Einschwingzeit mehr als halbiert werden konnte. Die genaue Programmierung des Moduls wird im Programmhandbuch beschrieben. Im Verzeichnis „/IPS Steuerung“ sind für eigene Experimente die entsprechenden Hauscomp/Hardware.ini enthalten.

Die praktische Realisierung unter Einbindung von Modultyp 87 und nur einem PCF8591 in die Hardware.ini erreicht die kürzeste Einschwingzeit.

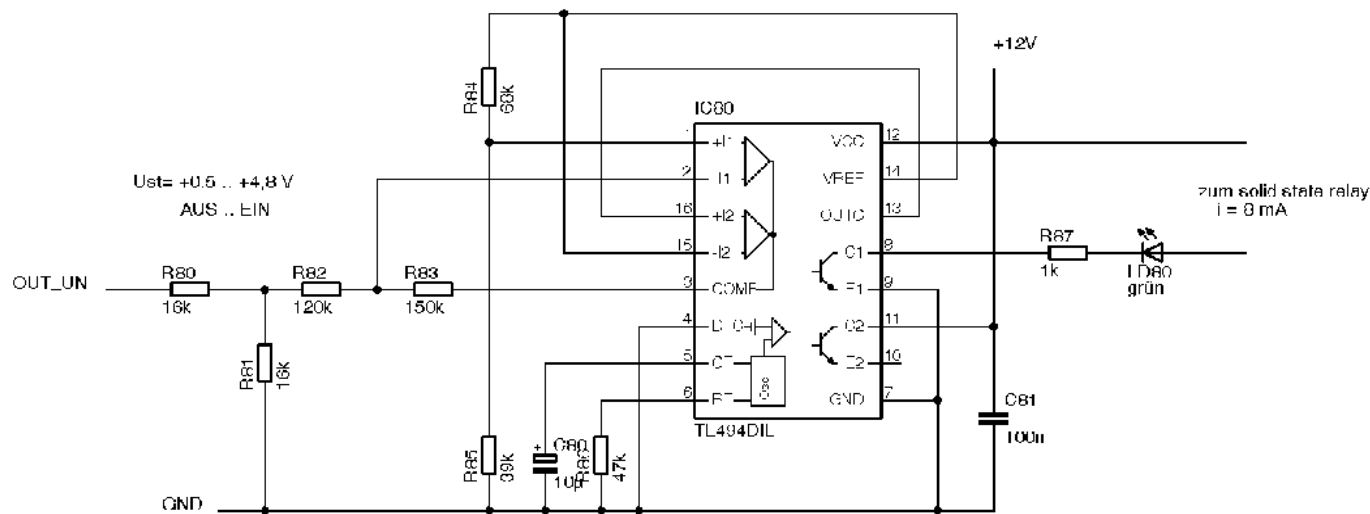
Die Grafik rechts zeigt das Ergebnis:

Bei einem Sollsprung (braun) der Pumpenleistung von 30% auf 87% bzw. zurück (mit einem Poti simuliert) ist die gewünschte Leistung (grün) bereits nach ca. 25s erreicht. Die Anlaufphase dauert wegen der horizontalen Kennlinienabschnitte (entspricht praktisch einer unliebsamen Totzeit) etwas länger und liegt bei maximal 40s.



## 2.6.2 Impulspaketsteuerung für unregelmäßige Heizungspumpen (neuere, bessere Variante mit TL494)

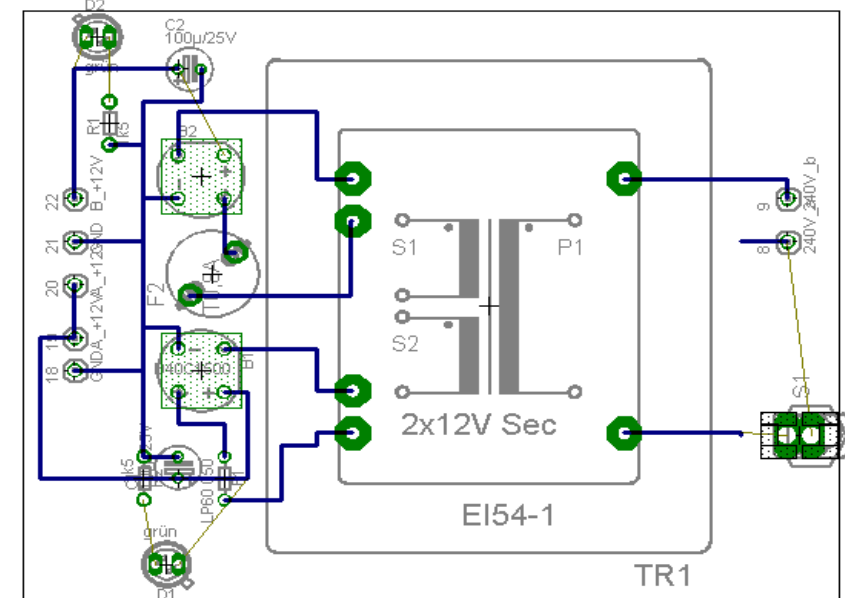
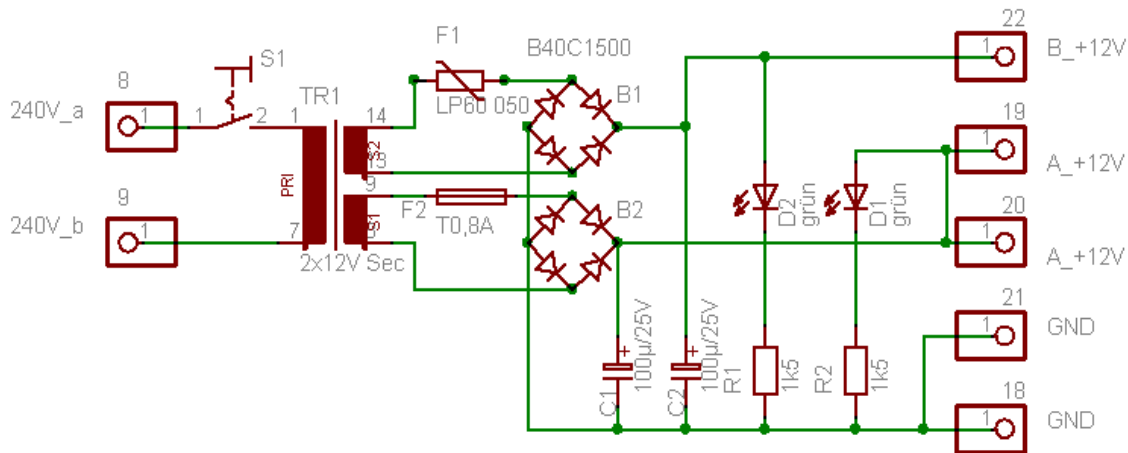
Das Problem der thermischen Abhängigkeit unter Verwendung eines Thyristors im Abschnitt 2.6.1. lässt sich mit einem TL494 umgehen. Dieser IC enthält bereits einen recht stabilen Rampengenerator und kostet lediglich 30 Cent. Damit entfällt die sonst notwendige Rückkopplung über einen analogen Eingang und die entsprechende Nachregelung. Allerdings wird der TL494 mit 0,3 s Zykluszeit etwas außerhalb seiner Spezifikation betrieben. Damit verbunden ist das Ansteigen der Nichtlinearität des Rampensignals und damit auch der abgegebenen Leistung. Für Heizungspumpen dürfte es aber völlig ausreichen. Hier der Schaltungsauszug aus dem 8-Kanal-Sensor-Interface:



Die Bemessung der Widerstände R80-R83 ergibt die Umsetzung der Steuerspannung von 0..+5V auf ein Tastverhältnis von 0 auf 100%. In Zusammenarbeit mit dem SPS-Modul Typ 89 erhält man eine regelbare „elektronische“ Pumpe.

## 2.7 Ein 12V Netzteil für die Hutschiene

Für die Stromversorgung der Schaltmodule, aber auch des A+D Interfaces wird eine Spannung von +12V (ca. 1A) benötigt. Dafür kann man elegant ein Netzmodul für die Hutschiene verwenden. Hier noch ein Bauvorschlag aus dem Jahr 2009: Als Hutschienen Gehäuse wird dabei ein undurchsichtiges Gehäuse von CONRAD mit der gleichen Einbaubreite wie bei den Schaltmodulen verwendet (Bestell Nr. 541192-xx). Zur Verbesserung der Zuverlässigkeit sind zwei Netzteile mit einem gemeinsamen Trafo integriert. Die beiden grünen Status LED sind mit dem Hauptschalter im Gehäusedeckel befestigt. Als Besonderheit sei auf die Sicherungen verwiesen. Grundsätzlich sollte der Trafo neben zwei getrennten 12V Wicklungen eine eingebaute Thermosicherung besitzen. Zusätzlich muss jeder Stromkreis vor Kurzschluss geschützt werden. Eine herkömmliche Sicherung (F2) ist für die Stromversorgung der Schaltmodule vorgesehen, eine selbst zurückstellende Polyswitch Sicherung für die Einspeisung in den Hausbus. Hier ein Schaltungsvorschlag:

