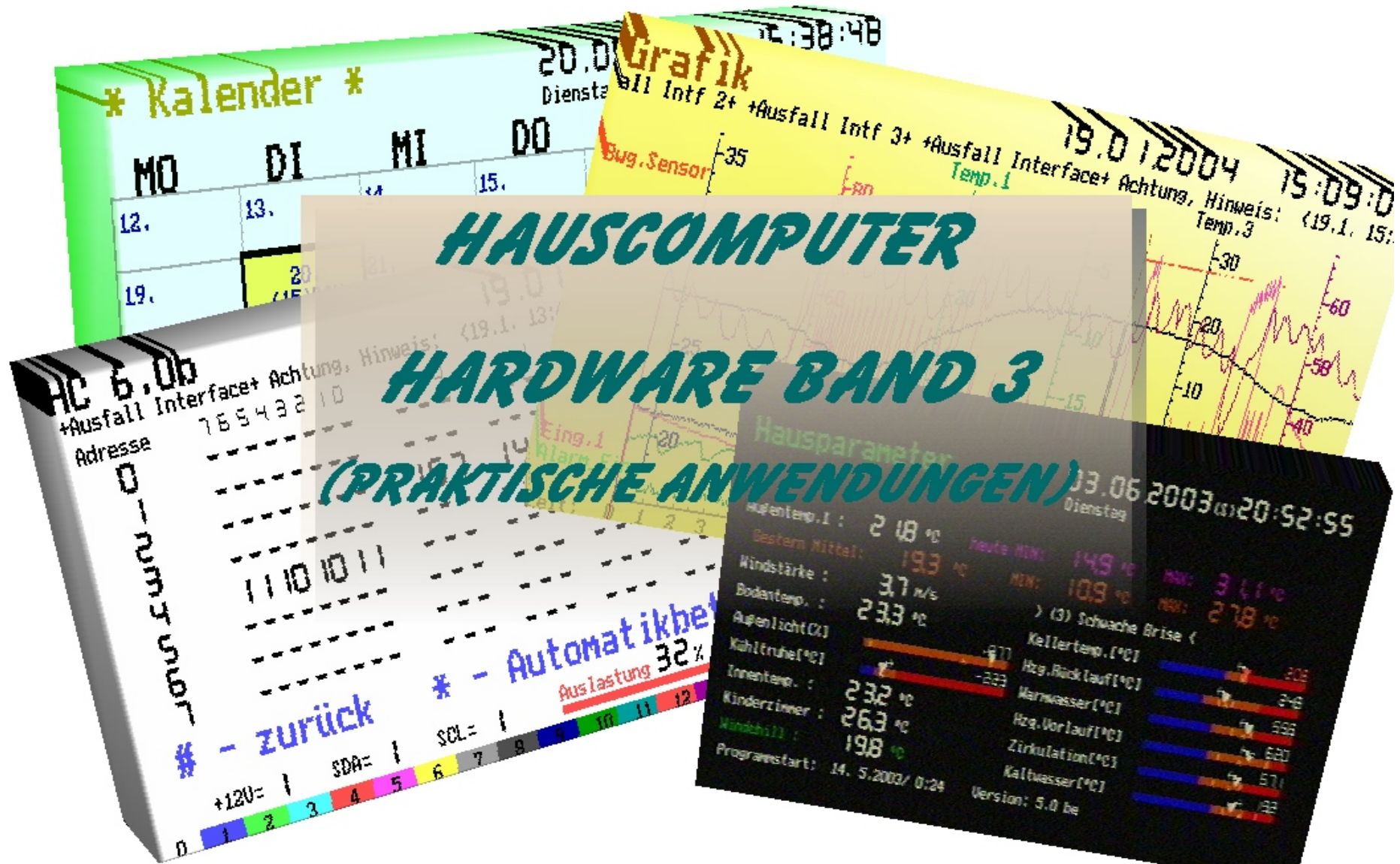




Autor: Dipl. Ing. Uwe Behrndt ubehrndt@web.de

Inhaltsverzeichnis

1. Der Weg zum „Hauscomputer“	4
1.1 Von der Idee zum praktischen Aufbau einer Haussteuerung.....	4
1.2 Die Hardware.....	4
1.2.1 Ein bootfähiger Steuerungs-PC (Stand 2006!).....	6
1.2.2 Eine Watchdog für den PC.....	7
1.2.3 Der Hausbus in der Praxis.....	7
1.3 Allgemeine Einstellungen.....	8
1.4 Die Langzeitaufzeichnung und Auswertung von Sensorparametern.....	9
1.5 Grafische Gestaltung der Seite „Hausparameter“	10
1.6 Grafische Gestaltung von Anwendungsseiten.....	10
1.7 Automatisches Umschalten der Grafik bei Ereignissen.....	11
1.8 Die Programmierung der SPS.....	12
1.9 Wärmemengenzähler.....	12
1.9.1 Einfacher Wärmemengenzähler ohne Impulsgeber.....	13
1.9.2 Wärmemengenzähler mit Impulsgeber.....	14
1.10 Heizwert.....	15
1.11 Schätzung des Wärmebedarfes für eine Badewannenfüllung.....	16
1.12 Ansteuerung eines (Heizungs-) Mischers.....	16
1.13 Solarertrag.....	18
2 Heizungssteuerung Anwendungsbeispiel 1.....	19
2.1 Aufgabe.....	19
2.2 Sensoren und Aktoren.....	19
2.3 Die SPS.....	21
2.4 eine mögliche Anwendungsseite.....	25
3 Heizungssteuerung Anwendungsbeispiel 2.....	27
3.1 Aufgabe.....	27
3.2 Heizung - Hydraulikschema.....	28
3.3 Funktionsbeschreibung.....	29
3.4 Analoge Sensoren.....	29
3.5 Binäre Aktoren und Sensoren.....	31
3.6 Analog- und Binärgrafik.....	33
3.7 Die Ansteuerung der Ventile V1, V2 und der Pumpen P1, P2.....	34
3.8 Die Umsetzung in der SPS.....	35
3.8.1 Die Ventil- und Pumpensteuerung.....	35

3.8.2 Die Anzeigefunktionen.....	37
3.8.3 Die Solarfunktionen.....	38
3.9 Das Monitoring.....	39
3.9.1 Die Anwendungsseite 115 „System“.....	39
3.9.2 Die Anwendungsseite 110 „Übersicht“.....	40
4 Heizungssteuerung Anwendungsbeispiel 3.....	41
4.1 Regelung Feststoffofen.....	41
5 Fensterüberwachung in einem EFH (2014).....	43
5.1 Hardware, Sensoren anmelden.....	43
5.2 SPS programmieren.....	44
5.3 Grafik programmieren.....	45
5.4 Das Ergebnis.....	46
6 Eine Lüftungsanlage für ein EFH mit Wärmetauscher (2021).....	47
6.1 Das Projekt Lüftungsanlage – Übersicht.....	47
6.2 elektrische Verschaltung und Hinweise zum Aufbau.....	52
6.3 Ein Differenzdrucksensor für Tests.....	55
6.4 Die Lüftersteuerung per SPS und das Monitoring.....	56
6.5 Überarbeitung des Wärmetauschers 2022 (Zusammenfassung aller Änderungen vom <i>Sommer</i> und <i>Herbst</i>).....	61
6.6 Nachtrag 2023.....	64
6.7 Statistische Zusammenfassung der Lüftungsanlage.....	65

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 www.haus-computer.de/

1. Der Weg zum „Hauscomputer“

1.1 Von der Idee zum praktischen Aufbau einer Haussteuerung

Nachdem die Idee geboren wird, eine selbst gebaute Computersteuerung in einem Eigenheim zu installieren, beginnt zunächst die Planung: Was will man erreichen, welche Hardwarekomponenten sind notwendig, wo müssen Leitungen verlegt werden usw. Nicht alles was technisch machbar ist, sollte auch umgesetzt werden. Früher wurden deshalb Leerrohre und Blindleitungen aus Kupfer verlegt, heute nutzt man aber CAT-5, Koax- und andere Spezialkabel. Es gibt WLAN. Was bringt die Zukunft? Wie auch immer, ein einfacher Lichtschalter/ Dimmer an der Wand wird noch sehr lange seine Daseinsberechtigung haben. Es gibt aber immer mehr Anwendungen, die mittlerweile fester Bestandteil eines Hauses sind – Heizungen, Rollläden, Lüfter/Klimatechnik aber auch Elektrotechnik im Umfeld des Hauses. Wer schaltet eigentlich die Adventsbeleuchtung in den Gartenbüschen oder den kleinen Springbrunnen, immer noch eine Zeitschaltuhr? Diese kleinen Unterstützungen im Haushalt zusammen mit einer grafischen Übersicht z.B. im Flur können den Alltag auch für das weibliche Geschlecht versüßen. Der Aufwand sollte aber im Verhältnis zum Nutzen stehen!

Die Wahl im Anwendungsbeispiel 2 fiel 2005 auf das Projekt Hauscomp.exe, weil hier die Software fertig zur Verfügung stand und nur noch die Hardware zusammengestellt und gelötet werden musste. Die Programmierung beschränkte sich allenfalls auf die Makrosprache, mit der auch ein Laie mit ein bisschen Logik umgehen kann. Zudem konnte das Projekt nachträglich unkompliziert erweitert werden. Einen Schichtenspeicher einfach mit einer vorhandenen Heizung zu verbinden (und zu steuern!) war die eigentliche Herausforderung. Der Heizungsbauer hatte nur eine Standard Steuerung zur Verfügung, sie konnte aber nicht alle benötigten Funktionen realisieren. In der ersten Zeit diente deshalb der Hauscomputer dazu, im Monitoring- Betrieb Informationen und Erfahrungen zu sammeln. Es wurde z.B. festgestellt, dass die originale Temperaturanzeige an der Forsterheizung um mehr als 15°C falsch anzeigte und die erste Anbindung des Kessels an den Speicher den Umlauf nicht garantierte. Die 24h Grafik half aber, diese Probleme zu beheben. Durch den Umbau der Heizungsanlage wurden auch zusätzliche Analog-Module notwendig, um weitere Sensoren einzubinden. Zur Zeit wird ein Flachbildschirm abgesetzt im Haus installiert (2006) und mit einem übersichtlichen Bedienfeld kombiniert (als so genannte Bustasten angeschlossen). Fazit: eine super Sache, es braucht aber auch eine menge Zeit.

1.2 Die Hardware

Als Beispiel sei hier zunächst nochmal aus der Vorgeschichte von Anwendungsbeispiel 2 geplaudert: Als Rechner kam ein ausrangierter 486iger PC mit Diskettenlaufwerk zum Einsatz. Als späterer Ersatz für das Diskettenlaufwerk wurde eine Flash-HD vorgesehen. Nachdem der PC in der angrenzenden kleinen Werkstatt platziert werden konnte, wurden zwei A/D Interface aufgebaut und die In/Out und analogen Kanäle definiert. Eine geschirmte Busleitung verband alle Interface mit dem PC. Danach konnte das Ganze in Betrieb genommen und über mehrere Wochen getestet werden. Es entstand so nach und nach die jetzige Struktur der *hauscomp.ini*. Es gibt auch eine Besonderheit: Die Watchdog des ersten Interfaces schaltet die 12V auf dem ganzen restlichen Bus, so dass keine weitere Watchdog benötigt wird. In der gesamten Zeit kam es zu keinen Ausfällen der Hardware. Einige Fragwürdigkeiten der Software hatten ihre Ursachen in der Regel in Syntaxfehlern des „Anwenderlaien“. Aber auch die eine oder andere „Designschwäche“ fand sich und wurde in der Hauscomp.exe beseitigt. Wer die Möglichkeit hat, einen Industrie-PC zu nutzen, sollte sofort zugreifen – die Zuverlässigkeit ist höher und es gibt keine bewegten Teile wie Lüfter oder Laufwerke. Gebrauchte Geräte gibt es für unter 30 € bei Internet. Empfehlenswert ist ein IGEL 5-4, der CF Cards unterstützt und Linux tauglich ist (Stand: 2014).

An dieser Stelle danke ich auch zwei anderen Anwendern für die folgenden Momentaufnahmen von ihren Hardware- Lösungen (Stand: 2006). An ältere Laptops (Globalist200S/AT&T bzw. IBM Thinkpad 755C) wurde jeweils ein normaler TFT Bildschirm über die VGA Schnittstelle angeschlossen. Ein Kabel verbindet die Displays mit den Rechnern auf der anderen Seite der Wand, bzw. eine Etage tiefer. Ein praktischer Test ergab: das Kabel kann wenigstens 15 m lang sein. Mit ein wenig handwerklicher Kunst verblüfft man damit garantiert jeden Besucher:



Die Rechner sind über Busleitungen mit den Interface verbunden. Die Bauanleitungen dafür und für die Sensorik sind in den ersten beiden Handbüchern enthalten. Zusätzlich sollte man Bedientasten in der Nähe der der Bildschirme vorsehen. Hier kann auch die Status- LED vom A/D- Interface platziert werden. Die elegantere Lösung ist der Einbau des Control Interfaces (siehe Band 1) in den Bildschirmrahmen oder in eine Unterputzdose daneben.

Beim Aufbau der Hardware Module sollte man daran denken, dass die Elektronik Jahrzehnte lang funktionieren soll: ein gute Beschriftung sowie Dokumentation, gesockelte ICs, ein kleines Lager für seltene oder wichtige Bauteile, Unterlagen für die Beschaffung von Ersatzteilen sind die kleinen aber notwendigen Voraussetzungen für eine hohe Zuverlässigkeit des Gesamtsystems.

1.2.1 Ein bootfähiger Steuerungs-PC (Stand 2006!)

Aktuelle Möglichkeiten für einen Steuerungs-PC siehe [6].

Es gibt mehrere Möglichkeiten einen PC für Steuerungszwecke umzurüsten. Neben einem PC in der Leistungsklasse eines 486ers mit einer Leistungsaufnahme von ca. 5-8 W (IGEL 5-4: 17W) und einer seriellen Schnittstelle (9- oder 25-polig) ist noch ein geeigneter bootfähiger Datenträger mit dem Betriebssystem und den notwendigen Dateien des Projektes „Hauscomputer“ zu versehen. Vorrangig sind dabei zu verwenden:

- USB-Stick
- Flashdisk (anstelle der Festplatte anzuschließen)
- MMS/SD/CF Card

Eine Diskette oder Festplatte sollten nur in Ausnahmefällen oder bei der Erprobung/Initialisierung verwendet werden. Sie besitzen rotierende Teile und unterliegen dem Verschleiß.

Zunächst überprüft man im BIOS des künftigen Rechners, ob ein geeignetes Medium überhaupt unterstützt wird. Ältere Rechner kennen meist nur Festplatten und Diskettenlaufwerke. Danach sind im BIOS die entsprechenden Einstellungen für die Bootreihenfolge zu treffen.

Um von einem USB-Stick booten zu können, bedarf es spezieller Software, die die MBRs (Master Boot Record) auf dem Stick installiert. Ein praktikables Tool findet sich unter: <http://dlc.softwareload.de/HP-USB-Disk-Storage-Format-Tool/46615>.

Hinweise für die Vorbereitung einer selbst startenden Diskette/ Festplatte mit dem Betriebssystem sind in der Datei „Liesmich.txt“ enthalten.

Abschließend sind auf den Datenträger die notwendigen Hauscomputer-Dateien zu kopieren:

- *hauscomp.exe* {Hauptprogramm}
- *hardware.ini* {Textdatei mit Informationen zum Computer}
- *hauscomp.ini* {Textdatei mit Informationen zur Haussteuerung}
- *font.abc* {Datei mit Fontinformationen, für Windows XP benötigt}

Der Bootvorgang nach Einschalten des PCs muss die Hauscomp.exe ohne weitere Eingaben automatisch starten. Ist die COM- Schnittstelle richtig eingestellt, so gibt es keine weiteren Hürden zu überwinden. Der Steuerungs PC ist fertig. Die einzige Herausforderung die bleibt, ist die Herstellung der Netzwerkfähigkeit für die Verbindung zum Internet. Hinweise für diesen (Noch-) Luxus sind im Programmhandbuch enthalten.

Ein sehr guter Einstieg für das alles ist ein GX1 (Geode) Industrie PC. Seine Leistungsaufnahme ist schon relativ gering und lässt sich je nach Einsatzzweck weiter senken. Allerdings hat die BIOS-Funktion „Throttle CPU“ negative Auswirkungen auf die Zeitsteuerung der Software: Die Zykluszeit auf dem Bus und damit die maximale Buslänge verringern sich stark. Dafür sinkt der Stromverbrauch. Bei Verwendung der Grafik ist in der Praxis eine Umschaltzeit kleiner 3 s unerlässlich – bei einem Takt von 133 Mhz ist das gerade so gewährleistet. Die Ansteuerung des Hausbusses ist dagegen in allen BIOS-Modi gewährleistet. Mit dem Befehl „Anzeigeseiten= 255 255 255“ wird die Grafik komplett abgeschaltet. Nachstehend eine Empfehlung für die entsprechenden BIOS Einstellungen für einen GX1 LCD/S:

Takt	Throttle CPU	Verwendung als:	Zeit für Abspeichern einer Seite („P“)	Anlaufzeit mit „Netz EIN“	Leistungs-aufnahme (U=5,0 V)
300/86 Mhz	100 %	Steuerung mit Grafik und Netzwerk	17,5 s	16 s	6,2 W
133 Mhz (Low Power)	100 %	Steuerung mit Grafik ohne Netzwerk	33 s	26 s	5,6 W
133 Mhz (Low Power)	33 %	Steuerung ohne Grafik, ohne Netzwerk, Buslänge unter 10 m	70 s	42 s	4,7 W

1.2.2 Eine Watchdog für den PC

Ein Hauscomputer sollte im Regelfall ununterbrochen, 24h am Tag fehlerfrei laufen. Bei Fehlern in der Hardware spricht meistens eine Sicherung an oder ein Signalkreis fällt aus. Diese Fälle kann die Software bei richtiger Programmierung weitgehend erkennen. Kommt es aber aus irgendeinem Grunde zum Absturz der Software, kann nur durch einen manuellen Eingriff der Rechner neu gestartet werden. Softwareabstürze sind meiner Erfahrung nach eher selten, kommen aber vor. Nicht immer gibt es im PC einen Defekt. Manchmal reicht auch ein einfacher Neustart aus. Das Fatale an einem „Hängenbleiben“ ist die Tatsache, dass angeschlossene Pumpen oder Motoren ungewollt anspringen und an bleiben könnten. Um das zu verhindern, ist im A/D Interface bzw. 230V Schaltinterface eine Watchdog enthalten, die die Stromversorgung der Relais trennt, wenn ein spezielles alternierendes Watchdogsignal vom PC ausbleibt. Bleibt also noch der gewünschte, automatische PC- Neustart im Fehlerfall. Eine spezielle Schaltung dazu ist im FUNKAMATEUR Heft 1/08 auf Seite 32 „Automatischer Rechnerneustart mittels Watchdog“ von Richard Prinz zu finden. Ein PIC 16F819 steuert über ein Halbleiterrelais (S202S12) die Stromversorgung des PCs. Ob der Rechner abgestürzt ist, erkennt die Schaltung an fehlenden Signalwechseln an der seriellen Schnittstelle (RS232) und führt gegebenenfalls einen PC Neustart durch. Dazu ist Pin 13 von IC 1 in der beschriebenen Schaltung mit RTS bzw. SCL des Hausbusses zu verbinden. Das im Artikel angegebene Script für den Server entfällt – diese Aufgabe übernimmt ohnehin die Hauscomp.exe.

Wenn der Hauscomputer weitgehend ohne menschlichen „Hausmeister“ auskommen soll, empfehle ich diese Variante. Eine noch bessere Lösung ist der Einsatz eines Industrie-PCs. Hier ist die Watchdog bereits eingebaut, spezielle Hardware entfällt. Ab Version 6.0.18 der Hauscomp.exe gibt es den dafür notwendigen Scriptbefehl (PCWatchdog=..) für die *hardware.ini*.

1.2.3 Der Hausbus in der Praxis

In diesem Projekt wird ein modifizierter I²C-Bus als Hausbus verwendet. Bei optimalen Bedingungen können mehrere 100 m Leitungslänge erreicht werden. Um eine große Reichweite und hohe Zuverlässigkeit zu erzielen sind mehrere Dinge nötig:

- Ein Leitungsquerschnitt von ca. 0,14 mm² für die HB_SCL/HB_SDA Leitungen für einen geringen Spannungsabfall (es fließen ca. 5 mA).