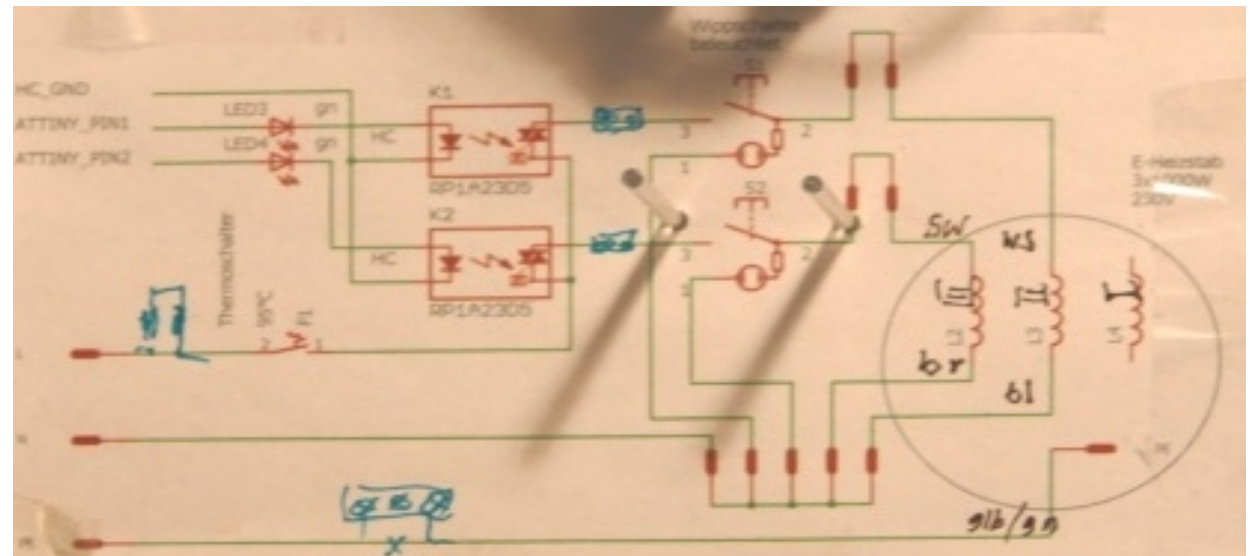


## 2.8 Ansteuerung einer 230V-Elektropatrone (Heizstab)

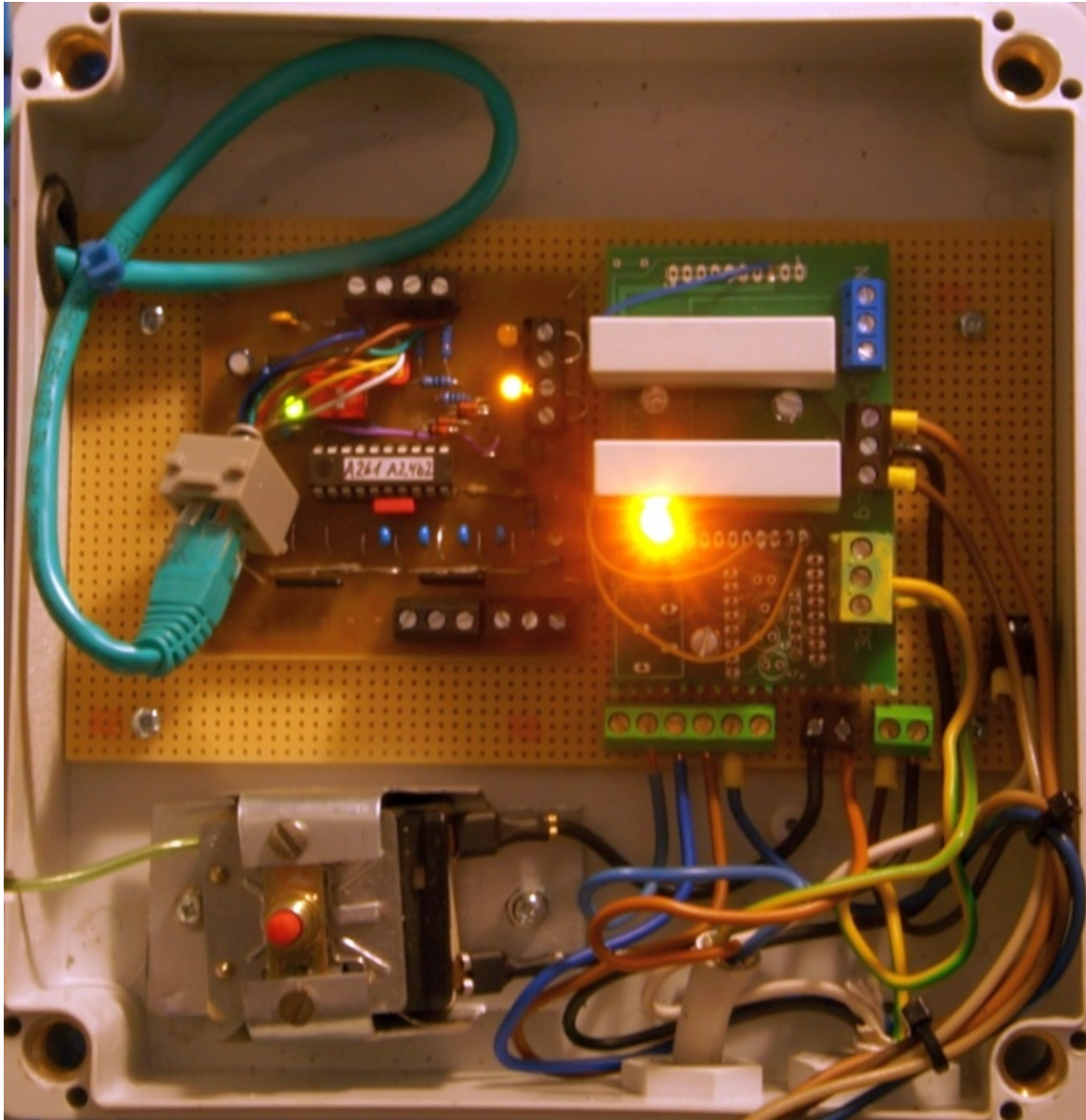


Ein vorhandener Pufferspeicher (500l) wurde mit einer Elektro-Patrone (E-Patrone) ergänzt. Diese Ergänzung dient zum sinnvollen „Verbraten“ überschüssiger Solarenergie aus einer kleinen Fotovoltaikanlage. Gewählt wurde eine E-Patrone mit 3x 1000 VA (230V). In der fertigen Ansicht (linkes Bild) ist die E-Patrone ganz unten hinter dem Steuerkasten zu sehen. Oben ist eine Thermosicherung eingebaut.

Zur Funktion: Ein am Hausbus angeschlossenes analoges Interface „Mini“ (Firmware A2.4\_0.1s) liefert 2 analoge Ausgänge, die in der Betriebsart „PWM“ angesteuert werden. Sie triggern zwei Halbleiterrelais vom Typ RP1A2305. Diese Relais beinhalten bereits alle notwendigen Bauteile (also auch die Snubber), sind Nullpunktschalter (keine Netzstörungen!) und sind bis 5A belastbar. Daran angeschlossen sind 2 der 3 Heizstabwicklungen. Die Dritte dient als Reserve. Sie können somit bis zu 2 kW Wärme erzeugen. Zwei Schalter dienen dem manuellen Abschalten und eine rückstellbare Thermosicherung verhindert ein „Überkochen“ des Wassers im Pufferspeicher im Fehlerfall, wenn die Temperatur 95 °C übersteigt. Der folgende Schaltplan ist ein Unikat und befindet sich im Deckel des Schaltkastens. Gut zu sehen sind die eingeklebten optischen Lichtleiter für die beiden Statusanzeigen:







*Ansicht geöffneter Steuerkasten; links der Hausbus, unten die Thermosicherung*

Linkes Bild: fertiger (geöffneter) Steuerkasten, ein analoger Kanal ist aktiv.

Bei der Verkabelung sind natürlich die einschlägigen E-Vorschriften zu beachten (nur Elektrofachkräfte dürfen das!). Kabelabstände und Kondensatabfluss sollten vorher durchdacht werden. Im Muster wurde ein kommerzielles Schalt-Modul (rechts neben dem Interface „Mini“) eingesetzt. Das Modul ist incl. Relais auf Nachfrage über den Autor beziehbar.

Das analoge Interface „Mini“ ist in diesem Beispiel parallel zu anderen analogen Interface (mit gleichen Adressen) am Hausbus angeschlossen. Diese nutzen aber nur die analogen Eingänge, während im Steuerkasten nur beiden die analogen Ausgänge verwendet werden. Die analogen Eingänge/Kanäle im Steuerkasten (die bereits woanders genutzt werden) bleiben unbeschaltet – nur so ist eine parallele Arbeit der Interfaces möglich. In der Musteranlage ist übrigens auf Adresse „0“ ein Pt-1000 Präzisionsinterface parallel angeschlossen – ohne Probleme bei der Zusammenarbeit!

Für die Programmierung des Hauscomputers sei auf **/Beispiel Stromsensor&E-Patronen/** verwiesen.

Beim Nachbau sollte man keinesfalls auf die Schutzvorrichtungen (manuelle Schalter, Thermoschalter) verzichten!

Die Ansteuerung durch den Hauscomputer ist simpel. Zunächst werden die beiden analogen Ausgänge konfiguriert:

<b>Analog=</b> <b>191</b>	<b>EP_I</b>	<b>W</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0</b>	<b>1000</b>	<b>191</b>	<b>1000</b>
<b>Analog=</b> <b>191</b>	<b>EP_II</b>	<b>W</b>	<b>1</b>	<b>30</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0</b>	<b>1000</b>	<b>191</b>	<b>1000</b>

Dabei werden die analogen Ausgänge 0 und 1 linear kalibriert: Kodewert 0 entspricht 0 W, Kodewert 191 entspricht 1000 W. Für den ATtiny wurde die Firmware A2.4 modifiziert. Um die Lebensdauer der Heizstäbe nicht unnötig zu verkürzen, aber vor allem um die E-Zähler Problematik zu beherrschen, wurde die PWM-Zykluszeit von 0,8s auf 0,1s reduziert – die Temperaturschwankungen im Heizstab werden damit auch deutlich reduziert. Nachteilig ist natürlich, dass in dieser Zeit nur noch 10 Halbwellen das Relais passieren können, was die Regelungsgenauigkeit auf  $\pm 1000W/10 = \pm 100W$  begrenzt. Das ist zwar etwas wenig, aber immer noch besser als eine Phasenanschnittregelung. Für Experimente gibt es noch eine Version mit 0,2s Zykluszeit (=20 Halbwellen). Bei 0,1s Zykluszeit zählt der (saldierenden) Energiezähler (EasyMetec Q3MA) tatsächlich nur noch die Differenz zwischen einer (einspeisenden) Solaranlage und der (verbrauchenden) E-Patrone und nicht etwa getrennt jeweils in den Bezugs- und Rückspeisezähler, was fatal wäre!<sup>1)</sup>

Der ATtiny mit der Firmware A2.4\_0.1s taktet dann den analogen Ausgang automatisch mit einer Zykluszeit von 0,1 s. Im Fehlerfall, bei Ausfall des Hausbusses, werden die analogen Ausgänge auch automatisch nach weniger als 1 Minute abgeschaltet. Einzig ein Ausfall der Halbleiterrelais (ständiger Durchgang) würde zu einer dauernden „Heizung“ führen, die letztendlich die Thermosicherung auslöst. Von Hand kann man dann später den defekten Kanal bis zur Reparatur abschalten. Das Ganze ist somit eigensicher.

Dann wird in der SPS die Ansteuerung der Ausgänge organisiert. Zum Beispiel so:

<b>z=590</b>	<b>76</b>	<b>EP_I</b>	<b>0</b>	<b>588</b>	<b>/Ansteuerung E-Patrone EP_I per PWM (ATtiny)</b>
<b>z=591</b>	<b>76</b>	<b>EP_II</b>	<b>1</b>	<b>589</b>	<b>/Ansteuerung E-Patrone EP_II per PWM (ATtiny)</b>

Die SPS-Module 588 bzw. 589 liefern ein Ausgangssignal im Bereich 0..1000 W. 590 und 591 senden das dann an den Hausbus mit der analogen Adresse 0 bzw. 1. Das ist alles!

<sup>1)</sup> Diese Problematik konnte intensiv bei der problematischsten E-Patronen-Last von 500W (PWM 1:1) am 22.10.2019 real über 2h am Prototypen mit der in Abschnitt 1.8.4 beschriebenen Regelung beobachtet bzw. untersucht werden. Eine günstige konstante Sonneneinstrahlung von ca. 900W machte es möglich. Dabei zählten der offizielle Verbrauchs- und Einspeisezähler (1.8.0/2.8.0) in diesem Zeitraum lediglich jeweils 0,1/0,2 kWh, während die E-Patrone lt. HC 1 kWh verbrauchte und der Sollwert der Regelung auf -170W eingestellt war. Also stabile Funktion auch unter ungünstigsten Bedingungen.

## 2.9 Verweis auf Normen

- VDE 0106 Teil 101: Bedingungen für „Zusätzliche-, Doppelte-, Verstärkte Isolierung“, sowie Konstruktive Maßnahmen wenn innerhalb eines Gerätes Stromkreise mit verschiedenen Schutzmaßnahmen zusammentreffen.
- EN 50 178 / VDE 0160 Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln
- EN 60 335 / VDE 0700 Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke

### **3 Eine „fast perfekte“ Rollladensteuerung**

#### **3.1 Die Aufgabe**

Für ein Eigenheim sollen für 5 Räume die Rollläden vollautomatisch in Abhängigkeit von Helligkeit, Temperatur und Zeit gesteuert werden. Die Hausfrau legt Wert auf folgende Bedingungen:

- Im Bad soll der Rollladen nicht vor 6:20 Uhr auffahren und früher als die anderen Rollläden wieder zufahren
- Im Wohnzimmer soll der Rollladen spätestens 20:30 Uhr zufahren
- An freien Tagen können die Rollläden später auffahren

Zusätzlich sind folgende Funktionen zu realisieren:

- Im Sommer, wenn es wirklich heiß ist, sollen alle Rollläden über die Mittagszeit 2/3 zufahren
- Im Sommer, wenn es nachts zu warm ist, sollen alle Rollläden abends so schließen, dass noch die Schlitze geöffnet bleiben um ein Lüften der Räume zu gewährleisten

#### **3.2 Die notwendige Hardware**

Neben dem PC als Hauscomputer werden benötigt:

- 1 (ein!) A+D Interface,
- 3 Schaltmodule für die Ansteuerung von Rollladenmotoren
- 1 Helligkeitssensor
- 2 Temperatursensoren (bereits im A+D Interface integriert)

Festgelegt werden: Außentemperatursensor Adresse/Kanal = 1/1, Innentemperatursensor Adresse/Kanal = 1/2, Helligkeitssensor Adresse/Kanal = 1/3

A+D Interface:	Adresse V1 = 2	Adr/Kanal Fern = 2/6	Adr/Kanal Roll_GZ = 3/0
	Adresse V2 = 3	Adr/Kanal Zu = 2/7	Adr/Kanal Roll_Bad = 3/1
	Adresse V7 = 1		Adr/Kanal Roll_Kü = 3/2
			Adr/Kanal Roll_AZ = 3/3
			Adr/Kanal Roll_WZ = 3/4



### 3.3 Der Funktionsschaltplan

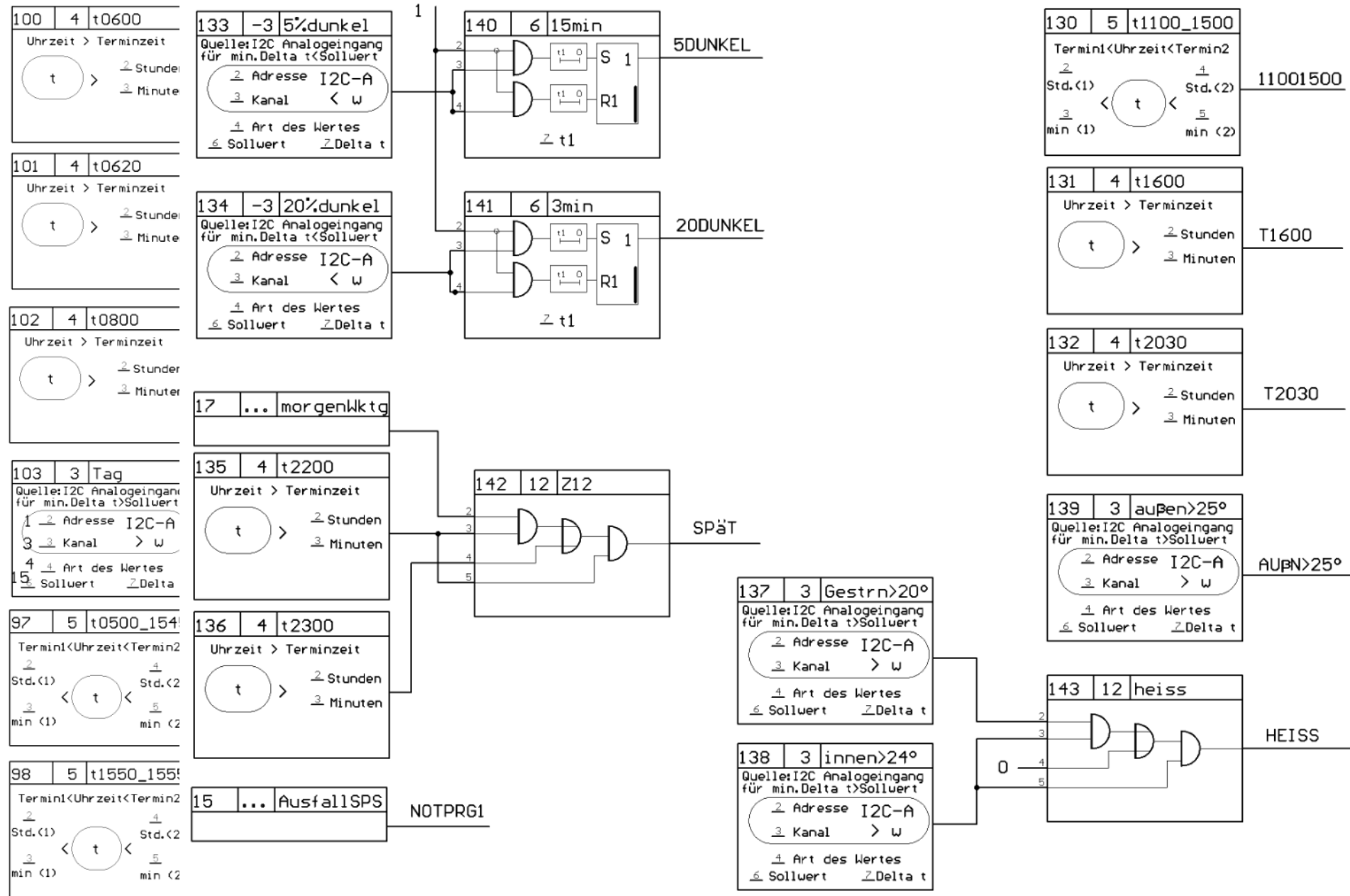
Da die SPS mit Impulssteuerung arbeitet, d.h., lediglich Signaländerungen werden an die Digitalausgänge weitergeleitet, kann man mehrere SPS-Module quasi parallel an einen Schaltausgang anschließen. Diese vorteilhafte Auslegung wird bei der Rollladensteuerung für die Aufgabenteilung genutzt. Ein Bereich von SPS-Modulen wird für das Öffnen und ein anderer unabhängiger Bereich für das Schließen verwendet. Das Öffnen der Rollläden ist relativ simpel. Es gibt zwei verschiedene Signalpfade. Beide besitzen ein Zeitfenster (Modul 100, 101 bzw. 97), ein Verknüpfungsmodul (104 bzw. 105), ein Monoflop (106 bzw. 107) und für jeden Rollladen ein Steuermodul (Module 110- 114). Wenn der Helligkeitssensor 15% erreicht, schaltet für 50s das Monoflop und damit den Digitalausgang ein. Das Zeitfenster bestimmt die frühestmögliche (im Sommer) oder die späteste Öffnungszeit (im Winter) und zwar unabhängig von Helligkeitssensor.

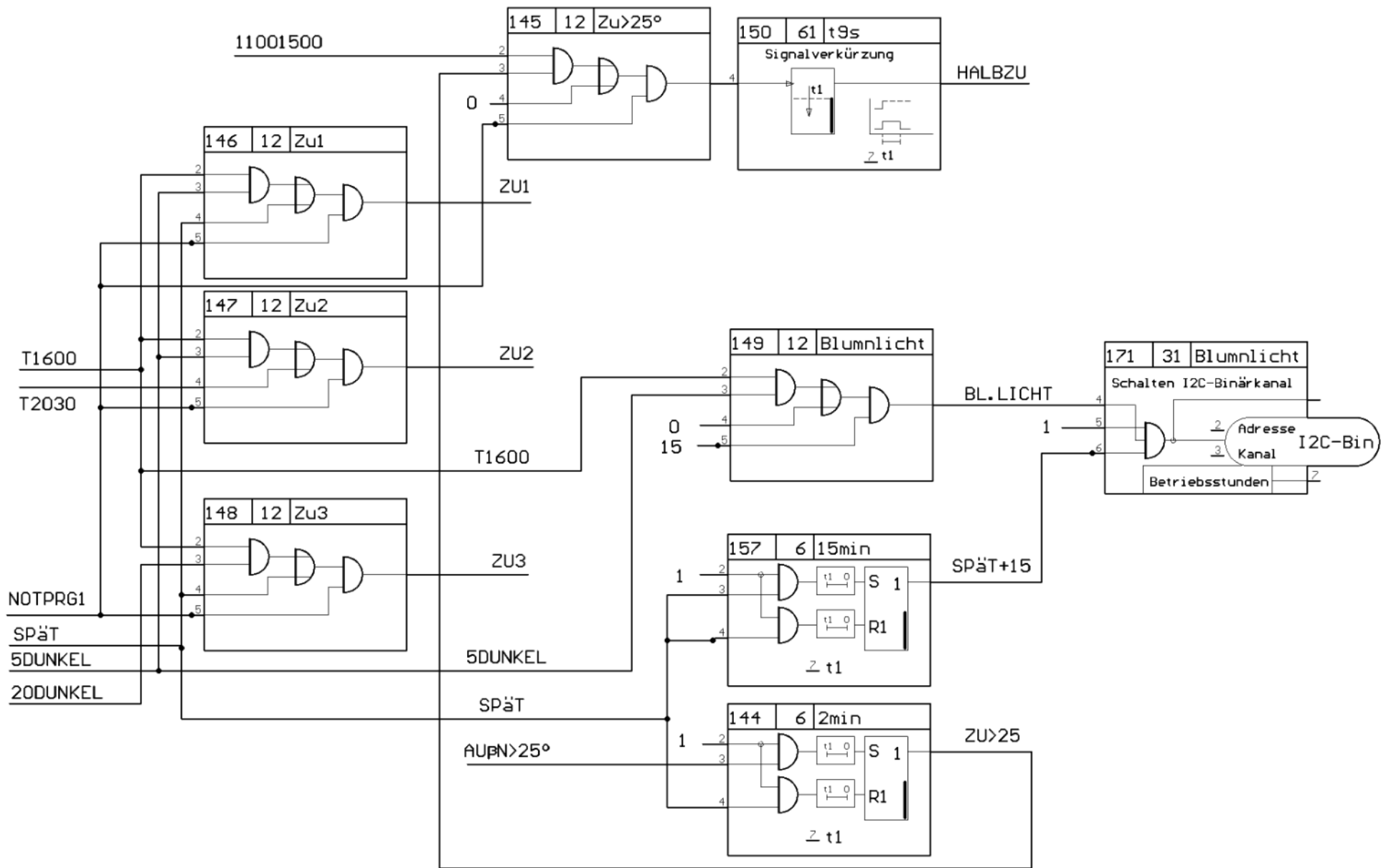
Ein Steuerpfad schaltet das für alle Rollläden geltende Signal FERN 2s vor den Rollläden, damit zuerst die mechanischen Relais und dann die Halbleiterrelais im Nullspannungsdurchgang schalten. Damit fahren alle Rollläden früh auf. Zusätzlich werden alle Rollläden um 15:50 Uhr nochmal aufgefahren um das mittägliche Schließen im Sommer und etwaige Handbetätigungen tagsüber zurückzunehmen. Die Verknüpfung mit Modul 15 verhindert eine Betätigung der Rollläden, wenn die SPS aus irgendeinem Grunde ausfällt. Der Punkt am Eingang von Modul 108 bedeutet, dass das Signal negiert verwendet wird (Minus in der entsprechenden Programmzeile!). Wer aufgepasst hat vermisst das Signal „AUF/ZU“ - die entsprechenden Relais stehen im Ruhezustand ohnehin aus Sicherheitsgründen auf „AUF“, daher brauchen wir das Signal hier nicht.