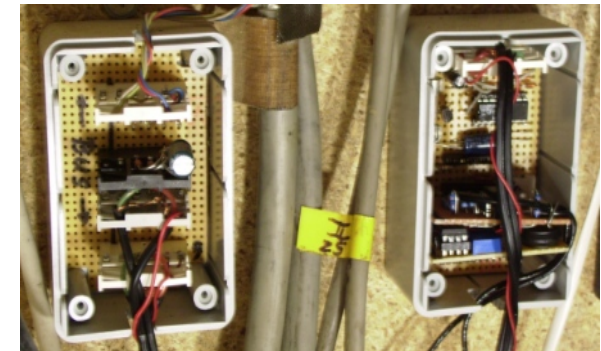
- Ein Leitungsquerschnitt von ca. 0,3..1,5 mm² für Masse und +12V je nach Strombedarf angeschlossener Interfaces (0,1..2A).
- Eine Abschirmung für die HB_SCL/HB_SDA Leitungen, die nur an der Einspeisestelle mit Masse verbunden ist.
- Der Hausbus sollte möglichst nicht zusammen mit 230V Leitungen in einem Kanal verlegt werden, an denen regelmäßig Großverbraucher ein- und ausgeschaltet werden (Tiefkühltruhen, Hauswasserwerk, Waschmaschine, Bohrmaschinen o.ä.).
- Abschlusswiderstände/Terminatoren sind nicht erforderlich. Es wird nur ein Buswiderstand für die HB_SDA Leitung benötigt (siehe A+D Interface).
- Die Übergänge vom Kabel zu den Interfaces sollten leicht trennbar sein.

Als Buskabel ist Cat Kabel etwas filigran, aber verwendbar. Cat 5 Verlegekabel kostet bei Reichelt 30,50 € (50 m, 2007). Wenn die Interfaces nicht über Netzwerkdosen angeschlossen werden sollen, sondern direkt, so ist etwas dickeres (0,14 mm²), abgeschirmtes Kabel besser. Z.B. LIYCY 06 (34,60 € 50 m 2007). Die Signale HB_SCL und HB_SDA sind mit Masse oder +12V zu verdrehen, eine zusätzliche Masse-Ader ist empfehlenswert. Man kann die restlichen freien Adern für +12V und Masse einsetzen. Die Abschirmung verhindert Störungen im CW und UKW Bereich. Störungen entstehen nur beim Pegelwechsel auf den Leitungen, nicht aber durch bestimmte Abfragefrequenzen. Der Bus wird praktisch pegelmäßig im statischen Zustand (Schwingungen abgeklungen) betrieben. Dadurch wird auch die enorme Reichweite erreicht.

Eine leichte Lösbarkeit der Kabel ist gerade in der Testphase wichtig. Die von mir beschriebenen Hutkragenstecker gibt es nicht mehr und die Wagoklemmen sind etwas klobig. Bleibt z.Z. nur Schraubanschluss: z.B. über die auch steckbaren Anschlussklemmen von RIACON.



Die nebenstehenden Bilder zeigen einen Verteiler und ein Analog-Erweiterungsmodul in der Praxis. Als Buskabel wurde 2-adriges Mikrofonkabel und ein zusätzliches Kabel für +12V (rot) eingesetzt. Die Hardware wurde 1995 aufgebaut und ist damit die älteste des Projekts Hauscomputer. Im rechten Analog Modul wurde später lediglich ein Drucksensor nachgerüstet. Deutlich sichtbar sind die leicht abziehbaren Kragenstecker.



1.3 Allgemeine Einstellungen

Im Projekt Hauscomputer werden alle benötigten Einstellungen in der *hardware.ini* und *hauscomp.ini* erfasst. Die Angaben werden in beliebiger Reihenfolge als Scriptzeile geschrieben. Zur besseren Übersicht kann man Zwischen- Überschriften und Kommentare einfügen. Mit dem Tabulator zu

arbeiten ist Tabu. Editiert wurden die *.ini Dateien mit dem Programm „Total Commander“ auf einem anderen PC unter Windows. Die globalen Einstellungen in der *hauscomp.ini* kann man wie folgt festlegen:

```
[GLOBAL]
*Norm=ANSI (äöüÄÖÜß - Umlaute lesbar)  ** Norm=ASCII  (Ž™š„"ⓐá - Umlaute lesbar)*
Norm=ANSI
Modus=normal ;bzw. Modus=Demo
Hinweis!=0 3
TasteOK= 0 4
Anzeigeseiten= 95 96 97 (Hausparameter, Kalender, 24h Grafik)
/Test= 115
Wochenkorrektur=+3 (PC-Uhr wird jeden Sonntag 00:30 um 3 Sekunden vorgestellt)
Bundesland=11 (Meck-Pom)
Echtzeitmonitor=15 (Maßstab 15min)
```

Für die *hardware.ini* gibt es folgende Grund- Einstellungen:

```
COM=1
Hintergrund=blau
Sommerzeit=auto
Geo=11 13 53 56 (geogr. Laenge und Breite)
Seitenwechsel=15 (autom. Seitenwechsel aller 15s)
Watchdog= 1 7 (Interface 1)
Laufschrift=on
Anzahl_PCF8574P=4
Anzahl_PCF8591=5
```

Von der Möglichkeit Geburtstage, Ferien und Urlaub für den Kalender zu programmieren, sollte rege Gebrauch gemacht werden. Auch die Termine der Müllabfuhr kann man listen! Die Details dafür stehen im Programmhandbuch.

1.4 Die Langzeitaufzeichnung und Auswertung von Sensorparametern

Voraussetzung für die Anzeige und Speicherung von analogen Sensoren ist deren Anschluss über ein A/D- oder analoges Interface. Alle Sensoren sollten vor dem Einbau kalibriert werden. So genannte Bussensoren wie z.B. der LM75 können ebenfalls genutzt werden. Eine Übersicht der verwendeten Adressen sollte als Tabelle jederzeit verfügbar sein. Für die 24h Grafik und den Echtzeitmonitor können maximal 6 analoge und 16 binäre Parameter angezeigt werden:

```
[Programmierung Grafik]
*graph_a= Nr. (0-6)  Adresse Kanal Farbe MIN  Max
graph_a=    0          0    0   14  -1   30  /Raumtemp Werkstatt
graph_a=    1          4    2   15  -1   30  /Raumtemp Haus
graph_a=    2          1    0   13   10  100  /SPO
graph_a=    3          1    1   10   10  100  /SPM1
graph_a=    4          1    2   11   10  100  /SPM2
graph_a=    5          1    3    1   10  100  /SPU
```

```
*graph_b= Bildzeile (1-16)  Adresse (0-7)  Kanal (0-7)  Farbe (0-15) *
graph_b=    7    3  0    6    ;
graph_b=    8    3  1   15    ;
graph_b=    9    1  0    9    ;
graph_b=   10    1  1   10    ;
```

Die Langzeitauswertung stützt sich auf den Mechanismus der Log- Dateien, die über die *hardware.ini* programmiert werden:

```
LLog=on
ALog=on
SPSLog=on 0 78 81
```

Für alle analogen Sensoren gibt es eine eigene Protokoll- Datei. Zusätzlich wird in die SPS.csv Datei täglich um Mitternacht eine Kopie der Werte ausgewählter SPS- Module geschrieben. Das ist die Grundlage für die spätere Auswertung z.B. des Solarertrages und der Heizungseffizienz. Für die Auswertung wurde „OPENOFFICE“ verwendet. Die Datei SPS.csv kann damit problemlos geöffnet und aufbereitet werden.

1.5 Grafische Gestaltung der Seite „Hausparameter“

Die Seite 95 ist vorgesehen für die Anzeige wichtiger Parameter im automatischen Anzeigebetrieb. Sie ist auch zu sehen über das Menü „Grafik“, „Hausparameter“ als Seite 157. Auf dieser Seite sollten für die Bewohner des Hauses alle wichtigen Informationen zur Verfügung stehen. Dazu gehören die Außentemperatur mit ihren Max. und Mins, Trends und anderes. Detaillierte Infos zu einzelnen Systemen, wie z.B. die Heizung sollte auf die Anwendungsseiten verbannt bleiben. Beim Auftreten von Problemen lassen diese Seiten sich auch automatisiert aufrufen.

1.6 Grafische Gestaltung von Anwendungsseiten

Zunächst wird den jeweils 8 möglichen Hardware- Interface ein Name gegeben:

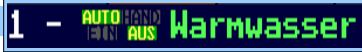
```
PCF8591=Interface Erweiterung_1 Erweiterung_2 PCF8591/3 Sensor_Haus PCF8591/5 PCF8591/6 PCF8591/7
PCF8574P=Interface_I Interface_II P_8574P/2 Heizung_Haus P_8574P/4 P_8574P/5 P_8574P/6 P_8574P/7
```

Danach wird nach und nach jede einzelne Anwendungsseite (110-119) folgendermaßen programmiert: die Zeile Menü11x= legt die Überschrift der Seite fest, die nachfolgenden Zeilen die einzelnen Bildelemente. Mit der Taste „g“ (Gittermodus), der Tabulatortaste und den Kursortasten ermittelt man die genauen X und Y Koordinaten für den besten optischen Eindruck.

```
Menü11x= 110 Übersicht
Anzeige= 110 2 0 0 2 2 0 0 0 +30 4 /Temp Werkstatt
...
Anzeige= 110 9 8 144 1 4 0 11 7 2 1 /zustand SP
```

Bei Bedarf kann man in Verbindung mit entsprechenden SPS- Modulen Softkeys festlegen, mit denen interaktive Menüs möglich sind. Die Betätigung der Tasten erfolgt entweder über entsprechende Ziffern auf der PC- Tastatur und/oder über festgelegte Hardware- Tasten am Hausbus:

```
Zeile= 114 1 1 205 /Pumpe_WW Betriebsart
```



Sollten zusätzlich Texte eingebunden werden, so stehen noch die Befehle „text=“ bzw. „textgross=“ zur Verfügung:

```
Anzeige= 115 21 8 51 240 88 5 1 20 90 10 /7Segment oberer Sensor
text= 115 50 95 11 1 °C
```



1.7 Automatisches Umschalten der Grafik bei Ereignissen

Zum Abschluss der Programmierung legt man Ereignisse fest, bei denen zum Einen die Status LED blinken soll, zum Anderen aber auch die Grafik automatisch auf eine bestimmte Seite schaltet, bis der Nutzer mit der „OK“ Taste bestätigt hat. Das kann das Überschreiten von Grenzwerten sein, Ausfälle oder auch die Betätigung einer Hardware Taste für eine bestimmte Zeit.

Angenommen, an Adresse 2 Kanal 1 ist der Temperatursensor des Kellers angeschlossen. Modul 231 schaltet, wenn im Keller für mindestens 100s eine Temperatur < 4°C herrscht. In diesem Fall werden auf der Seite 95 und 112 der Text „Achtung, Frostgefahr im Keller!“ eingeblendet. Das Modul 241 organisiert die automatische Umschaltung auf die „Keller-“ Seite 112.

```
z=231 -3 Keller<4°C 2 1 4 +4 100 /Keller zu kalt
text=95 94 9 11 231 Achtung,Frostgefahr_im_Keller!
text=112 94 9 11 231 Achtung,Frostgefahr_im_Keller!
z=241 94 Kelleralarm 112 231 231
```

1.8 Die Programmierung der SPS

Kernstück des Projektes Hauscomp.exe ist die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS). Sie steuert die Aktoren, errechnet Bedingungen, steuert Anzeigen. Bevor man mit der Programmierung beginnt, sollte für jeden Aktor ein Plan für die Steuerung formlos notiert werden. Beispiel: der Lüfter soll angehen, wenn das Licht mindestens 30s an war und es nicht Nacht ist. Derartig vorbereitet nimmt man als Hilfsmittel das Layout Programm EAGLE 4.1x (die Light Version ist kostenlos unter <http://www.cadsoft.de/> verfügbar). Nach der Installation kopiert man die beiden Bibliotheken „Hauscomp.lbr“ und „Heizung.lbr“ aus dem Verzeichnis \EAGLE_4.13_light_Projekte\lbr in das EAGLE Verzeichnis \Programme\EAGLE-4.x\lbr\.

Nach dem Neustart von EAGLE kann man mit Hilfe dieser Bibliotheken sowohl Hydraulikschichten als auch die grafische Form der künftigen SPS zeichnen. Der nächste Schritt ist das fortlaufende Nummerieren der SPS Module. Kein Modul darf zweimal vorhanden sein. Mit Hilfe des Programmhandbuches wird mit einem Editor die SPS in die *hauscomp.ini* geschrieben.

In einer ersten Testphase kann man alle Programmteile noch ohne Hardware auf Funktion überprüfen. Dazu nutzt man die Seite „SPS“ und die Cursor- und Enter Tasten. Erst dann wird das Programm auf den Zielrechner überspielt und gestartet.

1.9 Wärmemengenzähler

Bei heutigen modernen Heizungsanlagen, besonders bei Verwendung von Solarkollektoren werden regelmäßig Wärmemengenzähler verbaut. Mit ihrer Hilfe kann der Ertrag bzw. der Verbrauch von Heizungsenergie recht genau protokolliert werden. Staatliche Förderungsprogramme setzen diese Zähler z.T. zwingend voraus. Das Messverfahren für Wärmemengenzähler ist recht einfach: Zwei Temperaturfühler messen die Temperatur am Vor- bzw. Rücklauf des zu überwachenden Gerätes, und unter Berücksichtigung des durchfließenden Volumens werden die Leistung und die Wärmemenge errechnet:

$$Q = V \cdot \varrho \cdot c \cdot (T_1 - T_2)$$

Q – Wärmemenge [Joule]
 V – Volumen [Liter]
 ϱ – Dichte des Mediums [kg/l]
 c – spezifische Wärmekapazität des Mediums [J/kg·K]
 T_1 – Temperatur Vorlauf [K]
 T_2 – Temperatur Rücklauf [K]

$$k = \varrho \cdot c$$
$$k_{\text{Wasser}} = 4187 \text{ [J/l·K]}$$

Bei der Messung der beiden Temperaturen kommt es darauf an, dass beide Messfühler exakt die gleichen Werte bei gleicher Temperatur liefern. Das ist eine Herausforderung der Kalibrierung. Weiterhin sollte die Auflösung der Temperatur besser als $\pm 0,2^\circ\text{C}$ sein. Bei hochwertigen kommerziellen Geräten gibt es hier eine spezielle Art der Kalibrierung: man bringt beide Sensoren zusammen und startet eine Korrektursoftware, die die verbleibende elektrische Differenz

beider Geber misst und zur späteren Korrektur speichert. Für das Projekt Hauscomputer reichen die Temperatursensoren KTY 81-210 aus. Ich empfehle aber die Verwendung des 4-Kanal, 12-bit A/D Wandlers MAX1236. Dabei sind die späteren Sensorpaare zusammen zu kalibrieren – also gleichzeitig in Eiswasser usw. legen und die Kodewerte aus der Hausbusübersicht in die *hauscomp.ini* übernehmen.

Die physikalischen Eigenschaften des strömenden Mediums sind in der Regel bekannt. Die Dichte und die Wärmekapazität kann man für das entsprechende Medium zum Faktor k zusammenfassen.

Problematisch dagegen ist die Ermittlung des zu messenden Volumens. Hier gibt es zwei Möglichkeiten: Für genaue Messungen wird der Volumenstrom des Mediums direkt durch Messwerke gemessen (Impulsgeber); sind die Genauigkeitsforderungen nicht so hoch und die Pumpenleistung annähernd konstant, kann der Volumenstrom auch als Konstante vorgegeben werden. Das teure und aufwändige Messwerk entfällt dann.

1.9.1 Einfacher Wärmemengenzähler ohne Impulsgeber

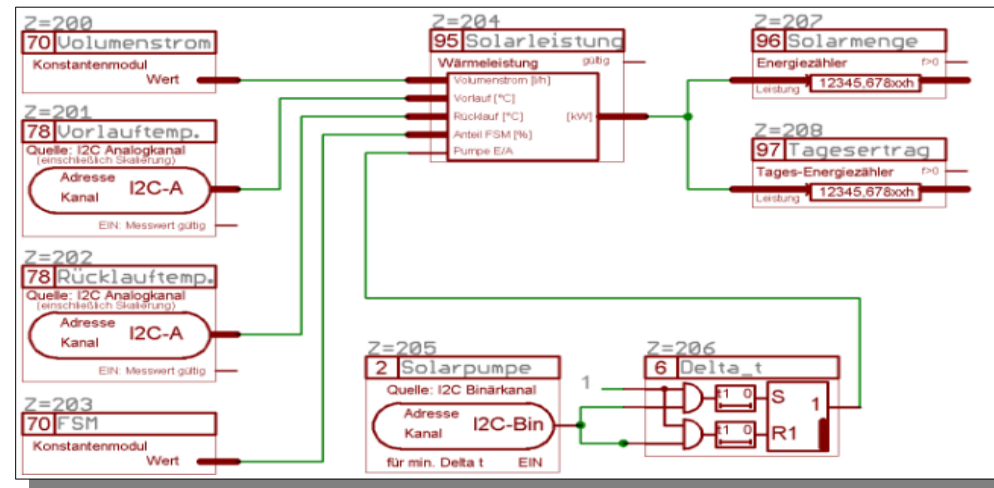
Ist in einem System der Volumenstrom des Mediums bekannt (z.B. durch konstante Pumpenleistung und optischen „Flowmeter“), wird, anstelle des Volumens, der (nunmehr bekannte) Volumenstrom verwendet. Man erhält die (Wärme-) Leistung.

$P = V_s \cdot k \cdot (T_1 - T_2)$ P – Wärmeleistung [W] V_s – Volumenstrom [l/s] T_1 – Temperatur Vorlauf [K] T_2 – Temperatur Rücklauf [K]	bzw.	$P = \frac{1}{(1000 \cdot 3600)} \cdot V_s \cdot k \cdot (T_1 - T_2)$ P – Wärmeleistung [kW] V_s – Volumenstrom [l/h] T_1 – Temperatur Vorlauf [°C] T_2 – Temperatur Rücklauf [°C]
---	------	--

Durch nachfolgende Integration der Leistung über die Zeit errechnet sich dann die Wärmemenge:

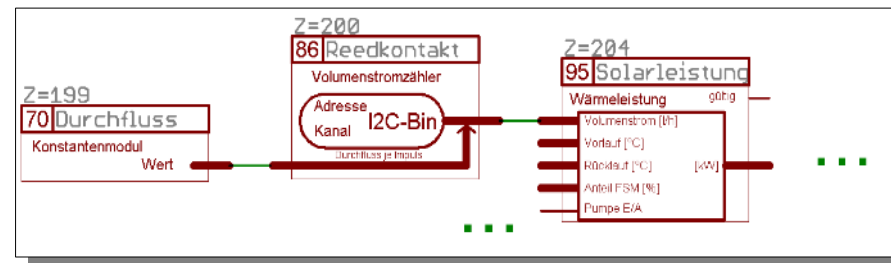
$$Q [kWh] = \frac{1}{3600} \cdot \int P [kW] dt$$

Sollte die Leistung in [W] gegeben sein, so ist das Ergebnis dann selbstverständlich [Wh]. Diese Formeln sind im Hauscomputerprojekt als SPS- Module vom Typ 95 und 96/97 umgesetzt. Man benötigt nur noch Sensoren für die Vor- und Rücklauftemperatur, sowie das Schaltsignal der Umwälzpumpe um Leistung und Wärmemenge zu ermitteln. Das Schaltsignal sollte aber zusätzlich um einige Sekunden verzögert werden um der Praxis gerecht zu werden: ehe eine stehende Wassermenge in die Gänge kommt, vergeht eine gewisse Zeit. Zudem sind die Vor- und Rücklauftemperaturen bei unbewegtem Medium unreal. Die Verzögerung erreicht man mit dem Modultyp 6. Ist das verzögerte Pumpensignal aus, so wird auch keine Leistung berechnet:



1.9.2 Wärmemengenzähler mit Impulsgeber

Im Unterschied zum vorangegangenen Kapitel wird der Volumenstrom nicht als Konstante vorgegeben, sondern über ein Zählwerk – ähnlich einer Wasseruhr – gemessen. Dabei schließt, über ein Magnet gesteuert, regelmäßig ein Reedkontakt. Eine Impulsfrequenz von maximal 10 Impulsen je Minute sind üblich. Soll das System Hauscomputer alle 8 möglichen Binärschaltkreise abfragen, so können mit der (Binär-) Adresse 1-7 maximal $60/(2,5 \cdot 2) = 12$ Impulse je Minute und mit der Adresse 0 mehr als 40 Impulse je Minute ausgewertet werden. Diese Impulse erzeugen über den Binäreingang und dem SPS-Modul Typ 86 (Impulsmessung) unter Berücksichtigung der Durchflußkonstanten (steht auf dem Durchflussszähler) den aktuellen Volumenstrom.