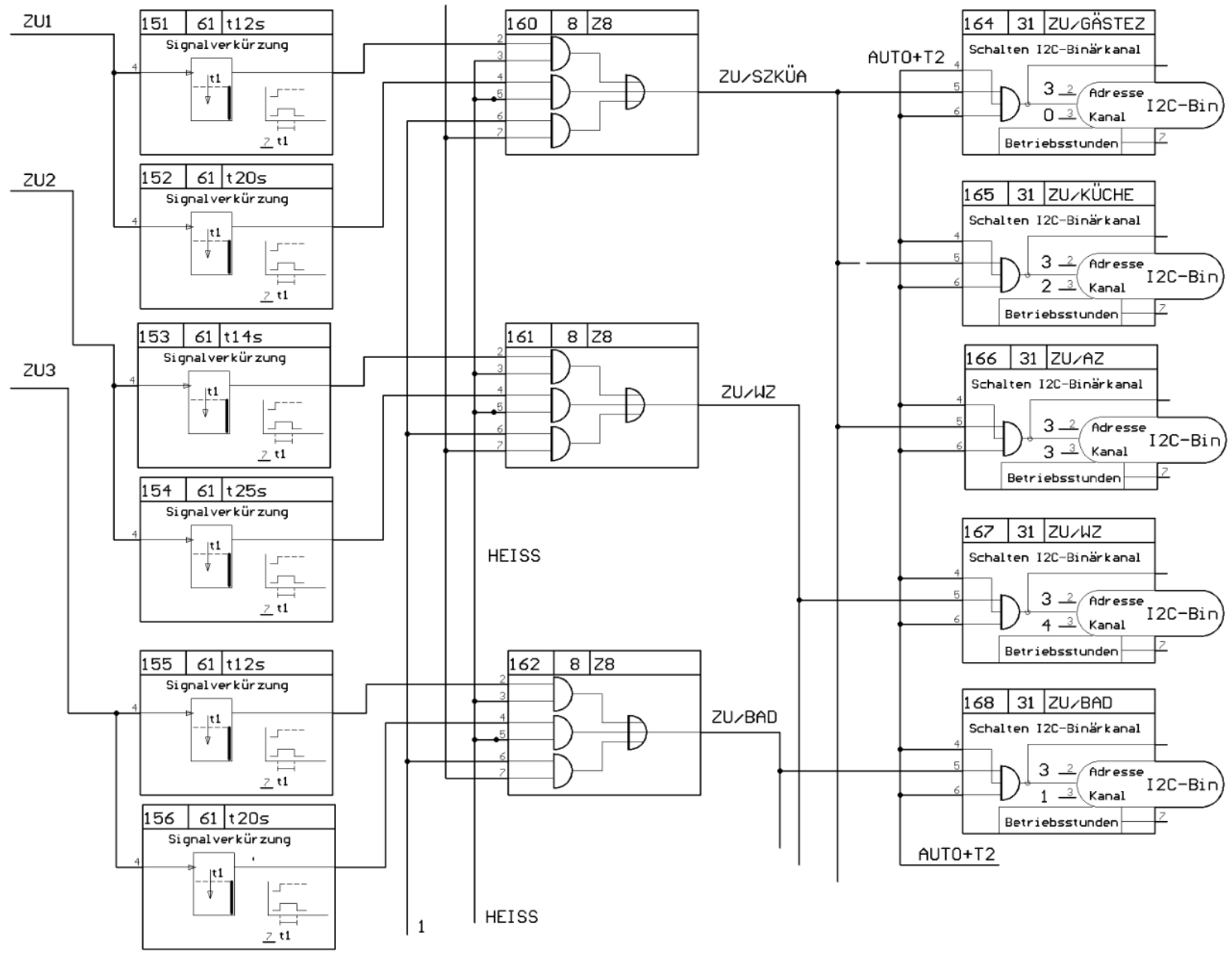
Für das Zufahren der Rollläden gelten die nächsten 4 Schemas. Zunächst werden Die Signale 5DUNKEL und 20DUNKEL vom Helligkeitssensor erzeugt. Die verwendete Delta- Zeit verhindert ein Schalten, wenn Wolken vorüberziehen. Die Module 17, 135, 136 und 142 erzeugen das Signal SPÄT: werktags um 22:00 Uhr, an anderen Tagen 23:00 Uhr. Aus der Außentemperatur, der Innentemperatur und der gestrigen Tagesdurchschnittstemperatur werden die Signale AUSSEN>25 und HEISS erzeugt. Nach einer Verknüpfung mit den Modulen 146- 148 stehen die Signale Zu1, Zu2 und Zu3 für die 5 Rollläden zur Verfügung. Die Rollläden im Gästezimmer, Küche und Arbeitszimmer sind gekoppelt (Zu1). Nebenbei wird mit den Modulen 149, 157 und 171 ein Signal erzeugt dass vom Dunkel werden bis 22:15 Uhr an Werktagen und 23:15 an anderen Tagen anhält. Damit kann man die Beleuchtung im Blumenfenster oder eine Außensteckdose für die Adventsbeleuchtung schalten.

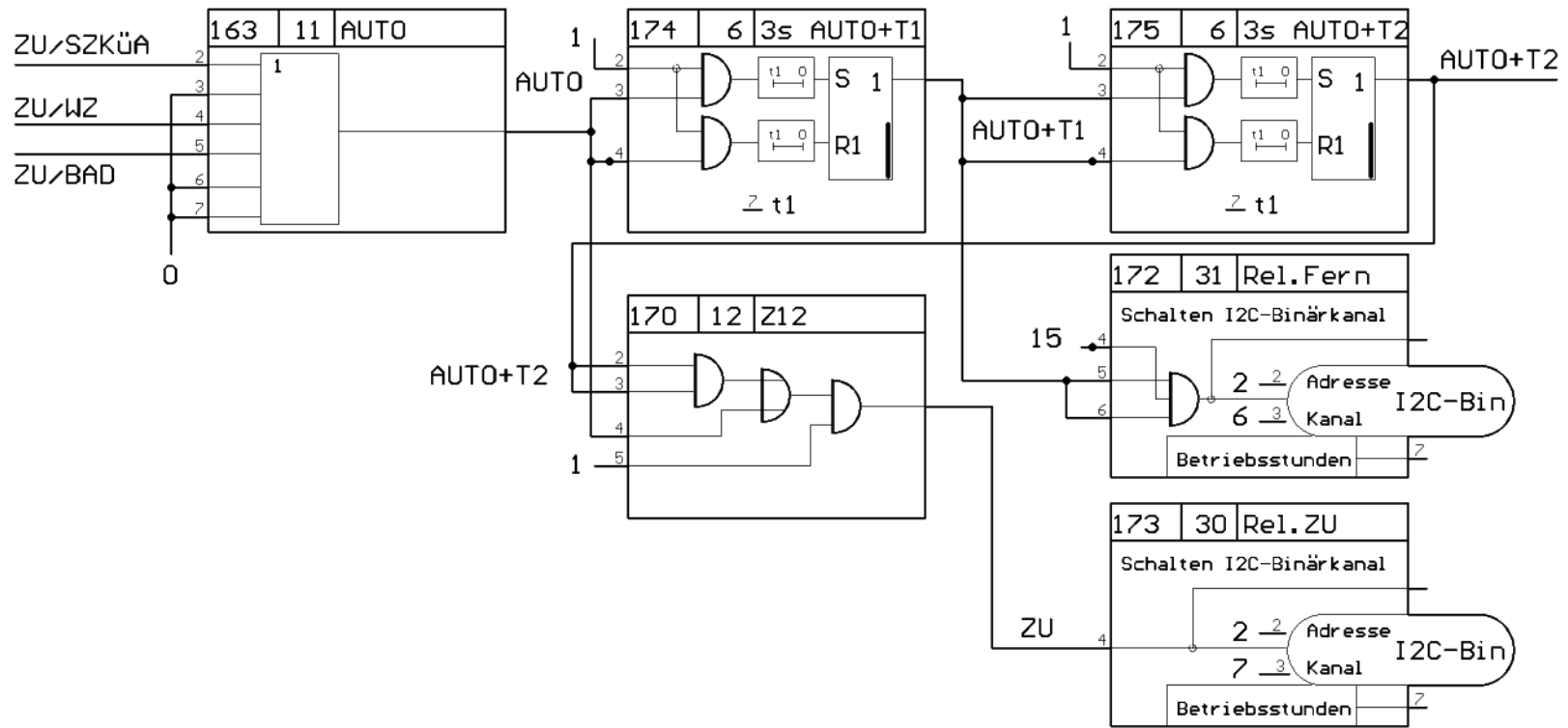
Wenn die Außentemperatur 25°C überschreitet, so schaltet im Zeitraum von 11:00 Uhr bis 15:00 Uhr das Modul 150 für 9s alle Rollläden auf „ZU“. Diese Zeitkonstante bestimmt also wie weit die Rollläden dann zweidrittel zufahren.