1.10 Heizwert

Hier als Ergänzung eine Aufstellung des Heizwertes verschiedener Brennstoffe. Sie dient der vergleichenden Betrachtung unterschiedlicher Heizungsanlagen. Der Heizwert gibt an, welche Wärmemenge aus einem Brennstoff je Einheit bei 100%iger Umsetzung (Wirkungsgrad) gewonnen werden kann.

Brennstoff	Heizwert je Einheit	Einheit	Bemerkungen
Holz: Weide	1,44 kWh	1 Raummeter (0,7 Festmeter)	Abgelagert, 10-15% Wassergehalt
Holz: Birke	1,81 kWh	1 Raummeter (0,7 Festmeter)	Abgelagert, 10-15% Wassergehalt
Holz: Buche, Eiche	1,87 kWh	1 Raummeter (0,7 Festmeter)	Abgelagert, 10-15% Wassergehalt
Heizöl	10,8 kWh	1 Liter	Angenommene Dichte 0,95 kg/l
Dieselöl	11,84 kWh	1 Liter	Angenommene Dichte 1,0 kg/l
Petroleum	9,2 kWh	1 Liter	Angenommene Dichte 0,8 kg/l
Erdgas	10,0 – 11,5 kWh	1 Kubikmeter	
Flüssiggas	2,5 – 2,87 kWh	1 Liter	
Braunkohlenbrikett	5,8 kWh	1 Kilogramm	
Koks	8,1 kWh	1 Kilogramm	
Steinkohle	8,1 kWh	1 Kilogramm	
Torf	3,25 – 4,52 kWh	1 Kilogramm	

Beispiel: Ein Verbrauch von 738 l Heizöl in 90 Tagen bedeutet einen durchschnittlichen täglichen Wärmebedarf von

$$Q = \frac{738 \text{ l}}{90 \text{ Tage}} \cdot 10,8 \frac{\text{kWh}}{\text{l}} = 88,56 \frac{\text{kWh}}{\text{Tag}}$$

1.11 Schätzung des Wärmebedarfes für eine Badewannenfüllung..

Vielfach fehlt für die Abschätzung von benötigten Wärmemengen in der Auslegung von Heizungsanlagen eine Vergleichsgröße. Für die Warmwasser- bzw. Brauchwasserbereitung ist das relativ einfach. Man berechnet einfach die notwendige Wärmemenge für eine Badewannenfüllung (mit normalem Wasser) unter Berücksichtigung eines Wirkungsgrades von 80%. Der Wirkungsgrad berücksichtigt Wärmeverluste des Speichers, der Leitung und der Badewanne durch Abstrahlung. Aus dem ermittelten Wert kann man dann, je nach tatsächlicher Nutzung, in etwa den Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung abschätzen. Daraus wiederum kann die Ziel-Größe eines Sonnenkollektors mit dem entsprechenden Pufferspeicher / Schichtenspeicher ermittelt werden.

$$Q_{[kWh]} = V_{[Liter]} \cdot \Delta t_{[grad]} \cdot \frac{1}{860} \cdot \frac{1}{0,8}$$

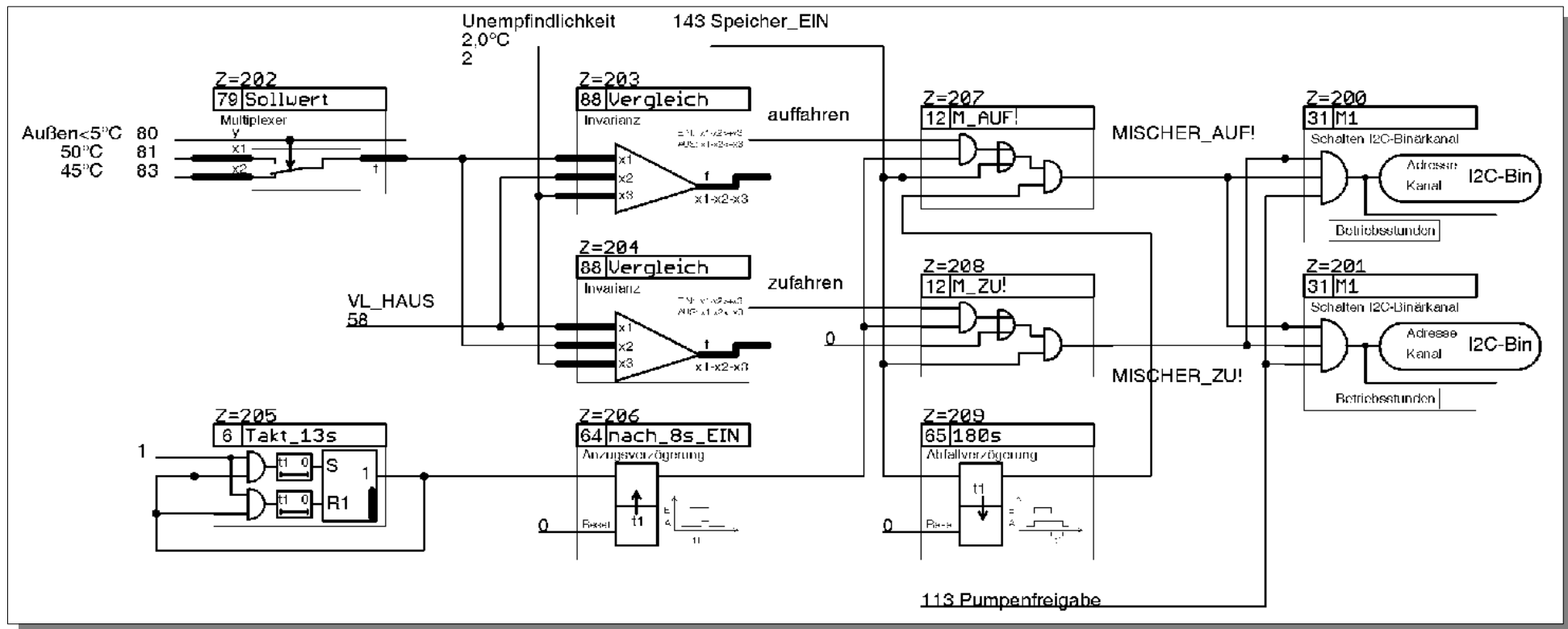
Beispiel: Das Badewasser muss im Jahresschnitt von 13,0°C auf 42,0°C erwärmt werden. Die Badewanne fasst 200 l. Damit ergibt sich:

$$Q = \frac{200 l \cdot 29 grad}{860 l \cdot grad \cdot 0,8} kWh = 8,375 kWh$$

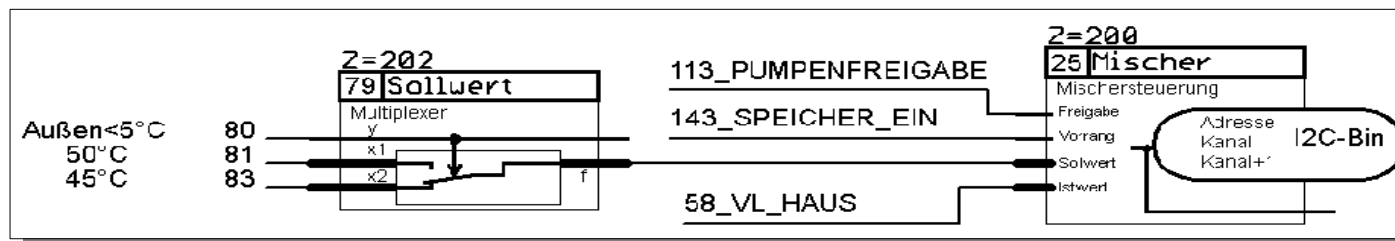
1.12 Ansteuerung eines (Heizungs-) Mischers

Gängige Mischer sind mit einem 230V Motorantrieb versehen und werden von einer speziellen Regelung angesteuert. Ziel ist, die Temperatur am Mischerauszug konstant auf einem Sollwert einzuregeln. Der Mischer wird dazu entsprechend zu- oder aufgefahren. Hier nun ein Realisierungs-Vorschlag für die SPS. Der Mischer ist im vorliegenden Beispiel im Heizungsvorlauf eingebaut. Er reguliert die Temperatur an den Heizkörpern im Haus.

Das SPS-Modul 58 liefert die Temperatur am Mischerauszug. Die beiden Module 203/204 (vom Typ Unempfindlichkeit/Invarianz) vergleichen diese Temperatur mit dem vom Modul 202 gelieferten Sollwert. Weicht die Mischertemperatur um mehr als 2°C vom Sollwert ab, so schalten die Vergleiche über die Freigabemodule 207/208 den Mischerantrieb M1 in die entsprechende Richtung. Ein Freigabesignal „Pumpenfreigabe“ gewährleistet die Abschaltung des Mischers, wenn die Heizung „offline“ ist. Das Signal 143 „Speicher_EIN“ in Verbindung mit dem Verzögerungsmodul 209 dient zum zwangweisen Auffahren des Mischers bei aktiver alternativer Heizung (Heizungswasser nicht von originaler Gas-Heizung, sondern vom Schichtenspeicher). Die Module 205/206 takten die Ansteuerung, so dass der Mischer maximal 5 s (13-8 s) in einem Intervall von 26 s (2*13 s) aktiv ist. Damit wird die Ansteuerung „träger“- und damit praxisgerechter.



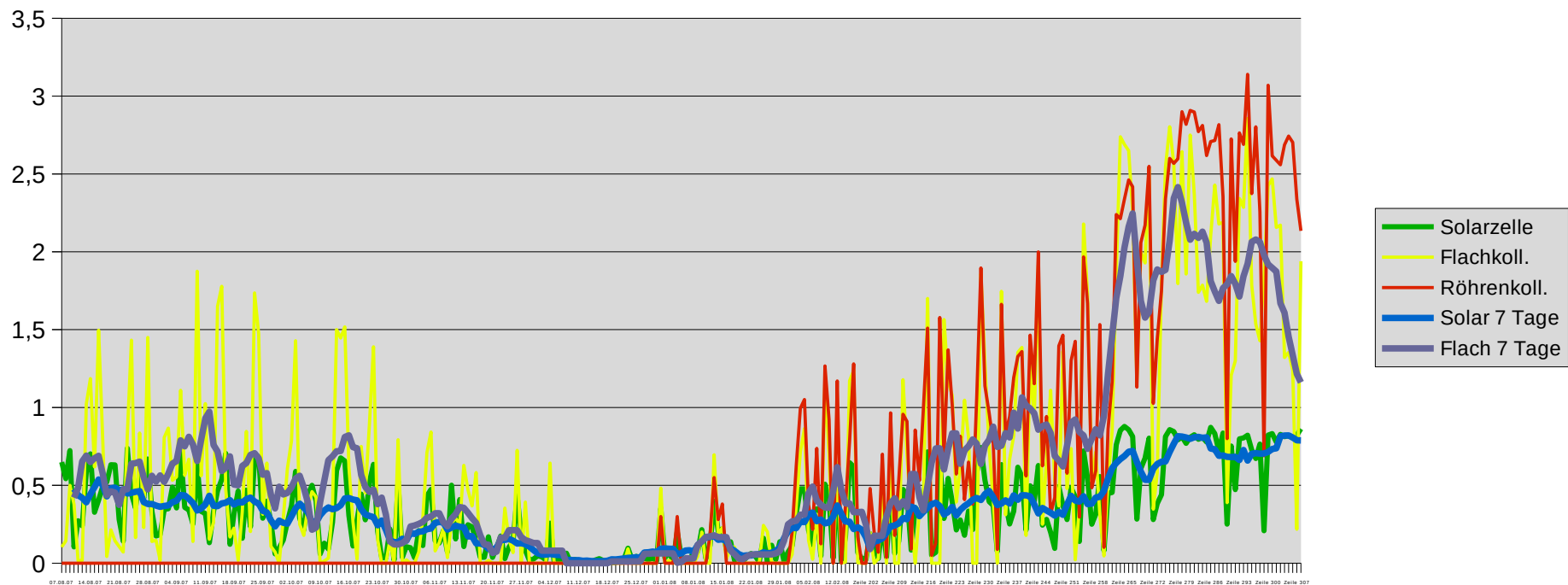
oder alternativ mit speziellem Mischermodul:



1.13 Solarertrag

Bei der Planung einer Solaranlage ist eine Abschätzung des jährlichen Ertrages notwendig. Außerdem sollte man die Anlage auf eine gute Energieeffizienz auslegen. Eine Übersicht bietet die folgende Grafik. Jeweils eine Flachkollektor- und Röhrenkollektoranlage sowie eine Solarstromanlage im Raum Güstrow/Rostock wurden von Mitte 2007 bis Ende Juni 2008 (Röhrenkollektoren erst ab Januar 2008) betrachtet. Der tägliche Solarertrag wurde gemessen und zum besseren Vergleich auf 1 m² Fläche normiert. Zusätzlich sind über jeweils 7 Tage gemittelte Daten dargestellt. Gut erkennbar ist, dass es keinen großen Unterschied zwischen Flach- und Röhrenkollektoren (abgesehen vom Preis) gibt. Aber auch sichtbar ist die starke Abhängigkeit der Wärme erzeugenden Kollektoren von der Sonnenhöhe und dem Bewölkungsgrad. Eine weitere Schlussfolgerung lässt Hoffnung aufkommen: Sonnenenergie kann man durchaus zwischen Februar und November nutzen – wenn die niedrigen Kollektortemperaturen im Winter z.B. für Fußbodenheizungen verwendet werden.

täglicher Solarertrag [kWh] je m² Kollektorfläche



2 Heizungssteuerung Anwendungsbeispiel 1

2.1 Aufgabe

Eine ältere Ölheizung mit Warmwasserspeicher soll eine neue elektronische Steuerung erhalten. Dieses Beispiel ist zwar nur fiktiv, zeigt aber wesentliche Komponenten einer Steuerung und soll Anregung für eigene Ideen dienen.

Die komplette *hauscomp.ini* ist im Verzeichnis *..\Heizung_Anwendung_1\..* enthalten.

2.2 Sensoren und Aktoren

Für die Steuerung der Heizung und der Menüführung werden folgende Sensoren und Aktoren benötigt:

Bezeichnung Analogsensor	Art	Einbauort	A-Adresse	A-Kanal	Bem.
Windgeschwindigkeit WIND	Siehe Band 2	Haus, Außen	0	0	Analog 1
Außentemperatur AUßEN	KTY 81	Haus, Außen	0	1	Analog 1
Hand-Soll DELTA	Poti	Bedienpanel, Delta Temperatureingabe (+/-)	0	2	Analog 1
			0	3	Analog 1
Vorlauftemperatur TVLF	PT1000	Heizungsvorlauf	1	0	Interface
Rücklauftemperatur TRLF	PT1000	Heizungsrücklauf	1	1	Interface
Kesseltemperatur TK	PT1000	Kessel, Tauch-Fühler	1	2	Interface
Warmwassertemperatur TWW	PT1000	Abgang WW direkt am Speicher	1	3	Interface

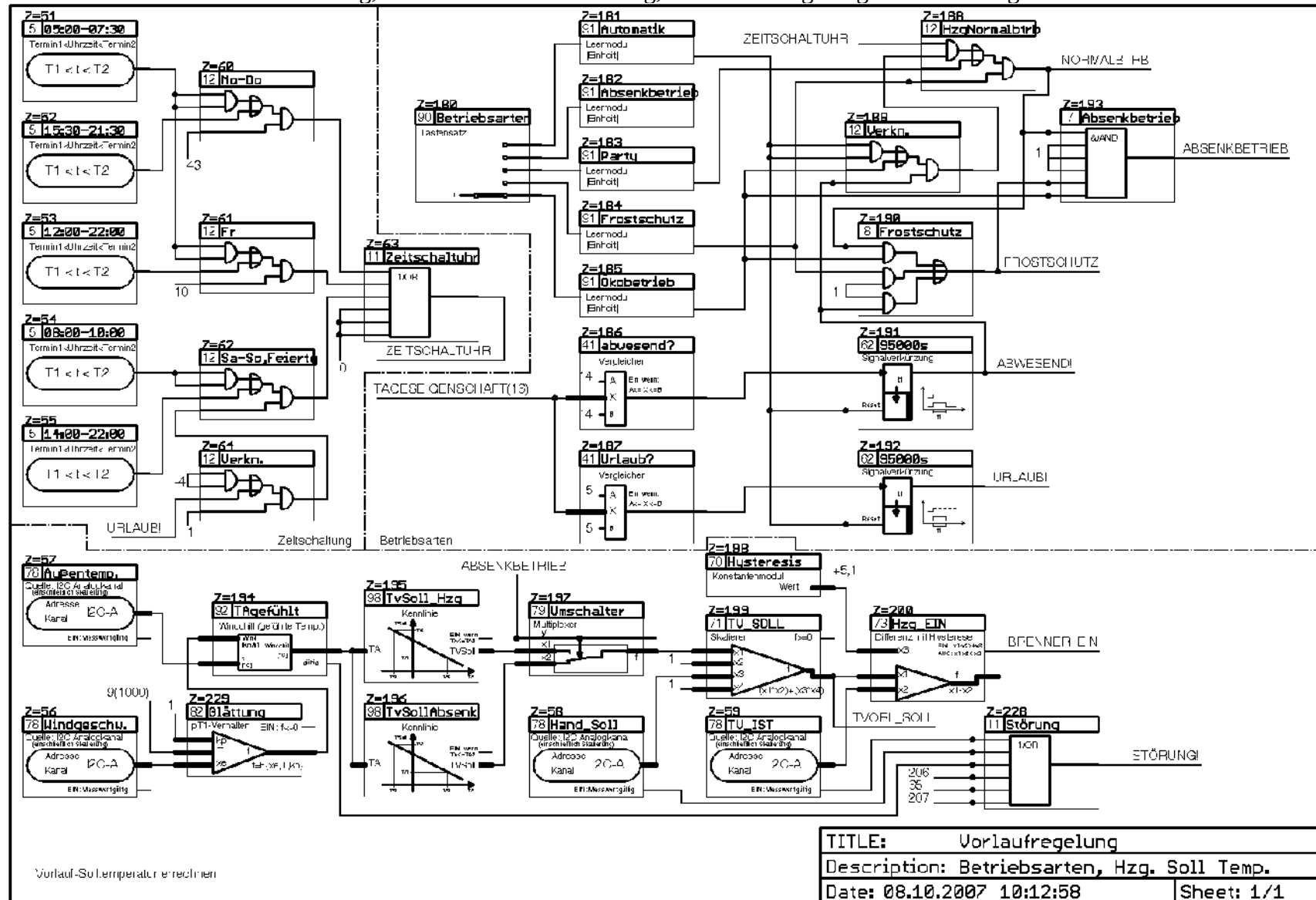
Bezeichnung Aktor / Binärsensor	Art	Besonderheiten	B-Adresse	B-Kanal	Bem.
TastAusw	Eingang	Taste Auswahl für Menüführung	0	0	Interface
TastUnt	Eingang	Taste nach unten für Menüführung	0	1	Interface
TastOb	Eingang	Taste nach oben für Menüführung	0	2	Interface
Hinweis!	Relais	Signal Hinweis!	0	3	Interface
OK	Eingang	Bestätigung/OK Taste	0	4	Interface
Wartung	Eingang	Schornsteinfegertaste	0	5	Interface

	Relais		0	6	Interface
	Relais		0	7	Interface
Brenner	Relais	Schaltet Ölbrenner, Sicherheitsschleife nicht vergessen!	1	0	Interface
Pumpe Heizung (P1)	Relais	Schaltet Heizungsumwälzpumpe	1	1	Interface
Pumpe Warmwasser (P2)	Relais	Schaltet Warmwasserladepumpe	1	2	Interface
Geschwindigkeit P1	Relais	Umschalter langsam/schnell	1	3	Interface
			1	4	Interface
			1	5	Interface
			1	6	Interface
Watchdog	Watchdog	System internes Signal	1	7	Interface

Die Windgeschwindigkeit und die Temperaturen werden für die SPS, sowie für die Anzeigen benötigt. Das Potentiometer „Hand-Soll DELTA“ ist zusammen mit den Tasten und LEDs der Binär-Adresse 0 auf einem zentralen Panel befestigt. Über das Poti wird der SPS der „Wille“ der Hausbewohner mitgeteilt – soll es wärmer oder kühler im Haus sein. Über die 4 Tasten kann das gesamte Programm fern bedient werden, sofern man einen Bildschirm in der Nähe hat. Als Aktoren kommen die herkömmlichen Geräte zum Einsatz: z.B. UPS 25-30 (Grundfos) als Pumpe mit 3 von Hand wählbaren Geschwindigkeiten. Zwei dieser Geschwindigkeiten kann man auch über ein Relais mit Umschaltkontakt ansteuern, wenn man die Brücke im abnehmbaren Pumpen-Anschluss Kasten entfernt. Alle Relais zur Steuerung von 230V Lasten befestigt man sinnvollerweise in einem separaten Gehäuse. Auf die Einhaltung der VDE Bestimmungen sei hier nochmals verwiesen.