Die 4. Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen den Zufahrtsignalen und den Schaltausgängen. Für jeden Strang gibt es zwei Zeitkonstanten: einmal für das normale Zufahren und einmal für das „nicht ganz zufahren“. Über die Module 160 – 162 wird ausgewählt für wie lange die Rollläden fahren: normal, „nicht ganz zu“ oder „halb zu“. Eine Besonderheit ist das Signal AUTO+T2. Es dient wieder zur Zeitverzögerung, wie bei der Auffahrprozedur. Die damit verbundenen Steuersignale sind in der letzten Abbildung dargestellt. Praktisch wird damit vermieden, dass beim gleichzeitigen Abschalten aller Rollläden zuerst die mechanischen Relais trennen und danach die Halbleiterrelais. Bei der einfacheren Vorgängerversion kam es deshalb 1 – 2 Mal im Jahr zu einem elektromagnetischen Impuls, der die Hauptsicherung auslöste, obwohl kein Fehler vorlag. Komplizierte Strukturen erzeugen manchmal ein Eigenleben! Die Datei Hauscomp.ini im Verzeichnis „Rollladensteuerung“ enthält die fertige Umsetzung mit neueren Zeitkonstanten. Die angefügten Kommentare erleichtern eigene Anpassungen. Auch ein einfaches Rollladen- Menü im Bereich „Anwendung..“ ist dabei enthalten.









### 3.4 Die Umsetzung in der Hauscomp.ini

```
[GLOBAL]

*Norm=ANSI ,wenn diese äöüÄÖÜß - Umlaute lesbar sind.
*Norm=ASCII,wenn diese ž™š,,“ⓐ - Umlaute lesbar sind.
Norm=ANSI
Modus=normal ;bzw. Modus=Demo
Hinweis!=2 3
TasteOK= 2 4
Sommerzeit=auto
*Wochenkorrektur=+53 (PC-Uhr wird jeden Sonnabend 02:30 um 53 Sekunden vorgestellt)

PCF8591=PCF8591/0 Interface PCF8591/2 PCF8591/3 PCF8591/4 PCF8591/5 PCF8591/6 PCF8591/7

[Interface]
*Sensor= Bezeichnung Einheit Adresse Kanal Abfragefrequenz 2-3 Wertepaare*

Sensor=Außentemp °C 1 1 90 0 63 +40.0 145 +80.0 217
Sensor=Innentemp °C 1 2 90 0 63 +40.0 145 +80.0 217
Sensor=Außenlicht % 1 3 30 0 10 100 230
Analog=A/D E/A 1 0 0 0 1 255

PCF8574P=P_8574P/0 P_8574P/1 Intf_2 Intf_3 P_8574P/4 P_8574P/5 P_8574P/6 P_8574P/7

*Binär=Bezeichnung Adresse Kanal Typ
*Typ: 1 - Aus und Eingang 0 - nur Eingang
Binär=Bwg.Sensor 2 0 1
Binär=Eing.1 2 1 1
Binär=Eing.2 2 2 1
Binär=Hinweis! 2 3 1
Binär=Bestätig. 2 4 1
Binär=Alarm_Eing 2 5 1
Binär=Relais_Fern 2 6 1
Binär=Relais_Zu 2 7 1
Binär=Roll_GZ 3 0 1
Binär=Roll_Bad 3 1 1
Binär=Roll_Kü 3 2 1
Binär=Roll_AZ 3 3 1
```

```

Binär=Roll_WZ          3 4 1
Binär=Sirene           3 5 1
Binär=Lüfter_I        3 6 1
[Programmierung Bildschirmanzeigen]

```

```

graph_b=      16    2 5 2    ;Prüfen Relais 'ZU'
graph_b=      14    8 171 6  ;Anzeige Blumenlicht
graph_b=      13    8 118 11  ;Fern-Anzeige

```

[Programmierung Menüs]

```

Menü11x= 110 Rollläden..
Zeile=   110 0 5 99    /alle Rollläden auffahren
Zeile=   110 1 5 146   /Zu1
Zeile=   110 2 5 147   /Zu2
Zeile=   110 3 5 148   /Zu3

```

[Programmierung Zustände]

```

/Rollladensteuerung -auffahren-
z=97 5 t0500_1545 5 0 15 45 /Uhrzeit zwischen 05:00 und 15:45
z=98 5 t1550_1555 15 50 15 55 /Uhrzeit zwischen 15:50 und 15:55
z=99 12 alle_AUF 97 97 98 1 /Freigabesignal "Auffahren"
z=100 4 t0600 6 0 /Uhrzeit > 06:00
z=101 4 t0620 6 20 /Uhrzeit > 06:20
z=102 4 t0800 8 0 /Uhrzeit > 08:00
z=103 3 Tag 1 3 4 8 300 /Tageslicht heller 8% für min 5 min
z=104 12 Auf1 100 103 102 99 /Auf1
z=105 12 Auf2 101 103 102 99 /Auf2
z=106 61 Auf/1 104 50 /Auffahren 1 für 50 s
z=107 61 Auf/2 105 50 /Auffahren 2 für 50 s
z=108 12 Fern/auf 107 107 106 -15 /Relais Fern EIN,wenn Auf/1 oder Auf/2
z=109 30 Fern 115 2 6 /Relais FERN
z=110 31 WZ 107 108 116 3 4 /H-Relais WZ
z=111 31 AZ 107 108 116 3 3 /H-Relais AZ
z=112 31 KÖche 106 108 116 3 2 /H-Relais Küche
z=113 31 Bad 107 108 116 3 1 /H-Relais Bad
z=114 31 SZ 106 108 116 3 0 /H-Relais Gäste
z=115 12 Fern 108 108 116 1 /Logikverknüpfung

```



```

z=116 6 verz 1 108 -108 3 /Zeitverzögerung 3s
z=117 2 Fern 2 4 0
z=118 61 Fern 117 300 /für Anzeige in Grafik FERN f0r 300s ein
/Rollladensteuerung -zufahren-
z=130 5 t1000_1500 10 0 15 0 /Uhrzeit zwischen 10:00 und 15:00
z=131 4 t1600 16 0 /Uhrzeit > 16:00
z=132 4 t2030 20 30 /Uhrzeit > 20:30
z=133 -3 5%dunkel 1 3 4 5 60 /Tageslicht dunkler als 5% f0r min 1 min
z=134 -3 20%dunkel 1 3 4 10 60 /Tageslicht dunkler als 20% f0r min 1 min
z=135 4 t2200 22 0 /Uhrzeit > 22:00
z=136 4 t2300 23 0 /Uhrzeit > 23:00
z=137 3 Gestrn>20ø 1 1 20 20 0 /Tagemittelaussentemperatur gestern >20øC
z=138 3 innen>24ø 1 2 4 24 60 /Innentemperatur >24øC f0r min 1 min
z=139 3 auäen>25ø 1 1 4 25 60 /Außentemperatur >25øC f0r min 1 min
z=140 6 15min 1 133 -133 900 /Zeitverzögerung 15 min
z=141 6 15min 1 134 -134 900 /Zeitverzögerung 15 min
z=142 12 Sp,,t 17 135 136 135 /Signal "Spät"
z=143 12 heiss 137 138 0 138 /Signal "heiss"
z=144 6 2min 1 139 142 120 /Verknüpfung
z=145 12 Zu>25ø 130 144 0 -15 /zufahren
z=146 12 Zu1 131 140 142 -15 /zufahren 1
z=147 12 Zu2 131 140 132 -15 /zufahren 2
z=148 12 Zu3 131 141 142 -15 /zufahren 3
z=149 12 Blumlicht 131 140 0 -15 /Verknüpfung
z=150 61 t11s 145 14 /Zeit halb-zufahren
z=151 61 t12s 146 17 /Zeit fast-zufahren 1
z=152 61 t22s 146 25 /Zeit ganz-zufahren 1
z=153 61 t14s 147 19 /Zeit fast-zufahren 2
z=154 61 t27s 147 30 /Zeit ganz-zufahren 2
z=155 61 t12s 148 17 /Zeit fast-zufahren 3
z=156 61 t22s 148 25 /Zeit ganz-zufahren 3
z=157 6 15min 1 142 -142 900 /spät+15min

z=160 8 Z8 151 143 152 -143 1 150
z=161 8 Z8 153 143 154 -143 1 150
z=162 8 Z8 155 143 156 -143 1 150
z=163 11 AUTO 160 161 162 0 0 0
z=164 31 ZU/SZ 160 175 175 3 0
z=165 31 ZU/K0che 160 175 175 3 2
z=166 31 ZU/AZ 160 175 175 3 3
z=167 31 ZU/WZ 161 175 175 3 4

```

```
z=168 31 ZU/Bad      162 175 175  3  1
z=170 12 ZU          175 175 163  1      /Rel.zu=AUTO OR AUTO+T2
z=171 31 Blumlicht  149 1  -157  3  5/vor Aktivierung Binärkanal zuweisen!
z=172 31 Rel.Fern   -15 174 174  2  6 /I2C-Bin Rel.zu
z=173 30 Rel.Zu     170  2  7
z=174  6 AUTO+T1    1 163 -163  3      /Zeitverzögerung 3s
z=175  6 AUTO+T2    1 174 -174  3      /Zeitverzögerung 3s
```

## 4 Vorschlag für eine Alarmanlage mit Komfort

### 4.1 Die Aufgabe

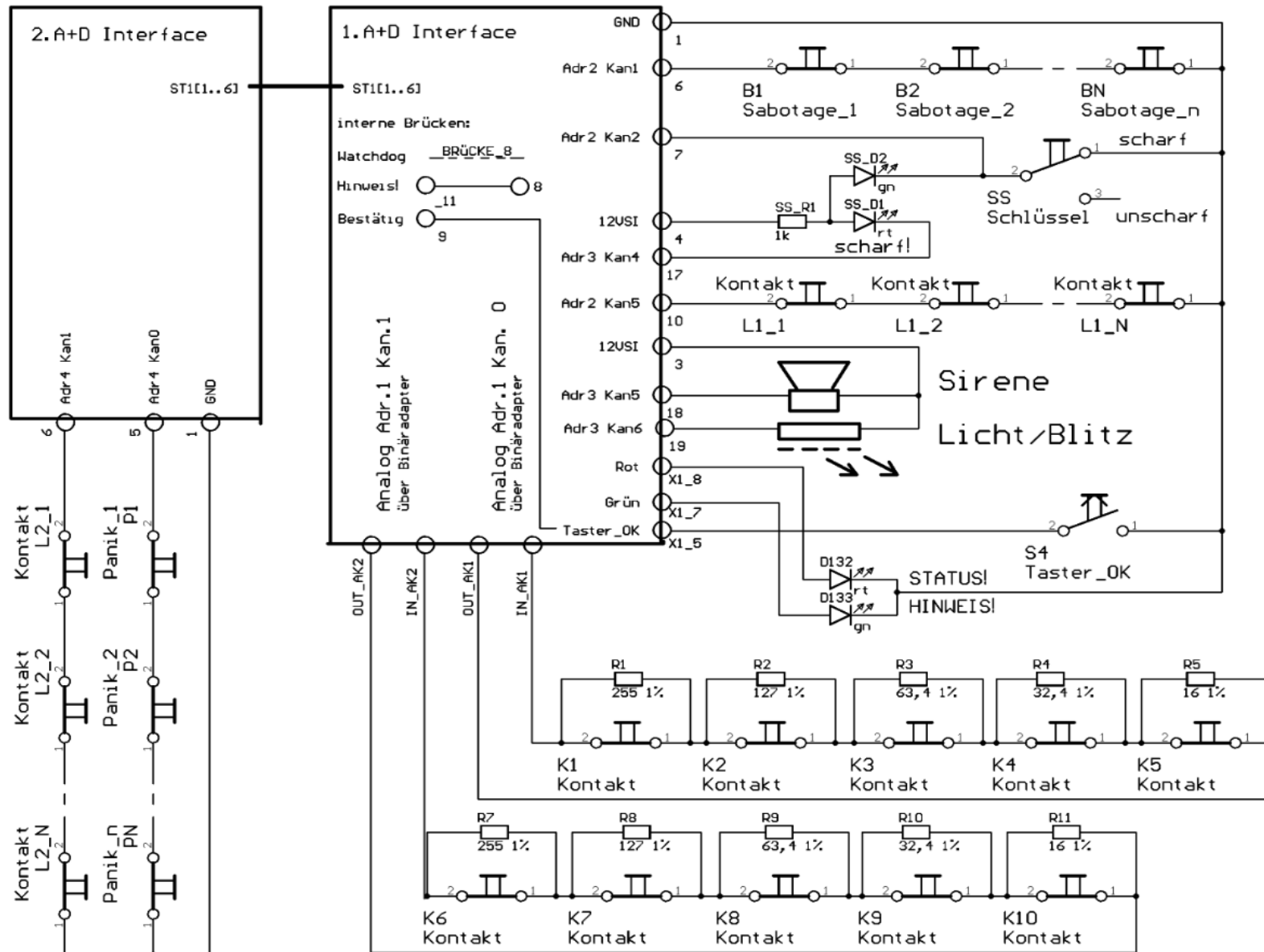
Ein Eigenheim soll mit einer Alarmanlage mit folgenden Funktionen ausgestattet werden:

- 2 Meldekreise mit insgesamt 10 Kontakten, die einzeln detektiert werden können (später erweiterbar);
- 2 herkömmliche Meldekreise;
- Scharfschaltung über Schlüsselschalter (mit Zustandssignalisation) oder PC-Tastatur;
- 1 Sabotagekreis;
- 1 Ausgang für eine Alarmsirene (max. 3 min Auslösezeit);
- 1 Ausgang für Lichtsignalisation (Blitz) und/oder Telefonwählgerät;
- Zustandsanzeige für alle Meldekreise und Einzelkontakte auf dem Monitor;
- Speicherung und Anzeige von Alarmauslösungen (Laufschrift);
- Paniktaster;

### 4.2 Die notwendige Hardware

Neben dem PC als Hauscomputer werden benötigt:

- |  |                    |                 |   |
|--|--------------------|-----------------|---|
| • 2 A+D Interface ;  | 1. A+D Interface:  | Adr. V2/3 - 2/3 | Adr. V7 - 1                                       |
|  | 2. A+D Interface:  | Adr. V2/3 - 4/5 | Adr. V7 - beliebig                                |
| • 2 Binär- Anschlussadapter für jeweils 5 Kontakte;          | analog Adr./ Kanal | - 1/0 bzw. 1/1  |   |
| • diverse Magnetkontakte für Türen und Fenster;              | binär Adr./ Kanal  | - 2/1           | „Sabotage“ (Sabotagering)                         |
|  | binär Adr./ Kanal  | - 2/2           | „Schlüssel“ (Schlüsselschalter mit Signalisation) |
|  | binär Adr./ Kanal  | - 2/5           | „Schleife1“ (1. Alarmkreis)                       |
|  | analog Adr./ Kanal | - 1/0           | „Adapter_1“ (Alarm Kontakt 1-5)                   |
|  | analog Adr./ Kanal | - 1/1           | „Adapter_2“ (Alarm Kontakt 6-10)                  |
|  | binär Adr./ Kanal  | - 4/0           | „Paniktaste“ (Paniktaster)                        |
|  | binär Adr./ Kanal  | - 4/1           | „Schleife2“ (2. Alarmkreis)                       |
| • LED am Schlüsselschalter zur Signalisation Scharfschaltung | binär Adr./ Kanal  | - 3/4           | „LED“ (Signalisation scharf)                      |
| • Alarmsirene 12V;   | binär Adr./ Kanal  | - 3/5           | „Sirene“ (Alarmsirene)                            |
| • Lichtsignalisation bzw. Alarmausgang 12V;                  | binär Adr./ Kanal  | - 3/6           | „Alarm_A“ (Lichtsignalisation)                    |



Anschlußplan der Alarmanlage, einschließlich der internen Brücken im ersten A+D Interface

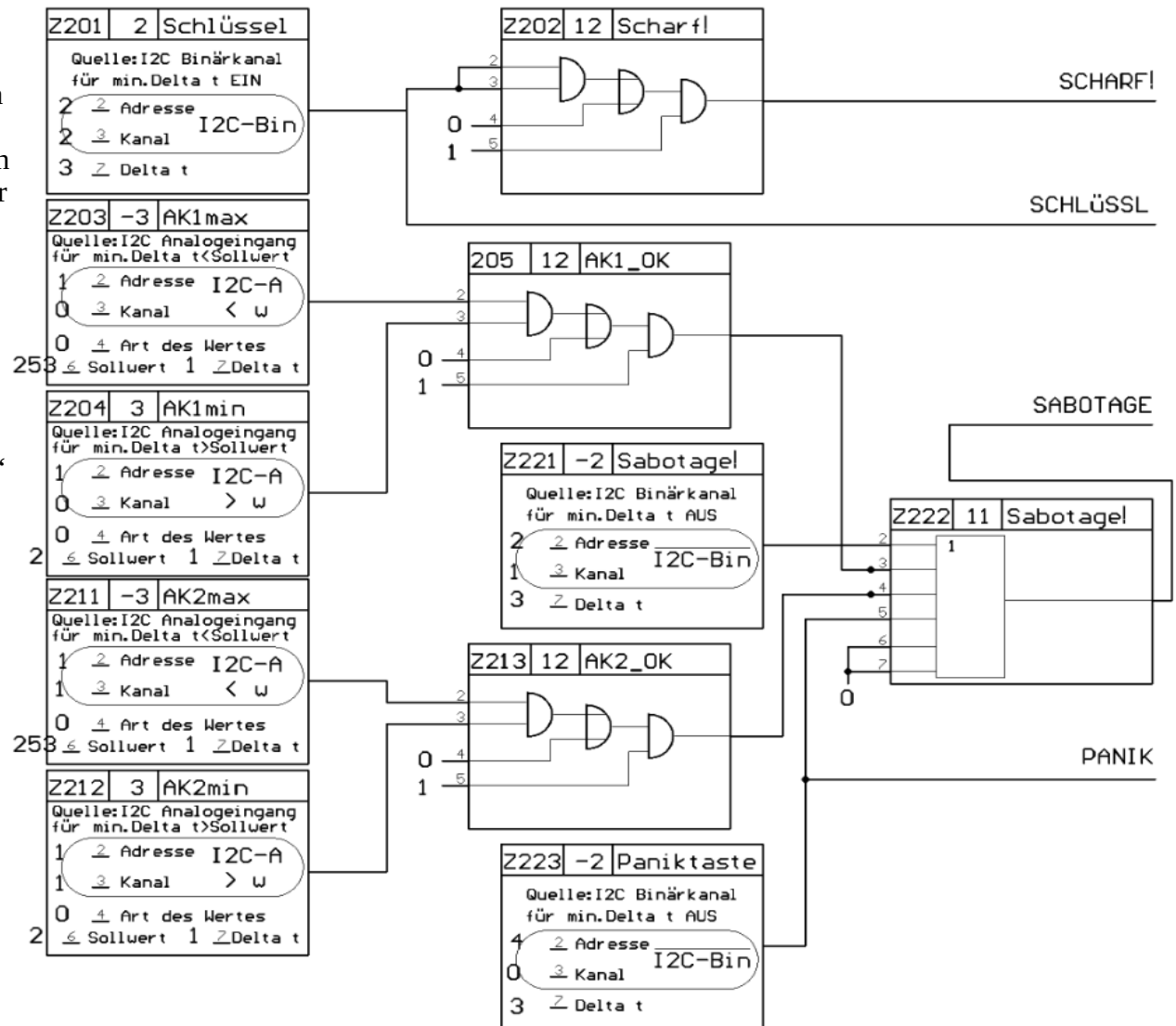
## 4.3 Der Funktionsschaltplan

Die Alarmanlage wird zunächst hardwareseitig, wie im obigen Anschlussplan gezeichnet, angeschlossen. Die nachfolgenden Funktionspläne zeigen die Wirkungsweise der Alarmanlage.