2.3 Die SPS

Im ersten Teil der SPS werden die Zeitsteuerung, die Betriebsartumschaltung, die Vorlaufregelung und Ausfallsignalisation behandelt:



Die Zeitsteuerung bestimmt den Zeitraum, wann die Heizung das Haus erwärmen soll. In Abhängigkeit der Wochentage und der Uhrzeit steht das entsprechende Signal am Ausgang von Modul 63 zur Verfügung. Zusätzlich unterstützt das Programm in der *hauscomp.ini* vorgegebene Urlaubs- oder Abwesenheitszeiten. Diese Zeiten werden durch die Tageseigenschaft repräsentiert und mit den Modulen 186 und 187 ausgewertet. Über zwei Monoflops (191 und 192) werden damit die Signale „Abwesend!“ und „Urlaub!“ erzeugt. Die Monoflops sind nötig, um z.B. bei einer vorzeitigen Rückkehr der Bewohner über den Betriebsartenschalter die verwendete Tageseigenschaft für den laufenden Tag überschreiben zu können. Die Betriebsartenumschaltung wird in Kombination von einem „Tastensatz“ auf der Anwendungsseite 114...

```
Zeile= 114 3 4 181
Zeile= 114 4 4 182
Zeile= 114 5 4 183
Zeile= 114 6 4 184
Zeile= 114 7 4 185
```

...und den Modulen 180-185 realisiert. Eine Auswertelogik erzeugt die später benötigten Signale. Es gilt folgende Philosophie:

- Frostschutz ist immer bei Abwesenheit, unabhängig von der Zeitsteuerung
- Urlaub ist genauso, als wäre für die Zeitsteuerung immer Sa/So bzw. Feiertag
- normalerweise („Automatik“) wechselt die Heizung zwischen Normalbetrieb und Absenkbetrieb (z.B. nachts) in Abhängigkeit von der Zeitsteuerung und der Tageseigenschaft
- ist die Betriebsart „Ökobetrieb“ aktiv, so wechselt die Heizung zwischen Normalbetrieb und Frostschutz, sonst wie „Automatik“
- in der Betriebsart „Frostschutz“ geht die Heizung nur noch an, um ein Einfrieren der Heizung zu verhindern
- in der Betriebsart „Absenkbetrieb“ ist die Heizung dauerhaft im Absenkbetrieb
- in der Betriebsart „Party“ ist die Heizung dauerhaft im Normalbetrieb
- „Ganz Aus“ gibt es nicht, dafür ist der Hauptschalter an der Heizung zu betätigen

Die Vorlaufregelung ermittelt zunächst die Vorlauf- Solltemperatur aus der gefühlten Außentemperatur unter Berücksichtigung des Windes (Auskühleffekt!), der Betriebsart mit entsprechend vorgegebenen Kennlinien und dem Wert vom Potentiometer „Hand- Soll- DELTA“. Der Zwei- Punkt Regler im Modul 200 erzeugt dann je nach tatsächlicher Vorlauftemperatur das Signal „Brenner EIN“. Offensichtlich wird hier keine Innentemperatur zur Regelung verwendet. Sie ließe sich selbstverständlich auch einbauen. Dazu muss man nur die Verbindung zwischen den Modulen 58 und 199 trennen, einen Addierer einfügen und eine gewichtete Delta- Innentemperatur addieren. Es ließe sich auch ein PI- Regler verwenden um eine selbstständige Nachführregelung zu erreichen. Der Vorteil ist allerdings nicht so riesig, da die Temperatur in den einzelnen Räumen ohnehin durch Thermostaten geregelt wird. In der Praxis muss das jeder selbst entscheiden.

Die Ausfallsignalisation geht davon aus, dass das ganze Steuerungssystem richtig funktioniert, wenn alle Sensoren korrekt arbeiten. Die entsprechenden Signale werden durch Modul 228 zusammengefasst. Wenn die SPS selbst eine „Macke“ hat, so werden automatisch alle Binärausgänge inaktiv geschaltet. Somit braucht das interne Signal „Ausfall SPS“ (interner Modul 15) nicht mehr berücksichtigt werden. Es gibt damit nur noch eine Einschränkung: Bei der Umstellung von Sommerzeit auf MEZ wird die Steuerung eine Stunde lang nicht arbeiten!

Im zweiten Teil der SPS sind die restlichen Baugruppen der Heizung, Warmwasserbereitung und Pumpensteuerung beschrieben:

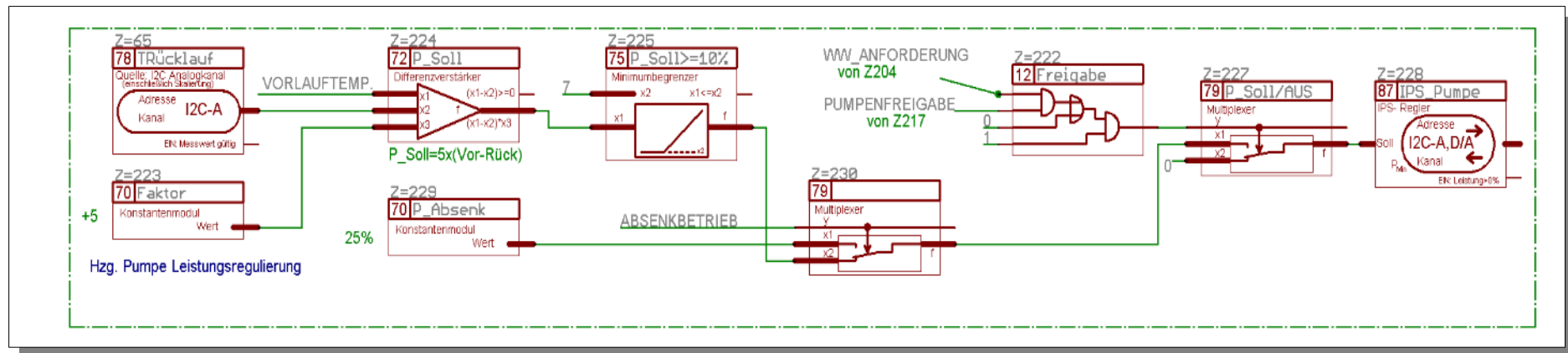
Die Warmwasserbereitung ist zunächst völlig unabhängig von der Heizungssteuerung. Lediglich die Signale „Party“ und „Abwesend“ werden berücksichtigt. Eine eigene Zeitsteuerung (Modul 202) bestimmt den aktiven Betrieb. Letztlich werden die Signale „Warmwasser“ und „Ladebetrieb“ in Abhängigkeit von der Kesseltemperatur und der Temperatur des Warmwasser-Boilers erzeugt. Damit wird die Warmwasser Ladepumpe geschaltet und eine Brenneranforderung mit Warmwasser Vorrang gestellt.

Der eigentliche Brenner wird durch eine sinnvolle kombinatorische Logik letztlich von Modul 221 angesteuert. Die Heizung- Umwälzpumpe sinngemäß durch das Modul 222. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- Begrenzung der maximalen Kesseltemperatur
- Begrenzung des maximalen Anstiegs der Kesseltemperatur auf $0,1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ($=6\text{ }^{\circ}\text{C/min}$) – Verlängerung der Lebensdauer des Kessels
- Frostschutzfunktion mit automatischer Spülfunktion aller 30 min (sicheres Ermitteln der minimalsten Rücklauftemperatur)
- Nachlauf der Heizung- Umwälzpumpe für 2 min nach Abschaltung des Brenners (Modul 226)
- Umschaltung der Heizung- Umwälzpumpe zwischen 2 Drehzahlen je nach Temperatur Differenz zwischen Vor- und Rücklauf (Leistungsregelung)
- Realisierung einer separaten Schornsteinfeger- Taste für Wartungszwecke

Weitere Extras lassen sich fast beliebig nachrüsten. So könnte das Signal „heiß“ aus der Rollladensteuerung verwendet werden, um die Heizung im Sommer - je nach Tagesdurchschnittstemperatur des Vortages - ganz abzuschalten. Dann würde auch am noch kühlen Vormittag der Heizungsbetrieb unterbunden, weil es wahrscheinlich doch noch sehr warm werden wird. Das ist dann auch der Punkt, wo sich diese Steuerung recht deutlich von bisherigen kommerziellen Systemen unterscheidet.

Hier noch ein Vorschlag, um die Heizungsumwälzpumpe in der Leistung zu regulieren; anstelle der Umschaltung der Drehzahl wird die Pumpenleistung unmittelbar mit Impulspaketen (IPS) geregelt (siehe Hardware Band 2 Pkt. 2.6 und Programmhandbuch). Je größer die Differenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur wird, desto größer ist die Pumpenleistung. Bei Absenkbetrieb wird die Pumpe generell nur noch mit minimaler Leistung betrieben. Die bisherigen Module 222 bis 227 (außer 226) werden hiermit ersetzt:



2.4 eine mögliche Anwendungsseite

Die Seite 114 wurde für die Heizungssteuerung vorgesehen. Die Betriebsartenumschaltung und wichtige Zustands Kenngrößen werden angezeigt. Natürlich lassen sich alle Anzeigen auch auf anderen Seiten darstellen. Die Softkeys zur Betriebsartenumschaltung dürfen aber nur einmalig verwendet werden.



Die Programmierung sieht so aus:

[Anwendungsseiten]

```
Menü11x= 114 HEIZUNG
Zeile= 114 1 1 205 /Pumpe_WW Betriebsart
Zeile= 114 3 4 181
Zeile= 114 4 4 182
Zeile= 114 5 4 183
Zeile= 114 6 4 184
Zeile= 114 7 4 185
Anzeige= 114 9 8 188 40 27 0 14 8 6 1 /Leuchtfeld Normalbetrieb
Anzeige= 114 9 8 193 157 27 0 14 8 6 1 /Leuchtfeld Absenkbetrieb
Anzeige= 114 9 8 190 250 27 0 14 8 6 1 /Leuchtfeld Frostschutz
Anzeige= 114 9 8 191 351 27 0 14 8 6 1 /Leuchtfeld Abwesend!
Anzeige= 114 9 8 192 436 27 0 14 8 6 1 /Leuchtfeld Urlaub!
Anzeige= 114 9 8 228 505 27 0 14 8 13 1 /Leuchtfeld Störung!
```

```

Anzeige= 114  9  8  204  505  44  0  4  8  9  1  /Leuchtfeld Ladebetrieb
Anzeige= 114  9  8  221  505  74  0  14  8  4  1  /Leuchtfeld BRENNER
Anzeige= 114  9  8  222  505  87  0  14  8  2  1  /Leuchtfeld Pumpe_Hzg
Anzeige= 114  9  8  227  505  100  0  14  8  2  1  /Leuchtfeld P1_schnell
Anzeige= 114  9  8  211  505  113  0  14  8  6  1  /Leuchtfeld WARTUNG
Anzeige= 114  9  8  219  505  126  14  0  4  8  1  /Leuchtfeld Kesselzmax
Anzeige= 114  9  8  220  505  139  14  0  4  8  1  /Leuchtfeld Aufheizmax
Anzeige= 114  12  8  199  25  173  0  0  +5  +95  0  /Anzeige TV_SOLL
Anzeige= 114  12  8  59  134  173  0  0  +5  +95  0  /Anzeige TV_IST
Anzeige= 114  12  8  206  243  173  0  0  +5  +95  0  /Anzeige TKessel
Anzeige= 114  12  8  207  352  173  0  0  +5  +95  0  /Anzeige TWW
Anzeige= 114  12  8  194  461  173  0  0  -30  +44  0  /Anzeige TAgefühlt

```

Die automatische Umschaltung der Grafik bei Auftreten des Signals Störung organisiert das SPS Modul 252:

```

z=251 94 HzgStörung 114 228 228 /automatisches Umschalten auf S.114(Heizung) bei Störung

```


3 Heizungssteuerung Anwendungsbeispiel 2

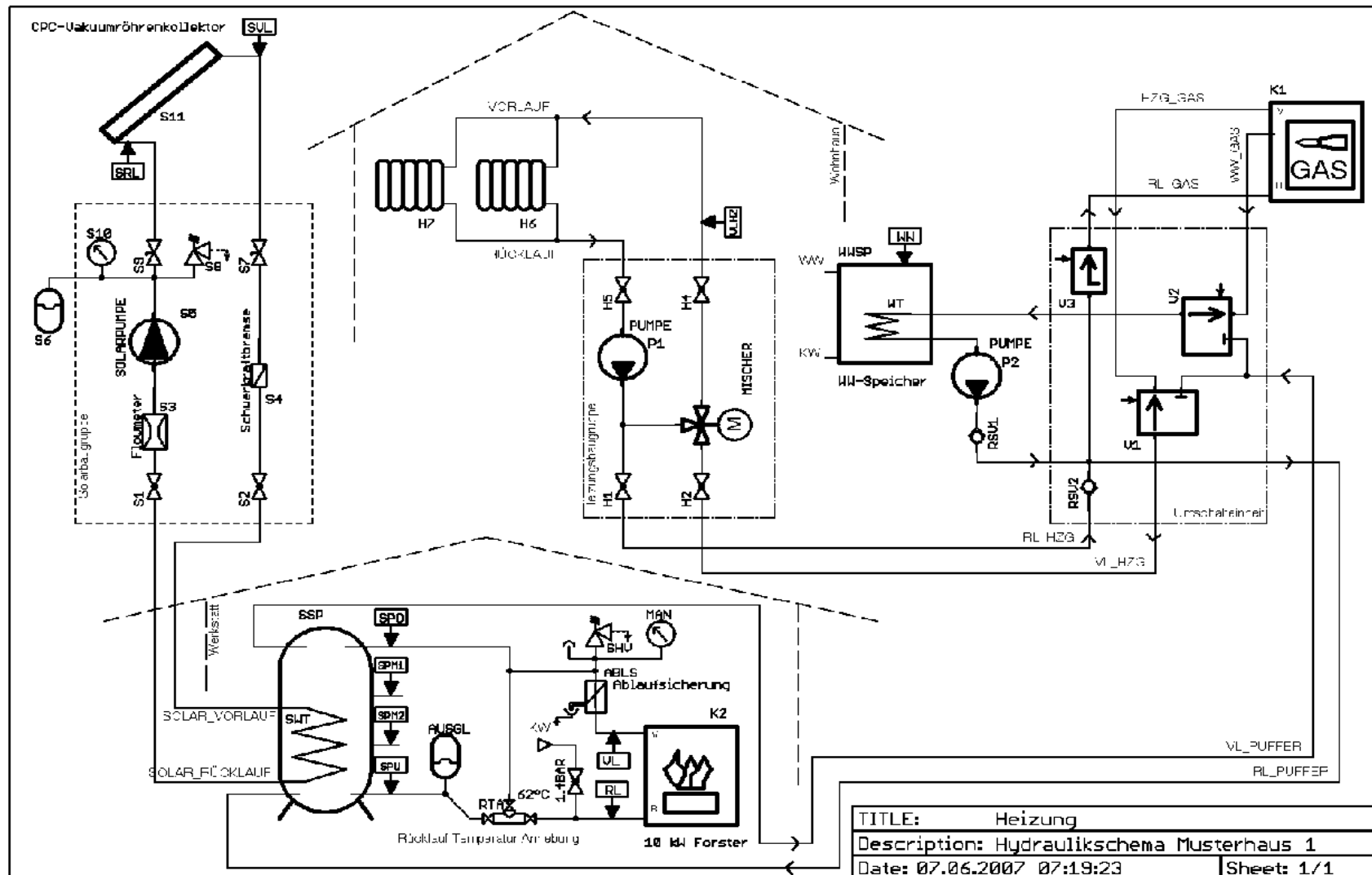
3.1 Aufgabe

Ein, 1998 gebautes Einfamilienhaus, mit einer normalen Warmwasserheizung, Gaskessel und Brauchwassererwärmung wurde 2006 umgebaut. In einem Nebengebäude wurde ein zusätzlicher Kessel für Holz/Kohle, ein moderner 1000 Liter Schichtenspeicher und auf dem Dach eine ca. 10 m² große Solaranlage mit Vakuumröhrenkollektoren installiert. Die vorhandene Gasheizung mit ihrer Steuerung sollte nicht verändert werden. Lediglich an einer zugänglichen Stelle sollten über zwei Rohrleitungen die neuen Komponenten an das Wohnhaus sinnvoll angebunden werden. Letztlich sollten die Solarkollektoren, unterstützt durch die Holz- Zusatzheizung sowohl die Brauchwassererwärmung als auch die Heizungsunterstützung übernehmen. Ziel ist es, den Gasverbrauch zu reduzieren. Um es vorweg zu nehmen – der Gasverbrauch hat sich drastisch auf etwa ein Viertel reduziert. Bei einer Gesamtinvestition für die zusätzlichen Installationen von knapp 6000 € abzüglich 1350 € Förderung und bei einem Gaspreis von 2,00 €/m³ lassen die jährlich eingesparten 490 m³ Gas eine Amortisation nach 5 Jahren erwarten. Die 20 € für das in einem Jahr verfeuerte Holz sind dabei absolut unbedeutend.

Das System Hauscomputer wurde eingesetzt, da es als Einziges allen gestellten Anforderungen genügte. Folgende Aufgaben hat es zu erfüllen:

- In der Bau- und Projektierungsphase: Ermittlung von Erfahrungen über das Temperatur- Zeit- Verhalten der Holz Zusatzheizung, sowie der Nachweis der Funktion im Zusammenspiel aller Komponenten
- Monitoring von Heizungsparametern auf dem Display u.a. als laufende Empfehlung zum manuellen Heizen und zur Übersicht
- Langzeitstatistik von Heizungs- und Umweltparametern in Log- Dateien für die spätere Auswertung in EXCEL oder OpenOffice
- Steuerung der neu eingebauten Ventile und Pumpen
- Überwachung der Einhaltung von sicherheitsrelevanten Grenzwerten (maximale Wassertemperatur, Frostschutz)

3.2 Heizung - Hydraulikschema



3.3 Funktionsbeschreibung

Die vorhandene Heizungsanlage (Gaskessel K1) liefert einen Warmwasser Vorlauf für die Heizung (HZG_GAS) und einen Warmwasser Vorlauf für die Brauchwassererwärmung (WW_GAS) im Warmwasserspeicher (WWSP). Diese beiden Leitungen wurden aufgetrennt und über eine Umschaltseinheit mit Wegeventilen (V1, V2, V3) wieder mit dem Speicher und der Heizungsbaugruppe verbunden. Die 2- Wegeventile V1 und V2 erlauben nun die Umschaltung zwischen der Gasheizung und der neu installierten Anlagen. Bei Brauchwassererwärmung verhindert V3, dass Wasser über den Rücklauf durch die Gasheizung in den Vorlauf gedrückt wird. Pumpe P1 dient als Umwälzpumpe für den Heizungsstrang, P2 als Ladepumpe für die Brauchwassererwärmung. Der Mischer im Heizungskreis ist ein Thermomischventil, das bei einer Temperatur von (einstellbar) 55°C öffnet und damit die Heizungsvorlauftemperatur begrenzt (Verbrühschutz).

Die neu eingebaute Forsterheizung (K2) wurde mit einer vorgeschriebenen thermischen Ablaufsicherung versehen: bei Temperaturen über 95°C wird heißes Wasser abgelassen und über das automatische Befüllventil kaltes Wasser aufgefüllt. Zusätzlich gibt es noch ein Sicherheitsventil. Eine Rücklauftemperaturanhebung verhindert, dass beim Anheizen des Kessels zu viel kaltes Wasser durch den Kessel gedrückt und damit Kondensat gebildet wird. Zudem wird die Verbrennung optimiert. Der 1000 Liter fassende Schichtenspeicher ist in ca. 1,6 m Höhe angebracht. Das hat den Vorteil, dass der Kessel den Speicher über Schwerkraft laden kann und keine zusätzliche Pumpe benötigt wird. Das heiße Speicherwasser gelangt über eine ca. 20 m lange Leitung (VL_Puffer, RL_Puffer) in das Wohnhaus. Die Gasheizung kann den Speicher nicht aufladen. Wohl aber die 10 m² CPC- Vakuumröhrenkollektoren auf dem Dach – sie sind über Kupferleitungen mit Klemmverschraubungen mit der Solarbaugruppe und dem Wärmetauscher (SWT) verbunden. Die darin kreisende Spezialflüssigkeit ist bis -25°C frostsicher. Die Solarpumpe (S5) wird noch von einer industriellen Steuerung angesteuert – u.a. wegen der geforderten Nachweise für die staatliche Förderung.

3.4 Analoge Sensoren

Für die Heizungssteuerung wird eine Reihe von Sensoren benötigt. Zusätzliche Sensoren dienen dem reinen Monitoring auf dem Display. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht:

<i>Bezeichnung</i>	<i>Art</i>	<i>Einbauort</i>	<i>Analog-Adresse</i>	<i>Analog-Kanal</i>	<i>Bemerkung</i>
Werkstatt	KTY 81	Raumfühler im Nebengebäude (Innentemperatur)	0	0	Interface 1
Außen	KTY 81	Außentemperaturfühler – NO Seite	0	1	Interface 1
SPO – Speicher oben	KTY 81	Schichtenspeicher, oberste Tauchhülse	1	0	Erweiterung_1
SPM1 – Speicher Mitte 1	KTY 81	Schichtenspeicher, mittlere (obere) Tauchhülse	1	1	Erweiterung_1
SPM2 – Speicher Mitte 2	KTY 81	Schichtenspeicher, mittlere (untere) Tauchhülse	1	2	Erweiterung_1
SPU – Speicher unten	KTY 81	Schichtenspeicher, unterste Tauchhülse	1	3	Erweiterung_1
SVL - VL_Solar	KTY 81	Solarkollektor, oberer Abgang	2	0	Erweiterung_2

<i>Bezeichnung</i>	<i>Art</i>	<i>Einbauort</i>	<i>Analog-Adresse</i>	<i>Analog-Kanal</i>	<i>Bemerkung</i>
RVL - RL_Solar	KTY 81	Solarkollektor, unterer Abgang	2	1	Erweiterung_2
VL	KTY 81	Forsterheizung, Vorlauf	2	2	Erweiterung_2
RL	KTY 81	Forsterheizung, Vorlauf	2	3	Erweiterung_2
VLHZ	KTY 81	Temperaturfühler am Heizungsvorlauf Mischerausgang	4	0	Sensor_Haus
WW	KTY 81	Temperaturfühler am Warmwasserspeicher	4	1	Sensor_Haus
Haus	KTY 81	Im Wohnhaus Raumfühler	4	2	Sensor_Haus
		Reserve	4	3	Sensor_Haus

Umgesetzt wird dies in der *hauscomp.ini*:

```

*Sensor= Bezeichnung Einheit Adresse Kanal Abfragefrequenz 2-3 Wertepaare*
Sensor=SPO °C 1 0 90 -1.2 68 47.2 156 90 224
Sensor=SPM1 °C 1 1 90 -1.2 68 47.2 156 90 224
....
Sensor= WW_Sp °C 4 1 90 -1.2 68 47.2 156 90 224
Sensor= Haus °C 4 2 90 -10 45 0 81 23 175

```

3.5 Binäre Aktoren und Sensoren

An den Hauscomputer sind folgende „binäre“ Geräte angeschlossen:

<i>Bezeichnung</i>	<i>Art</i>	<i>Einbauort</i>	<i>Bin-Adresse</i>	<i>Bin-Kanal</i>	<i>Bemerkung</i>
aufwärts	Taster/ Eingang	Werkstatt+ Küche	0	0	Interface I
abwärts	Taster/ Eingang	Werkstatt+ Küche	0	1	Interface I
auslösen	Taster/ Eingang	Werkstatt+ Küche	0	2	Interface I
Hinweis!	LED/ Ausgang	Werkstatt+ Küche	0	3	Interface I
OK	Taster/ Eingang	Werkstatt+ Küche	0	4	Interface I
Pumpe_Sol_alt	/ Eingang	Werkstatt	0	5	Interface I
2xReserve	/ Ausgang		0	6, 7	Interface I
3xReserve	/ Ausgang		1	0-2	Interface II
4xReserve	/ Ausgang		1	3-6	Interface II
Watchdog	intern	Werkstatt	1	7	Interface II
Pumpe<Hz/ Ventil V1	Relais/ Ausgang	Heizungsraum	3	0	Heizung_Haus
Pumpe<WW/ Ventil V2	Relais/ Ausgang	Heizungsraum	3	1	Heizung_Haus
Reserve	Relais/ Ausgang	Heizungsraum	3	2	Heizung_Haus
Reserve	Relais/ Ausgang	Heizungsraum	3	3	Heizung_Haus
4xReserve	/ Eingang		3	4-7	Heizung_Haus

<i>Bezeichnung</i>	<i>Art</i>	<i>Einbauort</i>	<i>Analog-Adresse</i>	<i>Bemerkung</i>
Pumpe<Solar	Relais/ Ausgang	Werkstatt	2	Erweiterung_2

Hier die entsprechende Programmierung:

```
PCF8574P=Interface_I Interface_II P_8574P/2 Heizung_Haus P_8574P/4 P_8574P/5 P_8574P/6 P_8574P/7

*Binär=Bezeichnung Adresse Kanal Aus+Eingang(1) nur Eingang(0)*
Binär= aufwärts      0 0 0 72 /Taste nach oben
Binär= abwärts       0 1 0 80 /Taste nach unten
Binär= auslösen      0 2 0 32 /Leer-Taste
Binär= OK            0 4 0 111 /Taste OK
Binär= Pumpe_Sol_alt 0 5 0
Binär= Pumpe<Hz      3 0 1 / Pumpe Hzg + Ventil V1
Binär= Pumpe<WW      3 1 1 / Pumpe WW + Ventil V2

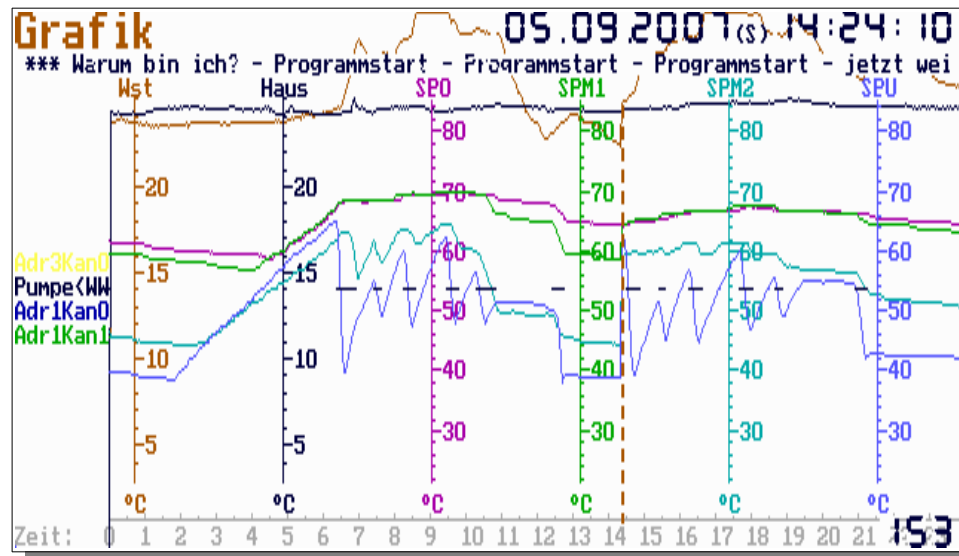
Analog= Pumpe<Solar  E/A 2 0 0 0 0 1 255 /Solarpumpe schalten
```

3.6 Analog- und Binärgrafik

Die gewünschten Kanäle für die 24h Grafik werden programmiert...

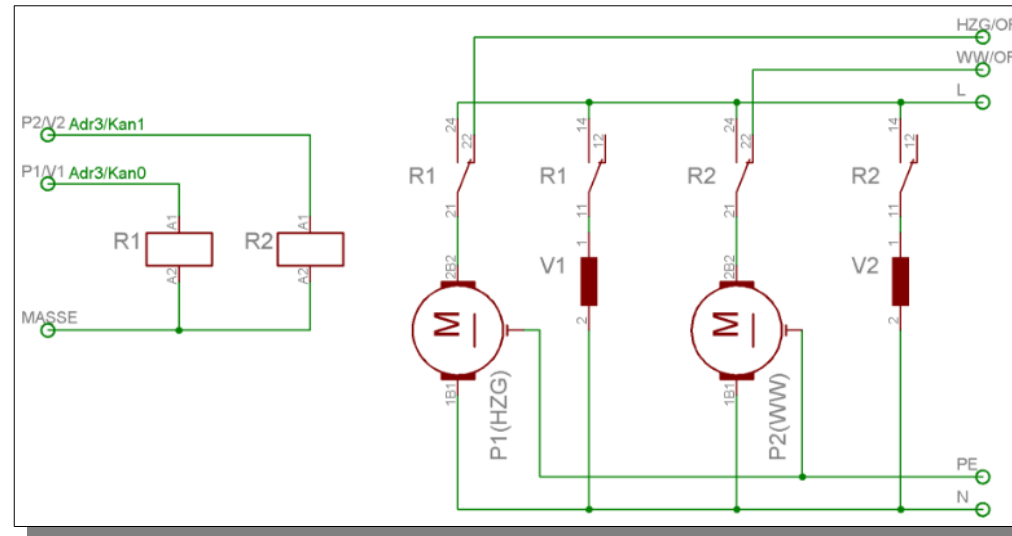
```
[Programmierung Grafik]
*graph_a= Nr. (0-6)  Adresse Kanal Farbe MIN  Max
graph_a= 0          0    0   14  -1   30    /Raumtemp Werkstatt
graph_a= 1          4    2   15  -1   30    /Raumtemp Haus
graph_a= 2          1    0   13   10  100    /SPO
graph_a= 3          1    1   10   10  100    /SPM1
graph_a= 4          1    2   10   10  100    /SPM2
graph_a= 5          4    3   11   10  100    /SPU
*graph_b= Bildzeile (1-16)  Adresse (0-7)  Kanal (0-7)  Farbe (0-15) *
graph_b= 7           3    0    6          /Pumpe Hz
graph_b= 8           3    1   15          /Pumpe WW
graph_b= 9           1    0    9          /Test
graph_b= 10          1    1   10          /Test
```

...und ergeben folgendes Bild:



3.7 Die Ansteuerung der Ventile V1, V2 und der Pumpen P1, P2

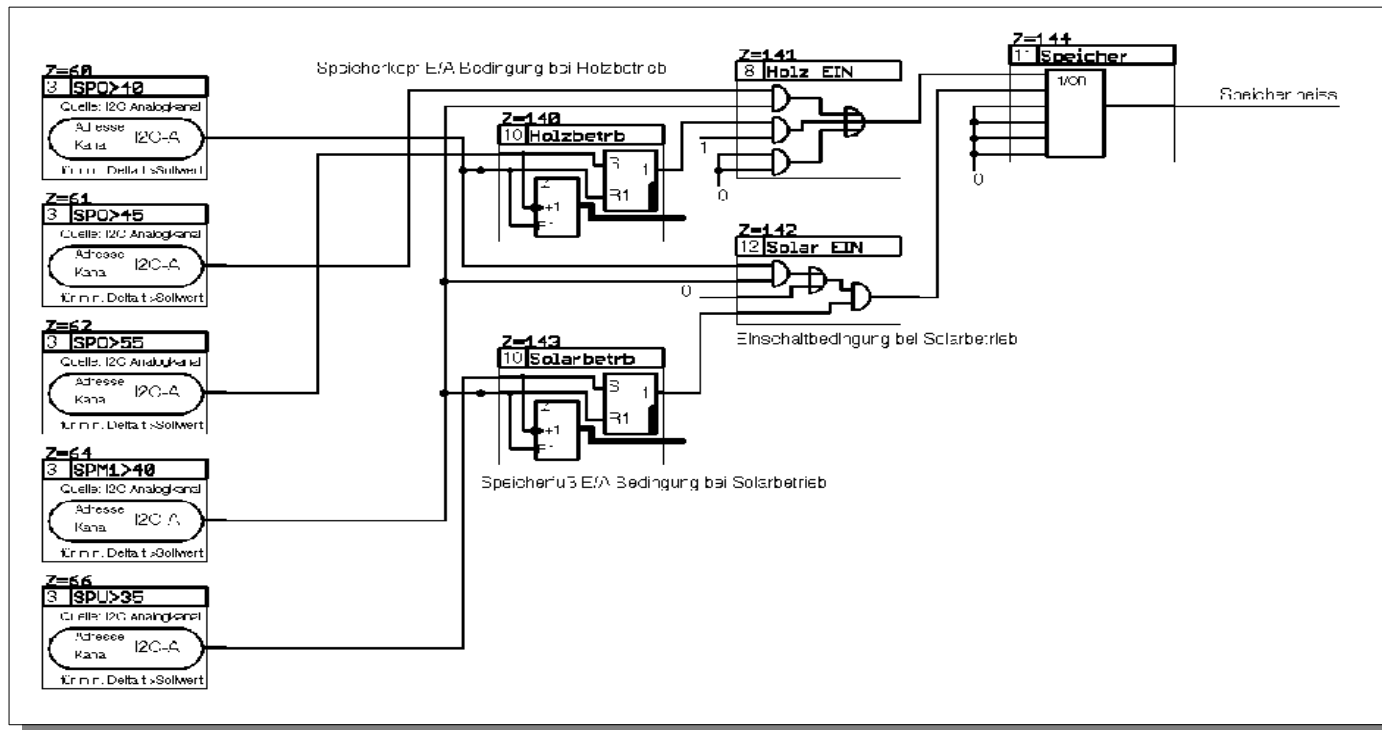
Die Nachrüstung der bestehenden Heizungsanlage bedingt den Einsatz zweier zusätzlicher Relais R1 und R2. R1 steuert die Heizungsumwälzpumpe P1 und das 3-Wege Ventil V1. R2 ist für die Warmwasser Ladepumpe und das zusätzliche 3-Wegeventil V2 zuständig. Über Umschaltkontakte wird im stromlosen Zustand der Relais die originale Funktion der Heizung erhalten. Bei Ansteuerung der Relais werden sowohl die entsprechende Pumpe, als auch das zugehörige Steuerventil mit der Phase verbunden und damit eingeschaltet.



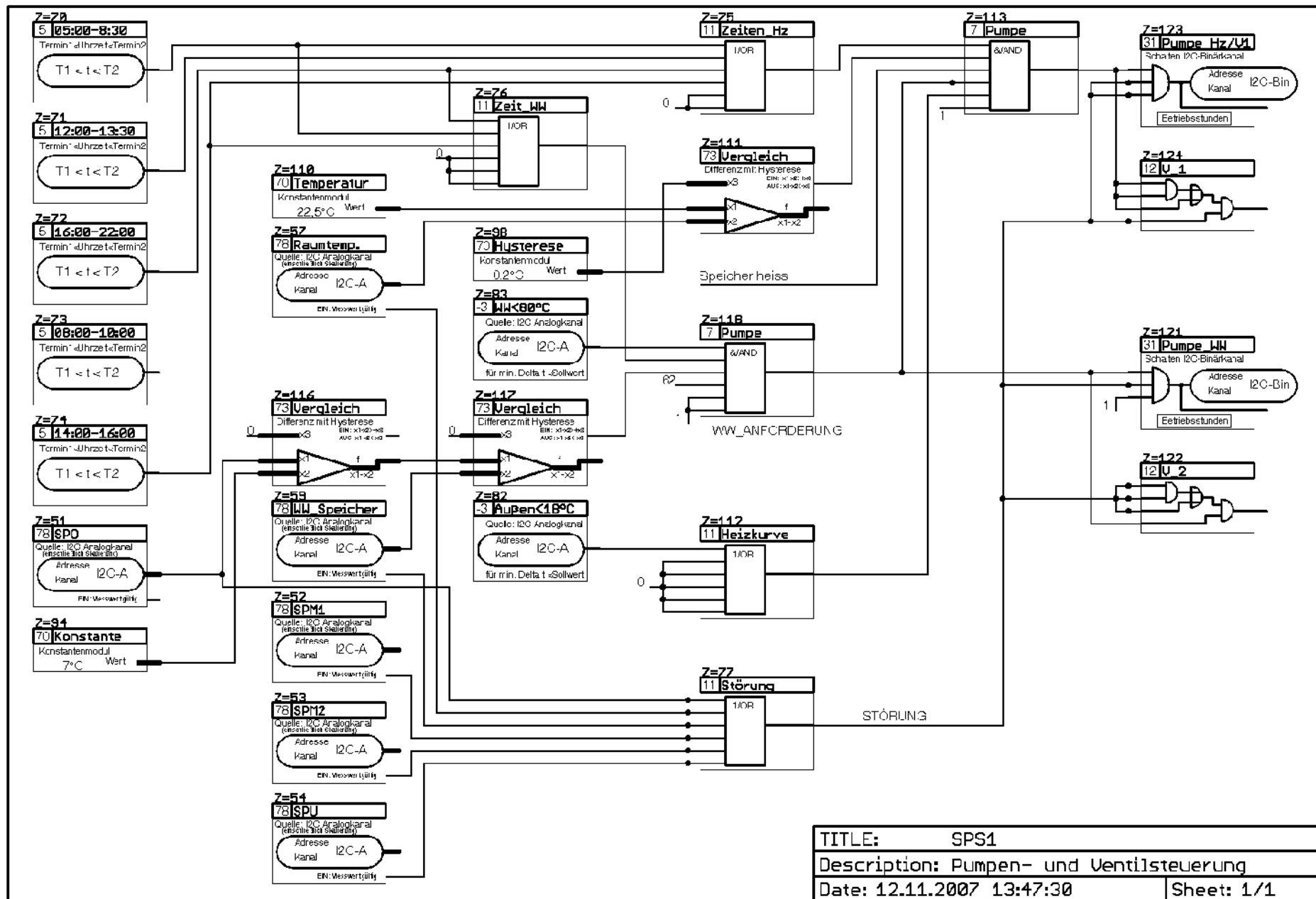
3.8 Die Umsetzung in der SPS

3.8.1 Die Ventil- und Pumpensteuerung

Nachdem die elektrische Ansteuerung der Ventile und Pumpen im Abschnitt 3.7. beschrieben wurde, folgt nun die Erzeugung der Steuerbefehle durch das Programm. Die SPS berechnet in Abhängigkeit von der Uhrzeit und dem Wert einiger Temperatursensoren das Signal zum Einschalten der Heizumwälzpumpe P1 und (elektrisch verbunden!) des Ventils V1. Damit wird die Gasheizung außer Betrieb gesetzt und der aufgeladene Speicher in den Hydraulikkreis geschaltet. Hier zunächst die Erkennung des augenblicklichen Speicher-Zustandes:

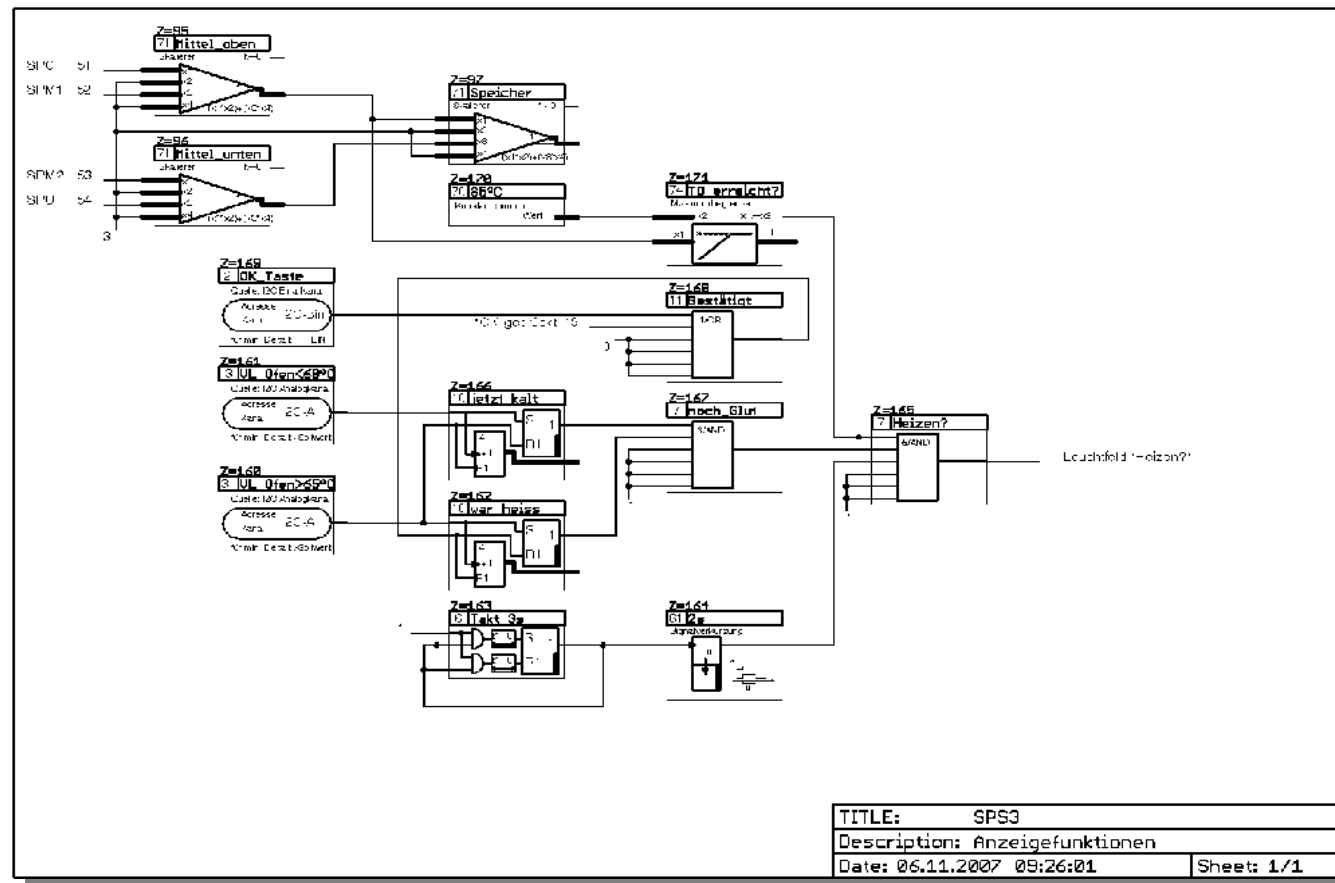


Die folgende Übersicht zeigt das Zusammenspiel aller Signale für die Ansteuerung der Pumpen und Ventile. Interessant daran ist das Fehlen einer Betriebsartumschaltung und das es Wochentag-unabhängig funktioniert. Sicher ist diese Lösung nicht optimal, sie wurde aber in der Praxis entwickelt und funktioniert zur vollsten Zufriedenheit des Betreibers. Die Module 122 und 124 sind notwendig, um in der grafischen Darstellung den Zustand „V_1“ bzw. „V_2“ zu signalisieren.