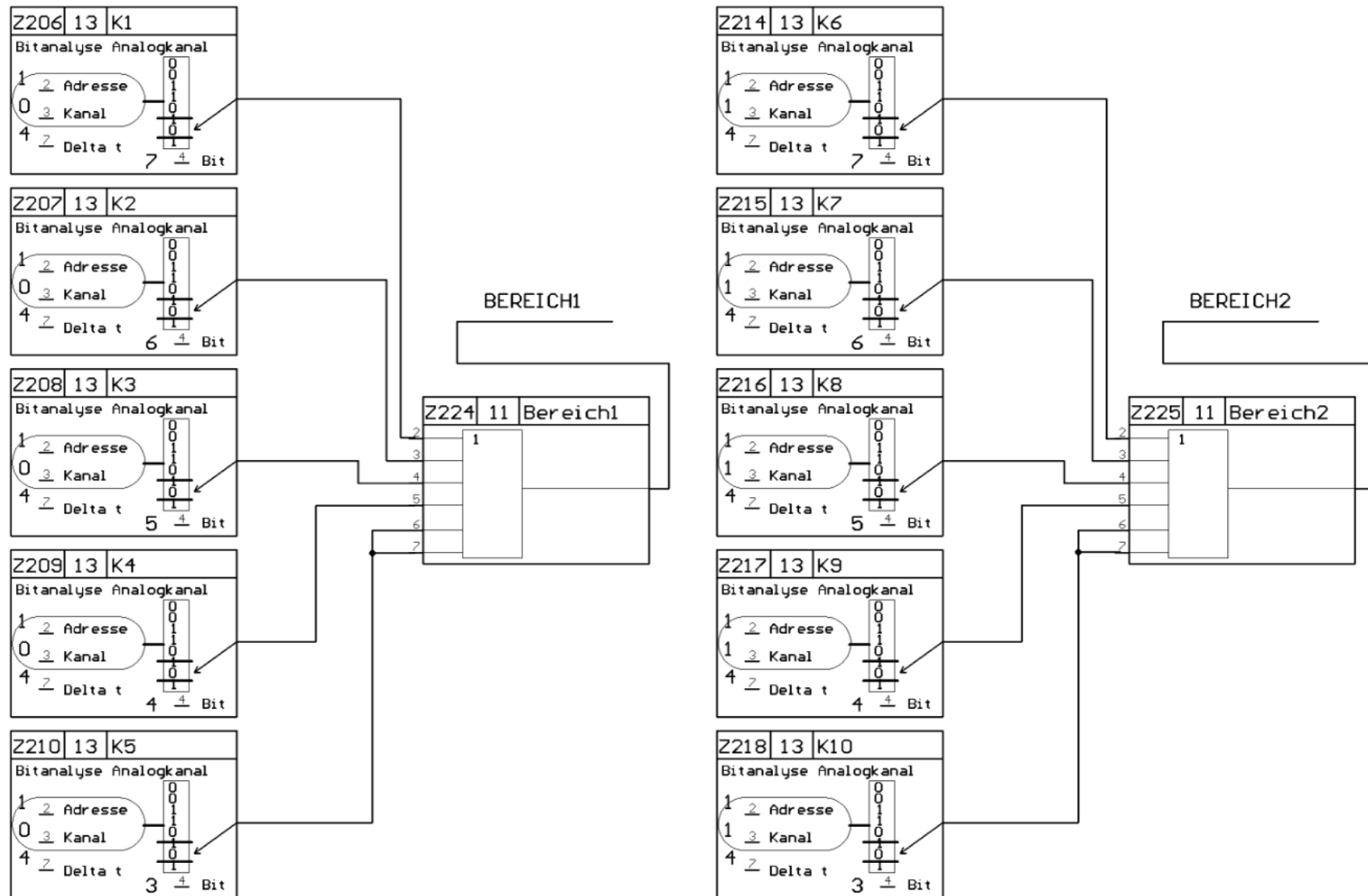
Die Module Z201 und Z202 fragen den zentralen Schlüsselschalter ab und erzeugen die Signale „Scharf!“ und „Schlüssel“. Der Schlüsselschalter kann auch als Riegelschalter in der Haustür ausgeführt werden. Mit dem üblichen Haustürschlüssel wird dann die Alarmanlage scharf und unscharf geschaltet. Über Z202 lassen sich später noch andere Bedingungen in die Scharfschaltung der Anlage einbringen.

Die beiden analog- binär Adapter AK1 und AK2 werden mit Z203-Z205 bzw. Z211-Z213 auf Über- oder Unterschreitung der Leitungswiderstände analysiert. Zusammen mit der Abfrage des (in der Regel immer geschlossenen) Sabotageringes und des Paniktastenringes wird in Z222 das Signal „Sabotage“ gebildet.

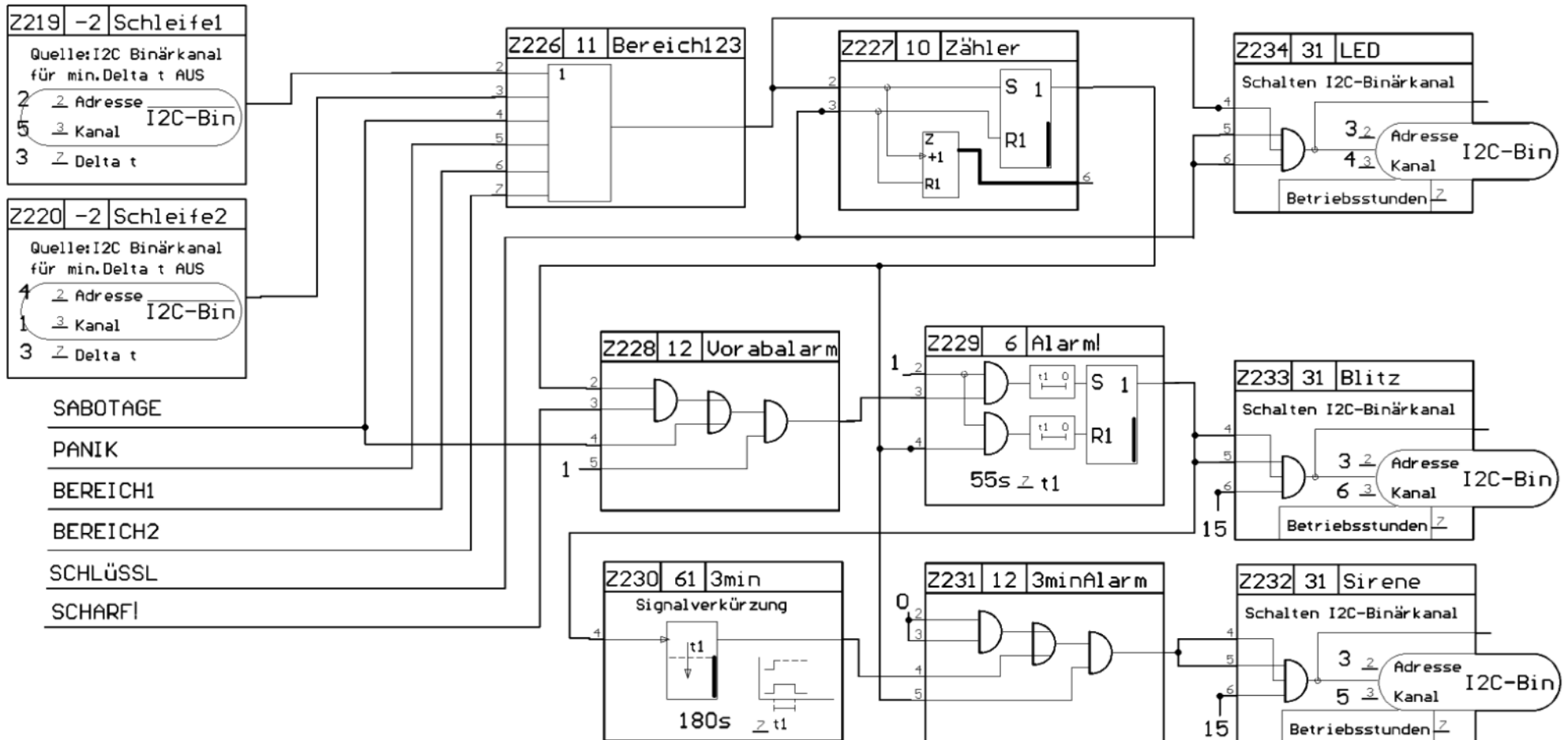
Zusätzlich steht das Signal „Panik“ zur Verfügung.



Die Module Z206- Z210 bzw. Z214- Z218 legen über die beiden Analog- Kanäle eine Bitmaske und detektieren so die Schalter K1- K10. Mit den Modulen Z224 und Z225 werden die für die Alarmauslösung relevanten Kontakte ODER- verknüpft. Nicht benötigte Eingänge werden an Modul „0“ oder an einen bereits angeschlossenen Modul gelegt. Letztlich werden dadurch die Alarm- Signale „Bereich1“ und „Bereich2“ erzeugt.



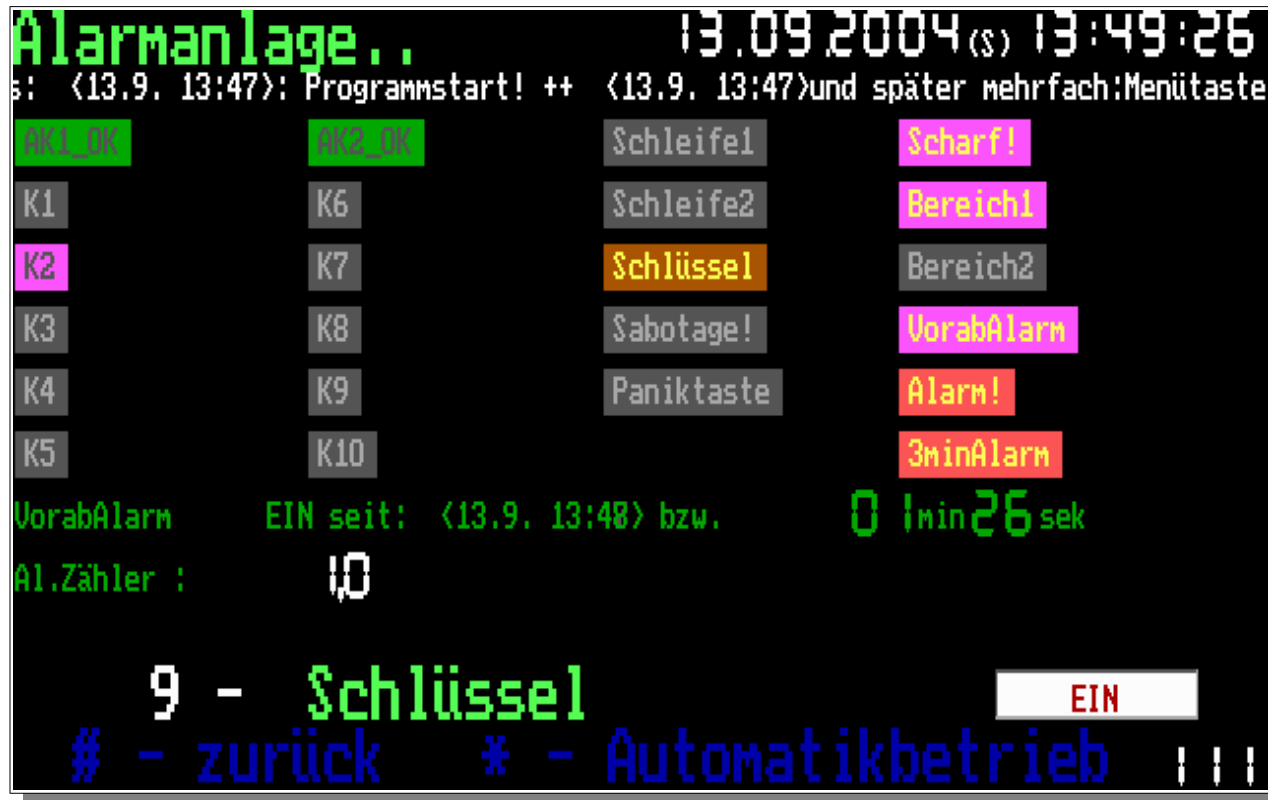
Die nun folgenden Verknüpfungen erzeugen aus den bereitgestellten Signalen zum einen in Modul Z228 den Vorab- oder Sofortalarm und mit einer Verzögerung von 55s den eigentlichen Alarm, der zur Auslösung der Lichtsignalisation und der Sirene genutzt wird. Z230 und Z231 bewirken die automatische Abschaltung der Sirene nach 3min. Das Zählmodul Z227 hat die Aufgabe, die Zahl der Alarmauslösungen für die Anzeige zur Verfügung zu stellen. Der Zähler wird durch den Schlüsselschalter zurückgesetzt. Modul Z234 schaltet die rote LED am Schlüsselschalter zur Bestätigung, dass die Anlage scharf ist und kein Alarm anliegt (alle Türen zu). Die grüne LED zeigt die Betriebsbereitschaft der Anlage, wenn der Schlüsselschalter betätigt wird.