3.8.2 Die Anzeigefunktionen

Wenn im Winter manuell geheizt wird, ist es wichtig, rechtzeitig nach zulegen. Genau dafür wurde das Leuchtfeld „Heizen?“ geschaffen. Es gibt durch einen Farbwechsel von Grün auf Rot einen Hinweis darauf, dass das Feuer im Festbrennstoffkessel herunter gebrannt ist und nach gelegt werden kann. Auch der Ladezustand des 1000l Speichers sollte in einer Übersicht einfach und schnell ersichtlich sein. Das letztere wird mit den Modulen 95-97 erzeugt. Dabei wird von allen 4 Speicherfühlern der arithmetische Mittelwert gebildet. Ist der Speicher thermisch voll, so schaltet Modul 171. Aus der Ofentemperatur wird mittels zweier Flip-Flops und entsprechender Verknüpfung das Signal „noch Glut!“ erzeugt. Solange der Speicher noch nicht voll ist, blinkt dann das Leuchtfeld „Heizen?“. Die Bestätigung mit der „OK“-Taste setzt das Leuchtfeld zurück.

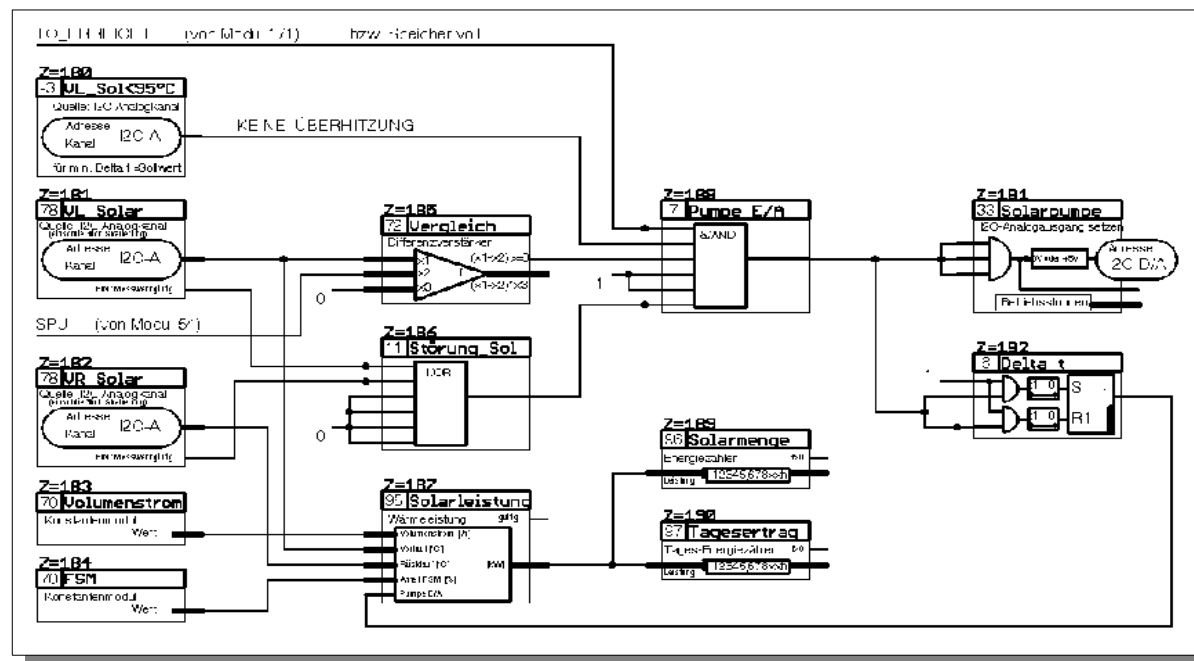


3.8.3 Die Solarfunktionen

Eigentlich ist die Steuerung einer Solaranlage ganz einfach... Natürlich ist sie das nicht. Es müssen ein paar Randbedingungen eingehalten werden:

- Ist die Temperatur am oberen Solarkollektor größer als die kälteste (Einspeise-) Stelle im Speicher, so sollte der Speicher geladen werden.
- Ist die Temperatur im Solarkollektor kurz vor dem Siedepunkt, so sollte die Pumpe abgeschaltet werden.
- Ist der Speicher schon voll geladen, darf die Solarpumpe nicht laufen.
- Es sollte der solare Wärmeertrag bezogen auf Gesamtmenge und Tagesertrag in einer Anzeige ersichtlich sein
- Steht im Sommer zu viel Energie zur Verfügung, sollte der Speicher nachts über die Solarkollektoren entladen werden (Rückkühlfunktion).
- Die Pumpe sollte immer so schnell laufen, dass die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf- und Rücklauf am Kollektor max. 5-15°C beträgt.

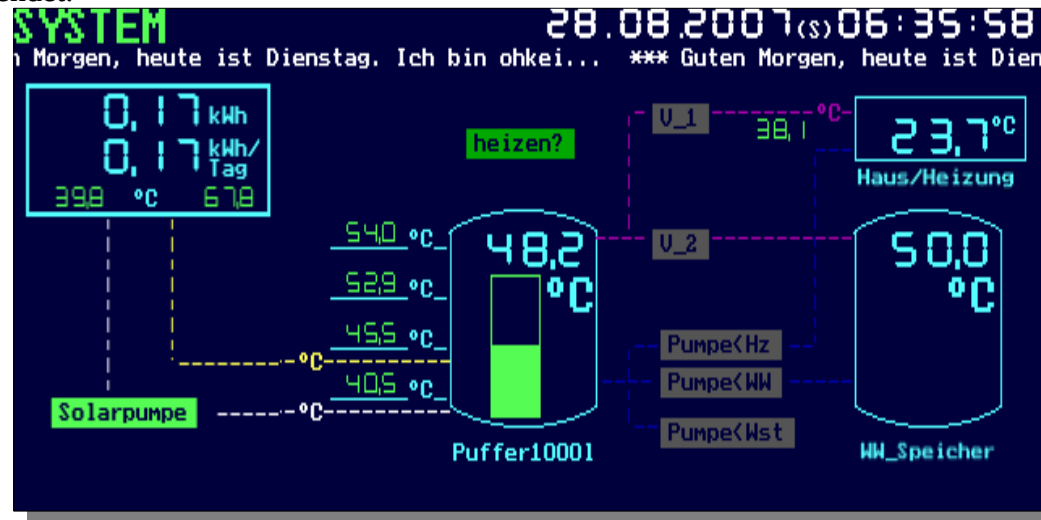
Im Musterhaus ist zur Zeit noch eine industrielle Steuerung in Betrieb. Sie soll aber in der Zukunft ersetzt werden. Bis auf die beiden letztgenannten Funktionen - hier mein Vorschlag zur Steuerung:



3.9 Das Monitoring

3.9.1 Die Anwendungsseite 115 „System“

Die Seite 115 wurde vom „Häuslebauer“ „System“ genannt (bitte nicht verwechseln mit der Seite 14!). Auf dieser Seite sind alle wichtigen Informationen zum Heizungs- und Solarsystem dargestellt. Unter Verwendung der grafischen Möglichkeiten wurden Leitungen und Baugruppen übersichtlich angeordnet. Auf einen Blick kann man sowohl die gemessenen Temperaturen, als auch den errechneten Ladezustand des Speichers erkennen. Der Rechner- Hinweis „Heizen?“ wird automatisch eingeblendet.



Jedes grafische Element muss einzeln programmiert werden. Ein Auszug aus der *hauscomp.ini* verdeutlicht die Programmierung:

```
Menü11x= 115 SYSTEM
Anzeige= 115 14 0 0 10 80 11 1 150 50 0 /Solarkollektor
Anzeige= 115 13 8 189 115 36 10 2 0 32767 11 /Wärmemengenzähler1
text= 115 32 45 11 1 kWh
Anzeige= 115 13 8 190 115 54 10 2 0 32767 11 /Wärmemengenzähler2
text= 115 32 58 11 1 kWh/
text= 115 32 66 11 1 Tag
text= 115 20 78 11 1 °C
Anzeige= 115 21 8 182 61 73 5 1 10 90 10 /7Segment Solar-Rücklauf
Anzeige= 115 21 8 181 155 73 5 1 10 90 10 /7Segment Solar-Vorlauf
text= 115 27 144 14 1 -----°C-----
text= 115 33 164 15 1 -----°C-----
```

```

Anzeige= 115 15 0 0 60 80 15 2 60 150 0
Anzeige= 115 15 0 0 100 80 14 2 100 138 0
Anzeige= 115 9 8 191 25 156 0 0 8 10 1 /Pumpe Solar
...

```

3.9.2 Die Anwendungsseite 110 „Übersicht“

Nicht ganz so komfortabel wie auf der Seite 115 sind auf der Seite 110 die aktuellen Daten wichtiger Sensoren zusammengefasst:



Auch hier ein Blick in die *hauscomp.ini*:

```

Menü11x= 110 Übersicht
Anzeige= 110 2 0 0 2 1 0 0 0 +30 4 /Temp Werkstatt
Anzeige= 110 2 0 1 2 0 0 0 -15 +40 4 /Temp außen
Anzeige= 110 2 4 2 2 2 0 0 0 +30 4 /Temp Haus
Anzeige= 110 2 4 1 2 3 0 0 0 +80 4 /Temp WW-Sp
Anzeige= 110 2 1 0 1 0 0 0 +20 +90 4
Anzeige= 110 2 1 1 1 1 0 0 +20 +90 4
Anzeige= 110 2 1 2 1 2 0 0 +20 +90 4 /Adresse
Anzeige= 110 2 1 3 1 3 0 0 +10 +90 4
Anzeige= 110 2 4 0 1 6 0 0 +10 +90 4 /VL HZ Haus
Anzeige= 110 9 1 1 2 7 0 0 8 10 1 /Pumpe Werkstatt
Anzeige= 110 9 3 0 2 5 0 0 8 10 1 /Pumpe Heizung

```

Anzeige=	110	9	3	1	2	6	0	0	8	10	1	/Pumpe Warmwasser
Anzeige=	110	9	8	144	1	4	0	11	7	2	1	/Zustand SP

4 Heizungssteuerung Anwendungsbeispiel 3

Das, im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Anwendungsbeispiel 2 stellt eine Momentaufnahme zu Beginn des Jahres 2009 dar. Etliche Änderungen erfolgten und folgen seitdem ohne in diesem Handbuch berücksichtigt zu werden. Der Vollständigkeit halber ist daher im Verzeichnis \ Heizung_Anwendung_3\ die aktuelle *hauscomp.ini* dazu enthalten. Die Änderungen betreffen vor allem die Steuerung/ den Status der Heizungsanlage mit Service Seiten, sowie aktuelle Ergänzungen wie Feststoffheizung, Sauna u.ä. Der aufmerksame Betrachter wird bestimmt das Eine oder Andere interessante Detail für sich entdecken. In den Folgejahren wurden viele Funktionen immer mehr verfeinert, die Regelung der Umwälzpumpe für den Feststoffofen wird unter 4.1. auf dem Stand des Jahres 2014 dokumentiert.

4.1 Regelung Feststoffofen

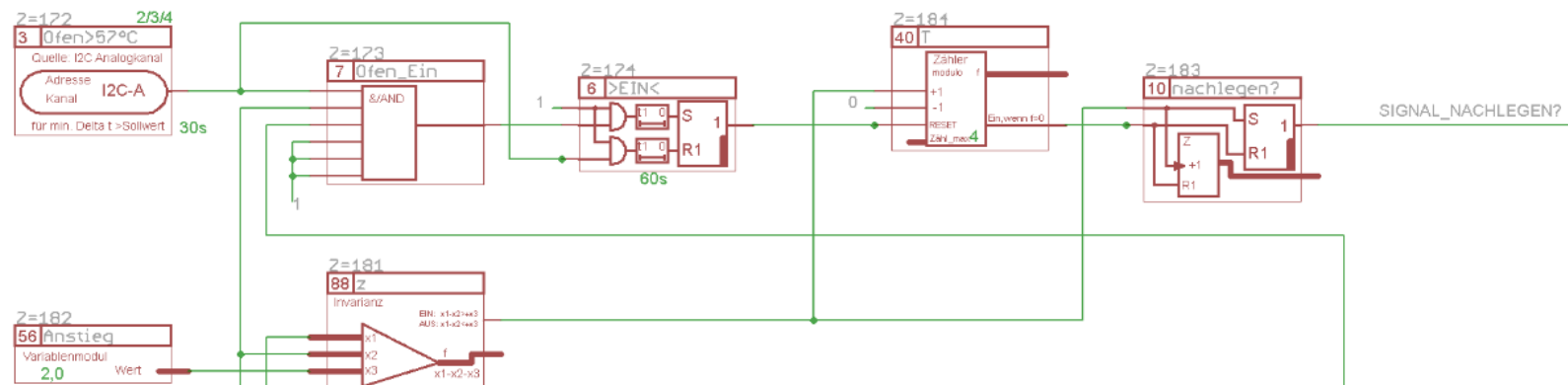
Entgegen dem Hydraulikschema (3.2) wurde nachträglich eine Umwälzpumpe UPS40-20 am Feststoffofen eingebaut, genauer gesagt zwischen dem Ventil für die Rücklaufanhebung und dem Rücklauf der Forsterheizung. Damit kann der Ofen zum Laden des Pufferspeichers verwendet werden.

Die ursprüngliche Heizungsumwälzpumpe in der Forsterheizung wurde nie genutzt. Der Anschluss der Anlage erfolgte über die beiden oberen 1,5“ Verschraubungen für den Ausgleichsbehälter. Die Steuerung der Pumpe erfolgt mittels einem nichtlinearem PD Regler in der SPS. Zusätzlich wird ein Signal generiert, wenn das Feuer im Ofen fast heruntergebrannt ist – zum rechtzeitigen Nachlegen von Feuerholz, bevor das Feuer aus ist.

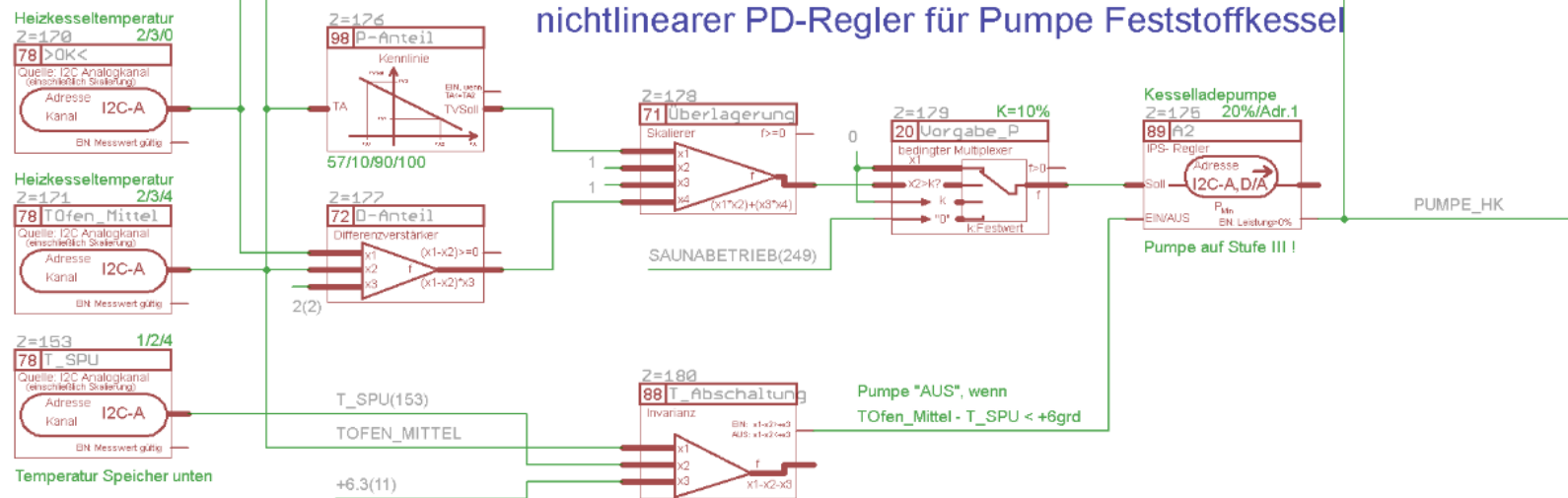
Zum Funktionsprinzip des Reglers: Ausgangssignal ist die Kesseltemperatur des Feststoffofens, einmal als unmittelbar verzögerungslos gemessene Temperatur zum anderen als gemittelte Temperatur über 10 Messwerte. Bleibt die Temperatur im Ofen über einen längeren Zeitraum konstant, so sind beide Temperaturen (171, 171) gleich groß. Steigt die Temperatur im Ofen dagegen, so ist die Temperatur von (170) größer als (171), fällt sie, so ist (170) kleiner (171). Dementsprechend wird nach einer Kennlinie der proportionale Anteil (176) und der dynamische Anteil (178) zur Berechnung einer Soll-Pumpendrehzahl verwendet. Die Pumpe wird abgeschaltet, wenn der Feststoffofen eine geringere Temperatur des Pufferspeichers hat.

Erfahrungen: Durch gesetzliche Änderungen (Schornsteinfegerverordnung Nr.1 ab 2015 außer Kraft gesetzt) müssen ab 2015 alle Feststofföfen auf Feinstaubwerte überprüft und zugelassen werden. Der gemessene Wert an diesem Ofen mit der PWM geregelten Pumpe betrug im November 2014 ausgezeichnete 0,09 ppm – und das für einen Ofen ohne Lambdasonde! Für Öfen mit Lambdasonde gilt als Grenzwert übrigens 0,15 ppm. Einjustiert wurde die Regelung in Anwesenheit des Schornsteinfegers nach der Rauchgastemperatur von 300..350°C (gemessen 20 cm hinter Ofenausgang nach letzter Biegung). Bei der Justierung wurden der Feuerzugregler und SPS Modul 176 optimiert. Ein ebenfalls mit diesem Projekt geregelter Ofen, wo die Pumpe allerdings nicht als PWM sondern im E/A Betrieb läuft, erzielte bei der Feinstaubmessung 0,13 ppm.

Hinweissignal "Holz nachlegen"



nichtlinearer PD-Regler für Pumpe Feststoffkessel



TITLE:	Hzg_Holzessel
Description:	Steuerung Ladepumpe Holzessel
Date:	12.11.2014 14:27:45
Sheet:	1/1


```

// Ofen
z=170 78 >OK<          2  3  0
Sensor= Ofen          °C  2  3  90  13  93  57  182  90  224
z=171 78 T_Ofen-mitt  2  3  4
z=172  3 Ofen>57°C    2  3  4  57  30
z=173  7 Ofen_EIN     170 172 175 1  1  1
z=174  6 >EIN<        1  173 -172 60          / Ofen ein
/ Ladepumpe-elektronisch
z=175 89 A2           179 180 20  1
Analog= A2            %  1  0  0  0  31  100 252 100 252
z=176 98 P-Anteil     %  171 55 10  90  100
z=177 72 D-Anteil     %  170 171 2
z=178 71 Überlagerung %  176 1  1  177
z=179 20 Vorgabe_P    %  0  178 0  249 10
z=180 88 T-Abschaltung °C  171 153 11

/ Ladepumpe
z=181 88 z            °C  171 170 182
z=182 56 Anstieg      °C  2
z=183 10 nachlegen?   181 -184
z=184 40 T            181 0  -174 4

```

5 Fensterüberwachung in einem EFH (2014)

5.1 Hardware, Sensoren anmelden

Voraussetzung für Alarmanlagen bzw. Raumüberwachungen sind Kontakte an den Zugangswegen eines Raumes. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten. Angenommen, an mehreren Fenstern sind Doppelkontakte für die Zustände „geschlossen/nicht geschlossen“ und „gekippt/nicht gekippt“ vorhanden. Die Kontakte werden folgendermaßen angeschlossen:

1. 8 Kontakte von 4 Fenstern sind direkt an ein Binärinterface mit PCF8574P angeschlossen, also je ein Kontakt an einem Kanal:

```

Binär= F_Wohnen_kipp  3  0  0  0  0
Binär= F_Wohnen_zu    3  1  0  0  0
Binär= F_KücheW_kipp  3  2  0  0  0
Binär= F_KücheW_zu    3  3  0  0  0
Binär= F_KücheS_kipp  3  4  0  0  0

```

```

Binär= F_KücheS_zu      3   5   0   0   0
Binär= F_HWR_kipp      3   6   0   0   0
Binär= F_HWR_zu        3   7   0   0   0

```

2. 4 Kontakte von 2 Fenstern werden über einen analog-binär Adapter [3] an ein Analoginterface mit ATtiny26 angeschlossen. Dafür wird nur ein analoger Kanal benötigt:

```

SensorAt26= Alarm1 Einh 1   1   0   0   0   1023   1023 /Adresse 1 Kanal 0 mit ATtiny

```

3. Fünf Kontakte von drei Fenstern werden über einen analog-binär Adapter [3] an ein Analoginterface mit PCF8591 angeschlossen. Dafür wird ebenfalls nur ein analoger Kanal benötigt, der folgendermaßen initialisiert wird:

```

Sensor= Alarm2 Einh 2   0   0   0   0   255   255 /Adresse 2 Kanal 0 mit PCF8591

```

5.2 SPS programmieren

Die angeschlossenen Kontakte werden im nächsten Schritt von der SPS abgefragt. Dabei sind die logischen Zustände der Kontakte zu berücksichtigen.

1. Auswertung der Kontakte am Binärinterface. Der SPS-Modultyp 18 erfasst jeweils beide Kontakte (gekippt und offen) und stellt auch ein entsprechendes Farbattribut zur Verfügung. Es kommt die Variante mit Kontakten am Fenstergestänge zur Anwendung (Modultypen 13, 18, 27). Der Modulausgang ist „ein“, wenn das Fenster nicht gekippt aber geschlossen ist:

```

z=771  18  F_HWR      3       7       6       0           /Binäradresse 3, 2 Kontakte
z=772  18  F_KüS      3       5       4       0           /Binäradresse 3, 2 Kontakte
z=774  18  F_Wohnen   3       1       0       0           /Binäradresse 3, 2 Kontakte
z=775  18  F_KüW      3       3       2       0           /Binäradresse 3, 2 Kontakte

```

2. Die 4 Kontakte an den beiden analog-binär Adaptern werden mit entsprechenden Bitmasken abgefragt. Auch diese SPS Modulausgänge sind „ein“, wenn die Fenster nicht gekippt und geschlossen sind. Da am Fenster F_KiW nur ein Kontakt vorhanden ist, wird hier Modultyp 13 eingesetzt:

			Adr	Kan	Bit1	Bit2	Zeit	
z=770	27	F_Bad	2	2	5	4	0	/Analogkanal PCF8591 Adr2 Kan2, 2 Kontakte
z=773	13	F_KiW	2	2	3		0	/Analogkanal PCF8591 Adr2 Kan2, 1 Kontakt
z=776	27	F_WC	1	1	7	6	0	/Analogkanal ATtiny Adr1 Kan1, 2 Kontakte
z=777	27	F_KiO	1	1	5	4	0	/Analogkanal ATtiny Adr1 Kan1, 2 Kontakte
z=778	27	F_SZ	2	2	7	6	0	/Analogkanal PCF8591 Adr2 Kan2, 2 Kontakte

3. Eine Auswertelogik ermittelt nun von allen Fenstern den geschlossenen Zustand und stellt es als Signal „Erdgeschoss sicher“ zur Verfügung:

```

z=780   7  Kreis1    771    772    774    775     1     1
z=781   7  Kreis2    770    773    776    777    778     1
z=782   7  EG_Sicher 780    781     1     1     1     1 /Ein, wenn alle Module (770-778) EIN

```

5.3 Grafik programmieren

Auf der Anwendungsseite 114 werden alle Bildelemente gruppiert:

	Seite	Art	Adr	Kan	X	Y	P1	P2	Min	Max	par	
/Leuchtfelder rechte Seite												
Menüllx=	114	Sicherheit	EG									
Anzeige=	114	9	8	782	300	130	0	0	7	2	1	/Erdgeschoß sicher!
Anzeige=	114	9	8	770	500	45	15	0	0	0	1	/F_Bad
Anzeige=	114	9	8	771	500	60	15	0	0	0	1	/F_HWR
Anzeige=	114	9	8	772	500	75	15	0	0	0	1	/F_Küche Süd
Anzeige=	114	9	8	773	500	90	15	0	0	0	1	/F_Kind West
Anzeige=	114	9	8	774	500	105	15	0	0	0	1	/F_Wohnen
Anzeige=	114	9	8	775	500	120	15	0	0	0	1	/F_Küche West
Anzeige=	114	9	8	776	500	135	15	0	0	0	1	/F_WC
Anzeige=	114	9	8	777	500	150	15	0	0	0	1	/F_Kind Ost
Anzeige=	114	9	8	778	500	165	15	0	0	0	1	/F_Schlafen
/Grundriss												
Anzeige=	114	14	0	0	20	83	7	1	135	50		/ Kind-Ost
Anzeige=	114	14	0	0	20	167	7	1	135	50		/ Kind-West
Anzeige=	114	14	0	0	20	116	7	1	90	32		/ Kind-Ost
Anzeige=	114	14	0	0	375	83	7	1	45	50		/ HWR
Anzeige=	114	14	0	0	281	83	7	1	94	50		/ Bad
Anzeige=	114	14	0	0	185	83	7	1	95	50		/ schlafen
Anzeige=	114	14	0	0	155	83	7	1	30	50		/ Ankleide
Anzeige=	114	33	0	0	280	120	7	10	100	20		/ Treppe
Anzeige=	114	15	0	0	320	100	7	0	320	83		/ Treppe
Anzeige=	114	15	0	0	380	120	7	0	420	120		/ Treppe
Anzeige=	114	14	8	-503	20	165	7	4	400	130	0	/ Haus grau
Anzeige=	114	14	8	503	20	165	2	4	400	130	0	/ Haus grün
/Fenster, farbig: gelb-gekippt, rot-offen, grün-geschlossen												
Anzeige=	114	24	8	770	325	35	35	5	0	0	0	/farbiges Rechteck Badfenster
Anzeige=	114	24	8	771	420	74	5	28	0	0	0	/farbiges Rechteck HWR
Anzeige=	114	24	8	772	420	154	5	28	0	0	0	/farbiges Rechteck Küche Süd
Anzeige=	114	24	8	773	60	170	75	5	0	0	0	/farbiges Rechteck Kind West
Anzeige=	114	24	8	774	185	170	75	5	0	0	0	/farbiges Rechteck Wohnen
Anzeige=	114	24	8	775	305	170	75	5	0	0	0	/farbiges Rechteck Küche West
Anzeige=	114	24	8	776	15	105	5	10	0	0	0	/farbiges Rechteck WC
Anzeige=	114	24	8	777	82	35	35	5	0	0	0	/farbiges Rechteck Kind Ost
Anzeige=	114	24	8	778	205	35	35	5	0	0	0	/farbiges Rechteck Schlafen

5.4 Das Ergebnis



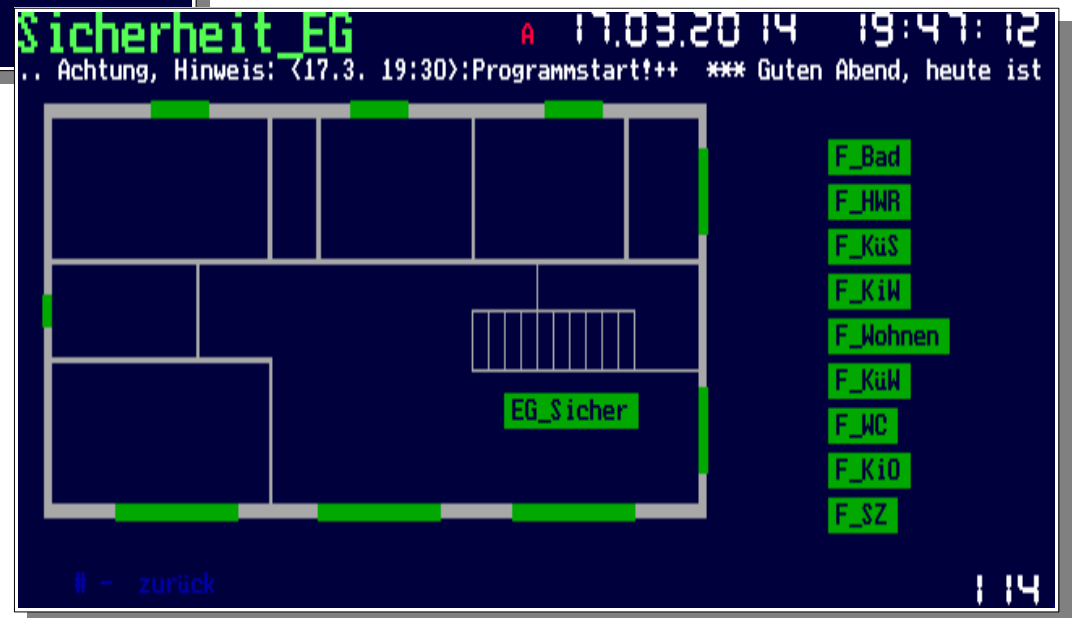
Sind alle Fenster geschlossen und nicht gekippt, so sind nicht nur alle Fenster grün, sondern zusätzlich schaltet auch das Leuchtfeld „EG_Sicher“ auf grün. Dieses Signal kann dann mit weiteren SPS Modulen zu einer komfortablen Alarmanlage ausgebaut werden.

Die Fenster werden je nach Zustand der Fensterkontakte automatisch in den entsprechenden Farben dargestellt:

- grün – geschlossen
- gelb – gekippt
- rot – offen

Ist die Hardware ausgefallen, so blinkt das Fenster rot und bei Ausfall der SPS ist nur ein grauer Fensterrahmen zu sehen.

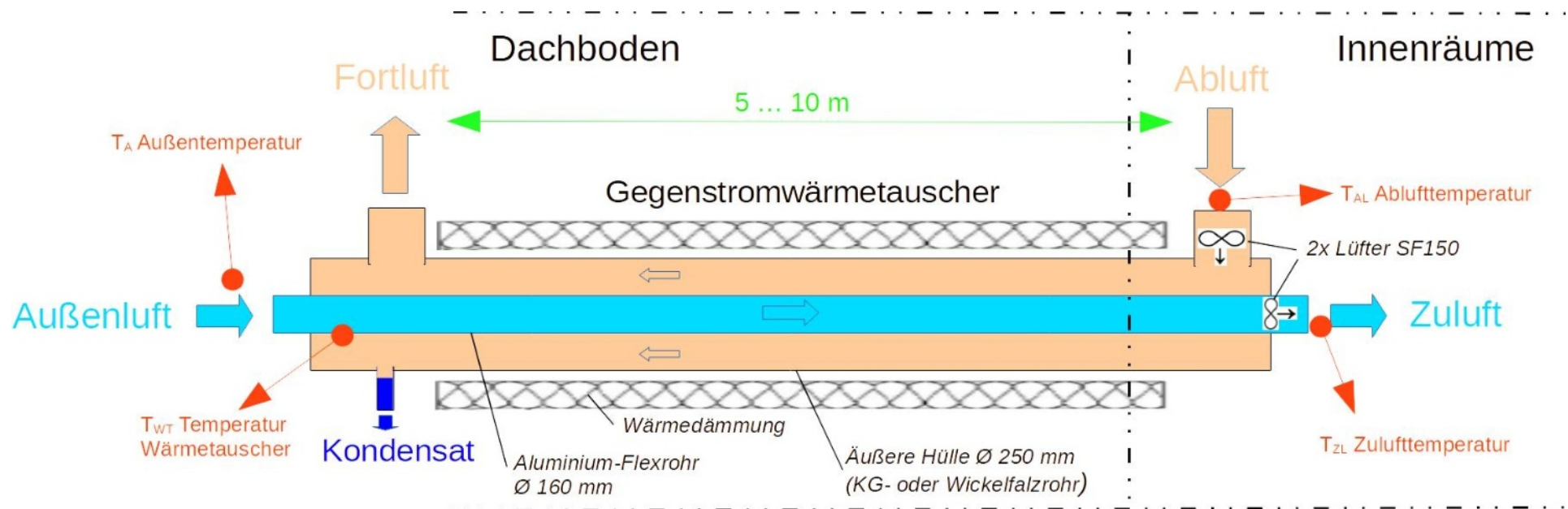
Die Leuchtfelder auf der rechten Seite des Bildes signalisieren das Ganze nochmal in Textform in den gleichen Feldfarben.



6 Eine Lüftungsanlage für ein EFH mit Wärmetauscher (2021)

6.1 Das Projekt Lüftungsanlage – Übersicht

Ein älteres Einfamilienhaus wurde nachträglich gedämmt. Dabei entstand das Problem des Luftaustausches mit der Außenluft möglichst ohne Energieverlust. Manuelles Lüften ist natürlich möglich, aber wärmetechnisch suboptimal. Entweder es wird zu wenig gelüftet → Gefahr der Schimmelbildung, oder zu viel → Wärmeverlust. Zudem kann eine Steuerung in Abhängigkeit von Uhrzeit/CO₂-Gehalt/Luftfeuchte/Jahreszeit viel besser den Luftaustausch regeln. Voraussetzung ist allerdings eine steuerbare Zu- und Abluftanlage. Als Alternative zu einer kommerziellen Anlage wurde eine preisgünstige Eigenbau-Lösung gefunden. Vom Dachboden aus gelangt per Lüftungsrohre Frischluft in mehrere Innenräume (Zuluft). Ein Luftabzug im Treppenhaus befördert die Abluft ebenso zurück zum Dachboden. Auf dem Dachboden befindet sich ein Gegenstrom-Wärmetauscher mit 2 Lüftern und 4 Temperatursensoren. Der Wärmetauscher besteht aus einem 10 m langem Aluminium-Flexrohr, dass in ein größeres korrosionsbeständiges KG-Rohr eingezogen wurde. Die Fortluft wird durch die Dachhaut nach Außen geführt, die Außenluft direkt im (ungedämmten) Dachboden angesaugt. Der Hauscomputer regelt per Schwingungspaketsteuerung die beiden Lüfter im Bereich 14% ... 100%, sodass ein (fast) lautloser Betrieb möglich wird. Entstehendes Kondenswasser wird über das Dach abgeleitet. Hier das Prinzip:



Der Gegenstrom-Wärmetauscher mit dem innen liegenden Aluminium-Flexrohr hat einen effektiven Wirkungsgrad und ist in hygienischer Hinsicht optimal (vollständige Trennung beider Luftwege). Nachteilig sind lediglich der benötigte Platzbedarf (deshalb auf dem Dachboden) und die kostspieligen

Rohre. Trotzdem ist diese Lösung im Vergleich zu kommerziellen Wärmetauschern sehr preisgünstig. In der obigen Darstellung sind keine Luftfilter enthalten. Sie werden aber benötigt! Zum einen beim Eintritt der Außenluft um Insekten abzuhalten und eventuell auch Pollen, zum anderen wird ein Insektenschutz an allen anderen Rohröffnungen benötigt.

CO2-Gehalt:	400 – 600 ppm Sehr gut	600 – 800 ppm Gut	800 – 1000 ppm Befriedigend	1000 – 1500 ppm Lüftung empfohlen	1500 – 2000 ppm Lüftung erforderlich	> 2000 ppm Gesundheitsgefahr!
-------------	---------------------------	----------------------	--------------------------------	---	--	----------------------------------

Wird die Abluft im Wärmetauscher allmählich auf die Außentemperatur heruntergekühlt, so unterschreitet sie irgendwann (je nach Feuchtegehalt) den Taupunkt. Die Folge ist Kondenswasser im äußeren Rohr, das abgeleitet werden muss. Moderne Wärmetauscher mit Osmosefilter (Enthalpie-Wärmetauscher) haben dieses Problem nicht, sie sind aber teurer und problematischer in der Anwendung (Problematik erhöhte Luftfeuchte/ Schimmelbildung und die Wanderung von Keimen aus der Abluft in die Frischluft erfordern eine komplexe Regelung und zusätzliche Filter).

Ein weiteres Problem kommt hinzu: Der Wärmetauscher kann im Winter am Außenluft-Eintritt vereisen, wenn die warme und feuchte Abluft am gefrorenen Aluminiumrohr kondensiert. Auf eine zusätzliche Heizung des Wärmetauschers, wie in kommerziellen Anlagen oft verbaut, wurde aber verzichtet, da es eine einfachere Lösung gibt: Unterschreitet die Temperatur am Wärmetauscher nahe dem Fortluft-Abgang 0°C, so wird der Zuluft-Ventilator einfach abgeschaltet. Der dann noch laufende Abluft-Ventilator erwärmt wieder den Wärmetauscher und das Spiel beginnt von vorn. Dabei verringert sich natürlich der Wirkungsgrad. Da die Außenluft im Dachboden (wo es manchmal noch etwas wärmer ist) angesaugt wird, ist das nicht so dramatisch. Erst bei dauerhaften tiefen Minustemperaturen (-15°C und weniger) steht dann die Frage, ob noch ausreichend Frischluft in das Haus gelangt. Bei einem küstennahen Standort also überhaupt kein Problem.

Technisch gesehen besitzen beide Luftströmungen bei den gewählten Durchmessern von 160 mm und 250 mm einen fast identischen und ausreichend großen Querschnitt, so dass über die Entfernung von einigen Metern am innen liegenden geriffelten Aluminium-Flexrohr ein guter Wärmeaustausch stattfindet. Um einen vollständigen Kondensatablauf zu gewährleisten, ist die KG-Rohrkonstruktion auch entsprechend geeignet.

Im Sommerbetrieb, wenn es draußen wärmer ist, als im Haus wird tagsüber die Zuluft über die Abluft im Wärmetauscher gekühlt. Der Wärmetauscher funktioniert nun in die andere Richtung. Bei Temperaturen über 20°C Zimmertemperatur kann Kondensat innerhalb des Aluminium-Flexrohres an sehr schwülen Tagen unter bestimmten Bedingungen entstehen. Wenn die Lüftung nachts kühlere Außenluft in das Haus leiten soll, müsste man den Wärmetauscher eigentlich überbrücken um ein Aufheizen der Frischluft zu vermeiden. Dieser Bypass ist in diesem Projekt nicht vorgesehen, zumal der Effekt nicht besonders

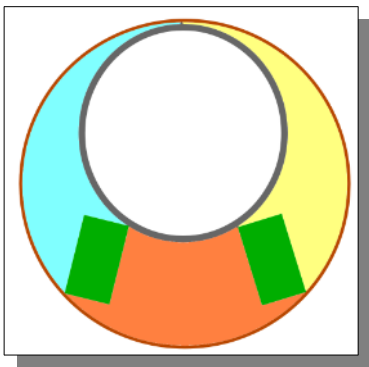


Abluftanlage im Dachboden - Lüftergruppe mit Schaltkasten und Differenzdrucksensor (oben), noch ohne Dämmung

hoch ist, denn die Temperaturdifferenzen und der relativ geringe Zeitraum in der zweiten Nachthälfte sind überschaubar. Natürlich könnte man auch beide Lüfter separat vom Hauscomputer aus ansteuern und hätte die volle Kontrolle. So spart man aber einen zweiten Steuerungskanal.