In der Hauscomp.ini sind noch einige Zeilen für die Anzeige vorgesehen. Sie bewirken die Initialisierung der Anwendungsseite 111 als „Alarmanlage“



mit der Menütaste „Schlüssel“ zum schärfen/entschärfen unabhängig vom Schüsselschalter:



Im vorliegenden Beispiel wurde Kontakt K2 geöffnet. Da der Schüsselschalter aktiviert ist („Schlüssel“ leuchtet) und somit die Anlage scharf ist, wurde Vorab- Alarm ausgelöst. 55s nach der Auslösung des Vorab- Alarms erfolgte die Auslösung „Alarm“ und „3minAlarm“. Der Alarmzähler zeigt „1“ an.

Auf der automatisch angezeigten Seite 95 „Hausparameter“ werden die Signale „Scharf!“, „Alarm!“ und „Sabotage!“ dargestellt. Zusätzlich habe ich die Kodewerte der beiden analog- binär Adapter mit auf diese Seite genommen, um zumindest in der Erprobungsphase Erfahrungen mit dieser neuen Technik zu gewinnen. Selbstverständlich können alle Einstellungen individuell angepasst werden; K2 kann man z.B. auch Kellertür nennen. Es reicht in der Zeile Z=207.. „K2“ durch „Kellertür“ zu ersetzen. Beim Auslösen von Alarm wird automatisch die Seite 111 angezeigt (SPS-Modul 235).

## 4.4 Die Umsetzung in der Hauscomp.ini

[GLOBAL]

\*Norm=ANSI ,wenn diese äöüÄÖÜß - Umlaute lesbar sind.

\*Norm=ASCII,wenn diese ž™š,,“ⓐ - Umlaute lesbar sind.

Norm=ANSI

Modus=normal ;bzw. Modus=Demo

Hinweis!=2 3

TasteOK= 2 4

Bundesland=12

Sommerzeit=auto

\*Wochenkorrektur=+53 (PC-Uhr wird jeden Sonnabend 02:30 um 53 Sekunden vorgestellt)

PCF8591=PCF8591/0 Interface PCF8591/2 PCF8591/3 PCF8591/4 PCF8591/5 PCF8591/6 PCF8591/7

[Interface]

\*Sensor= Bezeichnung Einheit Adresse Kanal Abfragefrequenz 2-3 Wertepaare\*

Sensor=Adapter\_1 Einh 1 0 0 0 0 255 255

Sensor=Adapter\_2 Einh 1 1 0 0 0 255 255

PCF8574P=P\_8574P/0 P\_8574P/1 Intf\_2 Intf\_3 P\_8574P/4 P\_8574P/5 P\_8574P/6 P\_8574P/7

\*Binär=Bezeichnung Adresse Kanal Typ

\*Typ: 1 - Aus und Eingang 0 - nur Eingang

Binär=Sabotage 2 1 1

Binär=Schlüssel 2 2 1

Binär=Hinweis! 2 3 1

Binär=Bestätig. 2 4 1

Binär=Schleife\_1 2 5 1

Binär=LED\_ROT 3 4 1

Binär=Sirene 3 5 1

Binär=Alarm\_A 3 6 1

Binär=Paniktaste 4 0 1

Binär=Schleife\_2 4 1 1

[Programmierung Grafik]

```
graph_b= 3 8 202 11 ;Scharfschaltung
graph_b= 4 8 228 10 ;Vorabalarm
```

[Programmierung Bildschirmanzeigen]

```
*Anzeige=Seite Anzeigetyp Adresse Kanal X Y P1 P2 MIN MAX welcherpar
Anzeige= 95 2 1 0 1 1 1 2 6 250 0 ;
Anzeige= 95 2 1 1 1 2 1 2 6 250 0 ;
Anzeige= 95 9 8 202 550 0 7 14 8 13 1 ;Scharf!
Anzeige= 95 9 8 229 550 1 7 14 8 12 1 ;Alarm!
Anzeige= 95 9 8 222 550 2 7 14 8 12 1 ;Sabotage!

Anzeige= 111 9 8 205 1 0 14 8 12 2 1 ;Anzeige AK1 OK
Anzeige= 111 9 8 206 1 1 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 207 1 2 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 208 1 3 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 209 1 4 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 210 1 5 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 213 150 0 14 8 12 2 1 ;Anzeige AK2 OK
Anzeige= 111 9 8 214 150 1 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 215 150 2 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 216 150 3 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 217 150 4 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 218 150 5 7 8 8 13 1 ;Anzeige Kontakt
Anzeige= 111 9 8 219 300 0 7 14 8 6 1 ;Schleife Alarm_E1
Anzeige= 111 9 8 220 300 1 7 14 8 6 1 ;Schleife Alarm_E2
Anzeige= 111 9 8 201 300 2 7 14 8 6 1 ;Schlüsselschalter
Anzeige= 111 9 8 222 300 3 7 14 8 12 1 ;Sabotageleitung
Anzeige= 111 9 8 223 300 4 7 14 8 12 1 ;Paniktaste
Anzeige= 111 9 8 202 450 0 7 14 8 13 1 ;Scharf!
Anzeige= 111 9 8 224 450 1 7 14 8 13 1 ;Bereich1
Anzeige= 111 9 8 225 450 2 7 14 8 13 1 ;Bereich2
Anzeige= 111 9 8 228 450 3 7 14 8 13 1 ;Vorabalarm bzw. stiller Alarm
Anzeige= 111 9 8 229 450 4 7 14 8 12 1 ;Alarm!
Anzeige= 111 9 8 231 450 5 7 14 8 12 1 ;Alarm3min!
Anzeige= 111 10 8 228 1 6 1 0 0 0 0 ;Alarm Auslösungen
Anzeige= 111 2 8 227 1 7 0 0 0 1e3 0 ;Anzahl der Al.Auslösungen
```

[Programmierung Bildschirm-Menüs]

Menü11x= 111 Alarmanlage..

Zeile= 111 9 1 201 /Scharf/Unscharf/Automat schalten (imitation Schlüssel)

[Programmierung SPS-Module]

/Alarmanlage

```
z=201  2 Schlüssel      2  2  3      /Schlüsselschalter lesen
z=202 12 Scharf!      201 201  0  1      /Verknüpfung für Signal: Anlage_scharf!
z=203 -3 AK1max        1  0  0 253 1 /Ein, wenn U<254 Kodeeinheiten
z=204  3 AK1min        1  0  0  2 1 /Ein, wenn U>3 Kodeeinheiten
z=205 12 AK1_OK      203 204  0  1      /Ein, wenn AK1-Leitung OK ist
z=206 13 K1           1  0  7  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=207 13 K2           1  0  6  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=208 13 K3           1  0  5  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=209 13 K4           1  0  4  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=210 13 K5           1  0  3  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=211 -3 AK2max        1  1  0 253 1 /Ein, wenn U<254 Kodeeinheiten
z=212  3 AK2min        1  1  0  2 1 /Ein, wenn U>3 Kodeeinheiten
z=213 12 AK2_OK      211 212  0  1      /Ein, wenn AK2-Leitung OK ist
z=214 13 K6           1  1  7  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=215 13 K7           1  1  6  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=216 13 K8           1  1  5  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=217 13 K9           1  1  4  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=218 13 K10          1  1  3  4      /Detektierung Kontakt in Alarmschleife
z=219 -2 Schleife1    2  5  3      /Alarmschleife 1 lesen
z=220 -2 Schleife2    4  1  3      /Alarmschleife 2 lesen
z=221 -2 Sabotage!    2  1  3      /Sabotageleitung lesen
z=222 11 Sabotage!    221 -205 -213 223 0 0 /Oder Verknüpfung aller überwachten Leitungen
z=223 -2 Paniktaste   4  0  3      /Panikschalter lesen
z=224 11 Bereich1     206 207 208 209 210 210 /OR Verknüpfung Bereich1 unsicher
z=225 11 Bereich2     214 215 216 217 218 218 /OR Verknüpfung Bereich2 unsicher
z=226 11 Bereich123   219 220 222 223 224 225 /OR Verknüpfung insgesamt unsicher
z=227 10 Al.Zähler    226 -201      /Alarmzähler, wird durch Schlüssel zurückgesetzt
z=228 12 VorabAlarm   227 202 222 1 /sofortiger Alarm
z=229  6 Alarm!       1  228 -227 55 /Alarm wird um 55s verzögert gesetzt (Leuchte)
```

z=230	61	3min	229	180				/Signaldehnung 3min
z=231	12	3minAlarm	0	0	230	227		/max. 3min langer Alarm (Sirene)
z=232	31	Sirene	231	231	-15	3	5	/Sirene schalten
z=233	31	Blitz	229	229	-15	3	6	/Blitzleuchte schalten
z=234	31	LED	-226	201	201	3	4	/LED am Schlüsselschalter schalten
z=235	94	Seite111	111	228	228			/Bildschirmseite 111 wird eingeschaltet, wenn Vorabalarm ausgelöst wird