Die Leistungsregelung von gängigen (preiswerten) Lüftern mit Kondensatormotoren (Wechselstrom- Asynchronmotor) ist nicht trivial. Verschiedene Verfahren zur Drehzahlreduzierung (Vorschaltkondensatoren, Phasenanschnitt- bzw. Abschnittsregelungen, Frequenz- oder Spannungsregelung) haben gravierende Nachteile (zu teuer, Brand-/Ausfallgefahr, zu laut). Einzig die Wellenpaketsteuerung ist in diesem Bereich sinnvoll zu einem geringen Preis. Das steuernde Halbleiterrelais muss zwingend einen Nullpunktschalter enthalten um Brumm/Knatter-Geräusche zu vermeiden. Die elektrischen Störimpulse minimieren sich dann ebenfalls. Damit möglichst auch keine modulierende Lüftergeräusche hörbar sind, muss die

Zykluszeit der PWM $\leq 0,2$ Sekunden sein. Damit kann man die Motorleistung im Bereich 0 ... 20 Halbwellen bzw. 0 ... 100 % mit einer Genauigkeit von ± 5 % regeln. Eine minimale Leistung von 20 % ist praktisch bei einem Schiller SF-150 nicht mehr hörbar. Da sich der Volumenstrom proportional zur dritten Potenz der Motorleistung ergibt ([Wikipedia: Ventilator Kennlinie](#)), sollte sich der Volumenstrom interessanterweise bei Leistungsreduzierung auch nur relativ wenig reduzieren. Jetzt können die Lüfter natürlich nachts länger in Betrieb bleiben. Ein erhöhter Verschleiß durch reduzierte Drehzahlen muss man möglicherweise in Kauf nehmen. Beim Lüfter Schiller SF-150 wurde z. B. im Bereich 45% - 55% in der Betriebsart II eine stärkere Vibration des Lüftergehäuses festgestellt (mechanische Resonanz mit 5 Hz). In der Betriebsart I (reduzierte Leistung) tritt dieser Effekt kaum auf. Leistungen im Bereich 45 ... 55% führen demzufolge zu möglicherweise höherem Verschleiß der Achslager. Da insgesamt aber weniger Leistung umgesetzt wird, mache ich mir darüber keine Sorgen. Wichtiger ist die Verringerung der Geräuschbelastung durch die Lüftungsanlage. Gemessen wurde eine Verringerung von -25 dB (!) bei 20 % der Leistung im Vergleich zu 100 %. Zu hören war dann von den ohnehin leisen Lüftern überhaupt nix mehr, obwohl noch eine Leistung von 10 VA je Lüfter gezogen wurde und ein ausreichender Volumenstrom zu spüren war ... Letztlich bilden sich ausschließlich Strömungsgeräusche. Bei Strömungsgeschwindigkeiten > 5 m/s wird es dann tatsächlich an den Zuluft/Abluftgittern laut.



Eine geschickte Planung der Querschnitte in der Anlage ist Pflicht, notfalls helfen Telefoneschalldämpfer in unmittelbarer Nähe der Gitter. Für die Steuerung wird nur ein Interface „Mini“ benötigt, an dem 4 analoge Eingängen und ein Ausgang genutzt werden, also insgesamt nur eine analoge Adresse. Hinzu kommen die Halbleiterrelais für die beiden Lüfter, ein „Frost-“ Komparator, ein Gehäuse und die Verkabelung. Die Investitionen inklusive Lüfter und Wärmedämmung beliefen sich auf ca. 1200 €.

Noch etwas zum Wirkungsgrad des Wärmetauschers. Als Formel „über alles“ gilt:
$$\eta = \frac{T_{\text{Zuluft}} - T_{\text{Außen}}}{T_{\text{Abluft}} - T_{\text{Außen}}} \quad \text{-- bei gleichem}$$

Luftdurchsatz in beiden Richtungen (und theoretisch nur gültig bei gleicher absoluten Feuchte der Außenluft und der Abluft). Das nennt man auch die „Rückwärmezahl-Außenluft“. Entscheidend ist also die Erwärmung der Zuluft, da die Abluft ja in etwa der Innentemperatur entspricht. Wünschenswert ist ein Wirkungsgrad $> 0,8$ bzw. > 80 %.

Der Eigenbau war vielleicht etwas naiv, denn der gemessene Wirkungsgrad per Aluminium-Flexrohr (und bei 11 m Länge) lag zunächst nur bei enttäuschenden 25 ... 30 %. Erst die Nachrüstung eines „Labyrinths“ zwischen beiden Rohren (rechtes Bild, nächste Seite) verbesserte den Wert auf etwa 50 % bei 140 m³/h Luftdurchsatz. Dabei bilden sich 3 Luftbereiche im Abluft-Querschnitt, die abwechselnd durchströmt werden und damit einen gleichmäßigeren Wärmeaustausch zwischen der Abluft und dem inneren Aluminium-Rohr gewährleisten (linkes Bild). Die Langzeitauglichkeit der imprägnierten Dachlatten im Abluftkanal muss sich erst noch erweisen, notfalls kann man die Konstruktion ja wieder herausziehen. 50 % Wirkungsgrad

sind aber auch nicht berauschend viel, obgleich im Vergleich zum offenen (und rechtzeitig wieder geschlossenem Fenster immerhin schon die Hälfte der Wärme zurückgewonnen wird. Für das innere des Flexrohres wurde dann konsequenterweise auch ein „Labyrinth“ aus preiswerten Resten angefertigt (Bilder links). Auf einem verzinkten Stahldraht (1,5 mm) wurden 4 ... 5 cm breite Flexrohrabschnitte aufgefädelt und mit dünnem Draht jeweils um 90° versetzt gesichert. Zum Einsatz kam hier korrosionsbeständiger Sicherungsdraht, wie er auch in der Luftfahrttechnik verwendet wird. Da in dem Rohr die Zuluft ins Haus strömt, ist Hygiene wichtig, also kein Holz! Die beiden Enden des Stahldrahtes wurden zu Ösen umgebogen und die einzelnen Flexrohrabschnitte etwas platt gedrückt, damit sie später in das Rohr passen.. Mit 10 „Kringeln“ entsteht so ein etwa 1,7 m langer Einschub.



Die fertigen Labyrinth-Einschübe wurden anschließend nacheinander von beiden Seiten in das 11 m lange 160 iger Flexrohr geschoben und natürlich dabei auch untereinander verbunden, so dass man sie bei Bedarf auch wieder herausziehen kann. So ist der Wärmetauscher komplett. Der angezeigte Wirkungsgrad verbessert sich deutlich auf 75%. Nun wird der Luftstrom im inneren Rohr auch in Luftwirbel gezwungen. Die vorher fast laminare Strömung im inneren des

Rohres, die keinen Kontakt zur Rohrwandung hatte, wird gebrochen und nimmt nun ebenfalls am Wärmeaustausch teil. Folgende Variante wäre noch optimaler: 250 iger Wickelfalzrohr mit 3 innen liegenden Aluflexrohren mit je 10 cm Durchmesser und den oben beschrieben zusätzlichen Maßnahmen. Dann wäre die Oberfläche zum Wärmeaustausch fast doppelt so groß. Vielleicht rüste ich nochmal um ...

Auch spielt die Wärmekapazität des äußeren KG-Rohres eine Rolle, die erst bei längerem Betrieb (ab ca. 40 min) und guter Dämmung vernachlässigbar ist. Alles in allem ist es ein finanzieller Kompromiss. Einen guten (fertigen) Wärmetauscher gibt es leider nur im Paket mit kompletter Steuerung und Lüftern zu kaufen. Das hier vorgestellte Eigenbau-System ist für einen Luftdurchsatz von bis zu 300-400 m³/h ausgelegt. Vergleichbare kommerzielle Geräte mit möglicherweise besserem Wirkungsgrad kosten ab 2500 € aufwärts (2020). Allerdings ist die Angabe des Wirkungsgrades nicht einheitlich und sicher auch geschönt. Nur Angaben nach obiger Formel bei einem konkreten Luftdurchsatz (und gleicher absoluter Feuchte für beide Luftströme) sind real! Die

Berechnung der kompletten Wärmemengen der Zu- und Abluft, unter Berücksichtigung der Luftfeuchte (Enthalpie) ist aufwändig und in diesem Projekt vorerst nicht umgesetzt. Zur Ermittlung des korrekten Wärmerückgewinnungsgrades lt. Norm VDI 2071 wäre es aber notwendig. Abweichungen zur

einfachen Methode per Temperaturmessung ergeben sich insbesondere im Herbst, wenn viel Kondensat anfällt, oder wenn im Haus viel Feuchtigkeit durch Bewohner/Bad/Küche entsteht.

Bei den jetzt gewählten Rohrdurchmessern /250/160 mm strömt etwas mehr Luft nach außen, als umgekehrt, sodass von einem tatsächlichem Wirkungsgrad von etwa 60 ... 65 % auszugehen ist. Damit werden die Mindestanforderungen der Ökodesign-Richtlinie 1253/2014 der Europäischen Kommission bezüglich des trockenen Wirkungsgrades bei ausgeglichenen Luftmengen (gem. EN 308 bei +5°C/+25°C) von 73 % noch nicht erfüllt, leider. Ein effektiverer Wärmetauscher wäre dann notwendig → siehe Update im Abschnitt 6.5.

Es bleibt noch eine automatische Filterüberwachung zu implementieren, was mit einem Druckdifferenzsensor kein Problem darstellt. Die SPS-Module 927/931/932 im Abschnitt 6.4 sind die Schlüsselbausteine dazu. Sie melden zuverlässig einen Ausfall bzw. erforderlichen Filterwechsel. Auch ist bereits eine stufenlose Regelung der Ventilatoren umgesetzt.

Die Anforderungen zur Mindest-Ventilatoreffizienz werden dagegen erfüllt. So ist lt. Norm für Lüfter < 30 kW folgende Effizienz gefordert:

$n < 6,2 \% \cdot \ln(P) + 35 \%$. Bei dem verwendeten Lüfter SF150 (bei 40% Leistung bzw. 45W Nennleistung) wären das $6,2 \cdot \ln(0,045 \cdot 0,4) + 35 = 10,1\%$.

Demgegenüber wurden eben bei dieser Leistung eine Druckdifferenz von 50 Pa und ein Luftdurchsatz von ca. 160 m³/h ermittelt.

Damit liegt die abgegebene (mechanische) Leistung des Lüfters $P_{mech}[W] = V \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot dP \left[\frac{N}{m^2} \right]$ bei $160/3600 \cdot 50 = 2,2W$.

Die aufgenommene (elektrische) Leistung beträgt bei $P_{el} = 45 W \cdot 0,4 = 18 W$, womit sich eine Ventilator-Effizienz von $2,2 W / 18 W = 12 \%$ ergibt. Da $12 \% > 10,1 \%$ ist, wird die Mindest-Ventilatoreffizienz erfüllt.

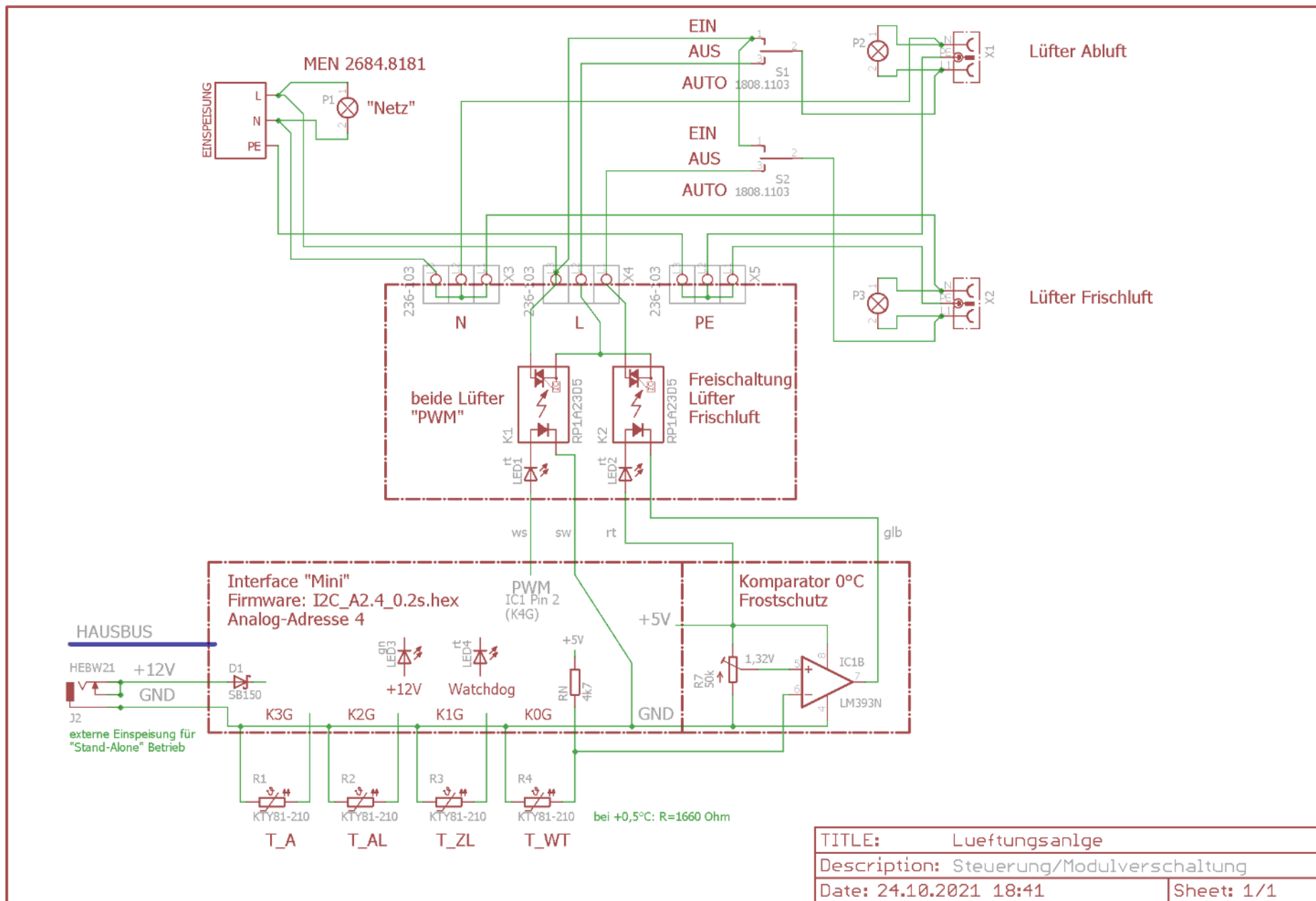
6.2 elektrische Verschaltung und Hinweise zum Aufbau

Als steuerndes Verbindungsmodul mit Verbindung zum Hausbus kommt das Interface „Mini“ mit eingestellter analoger Adresse „4“ zum Einsatz. Dabei gibt es folgende Änderungen zum originalen Bauplan im Hardware Band 0:

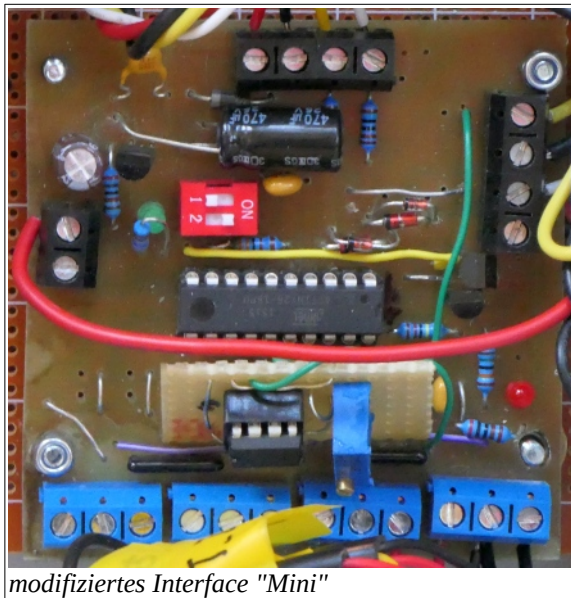
- Parallel zu den Z-Dioden D1 und D2 werden 2 BAT48 eingelötet (siehe auch Abschnitt 2.2. im Hardware Band 0).
- Zur Verbesserung der Stabilität des Moduls am Hausbus wird am Eingang des Spannungsreglers IC2 ein zusätzlicher Blockkondensator (gegen Masse) 470µF/25V eingelötet.
- R11 (47k) wird nicht bestückt, da der Watchdog-Ausgang nicht weiter verwendet wird. Das verhindert ein „Leuchten“ der LED im Aus-Zustand.
- Da das Modul spannungsgesteuerte Halbleiterrelais vom Typ RP1A23D5 (3 ... 30V) ansteuern soll und die Signalisation auf der externen Leiterplatte mit den Halbleiterrelais bereits vorhanden ist, können die Bauteile R5, R6, sowie LED1 und LED2 im „Mini“ entfallen.
- Für eine „geräuscharme“ Regelung ist die Firmware „I2C_A2.4_0.2s.hex“ mit einer Intervallzeit der PWM von 0,2 s zu nutzen. Getestet wird dann mit der *hauscomp.ini* Beispiel 6.8 (Programmhandbuch) mit nachfolgender Kalibrierung.
- Als Sensoren werden 4 KTY81-210 (2k bei Zimmertemperatur) eingesetzt. Damit sind Rn1 bzw. Rn2 mit jeweils 4,7k zu bestücken. Die Standardkalibrierung für Adresse 4 sieht dann so aus:

```
SensorAt26=T_WT °C 4 0 60 -47.0 386 +11.0 563 +82.0 794 /Sensor KTY81-210 analoge Adresse 4 Kanal 0
SensorAt26=T_ZL °C 4 1 60 -47.0 386 +11.0 563 +82.0 794 /Sensor KTY81-210 analoge Adresse 4 Kanal 1
SensorAt26=T_AL °C 4 2 60 -47.0 386 +11.0 563 +82.0 794 /Sensor KTY81-210 analoge Adresse 4 Kanal 2
SensorAt26=T_TA °C 4 3 60 -47.0 386 +11.0 563 +82.0 794 /Sensor KTY81-210 analoge Adresse 4 Kanal 3
Analog=Lüfter % 4 30 20 0 0 100 191 100 191 /analoger Ausgang Adresse 4
```

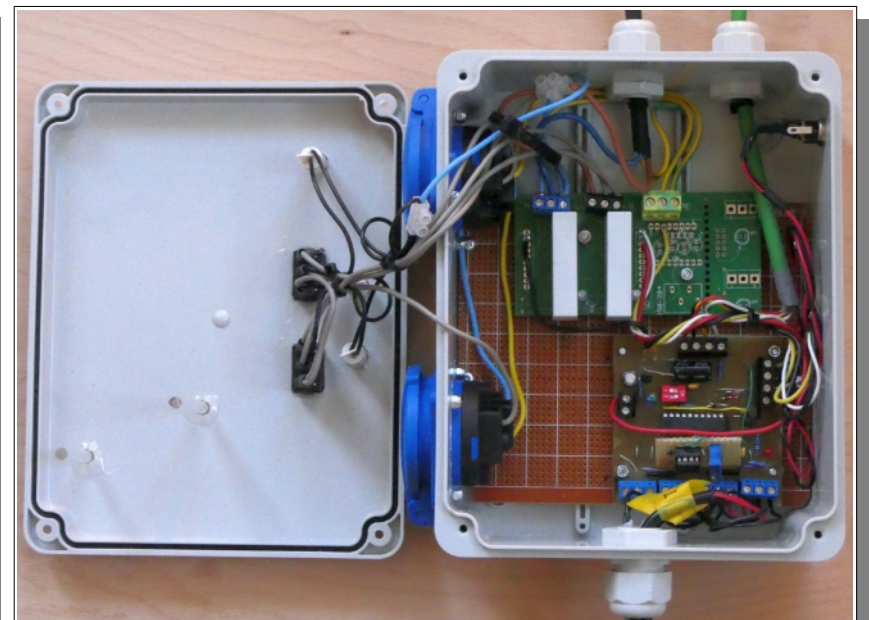
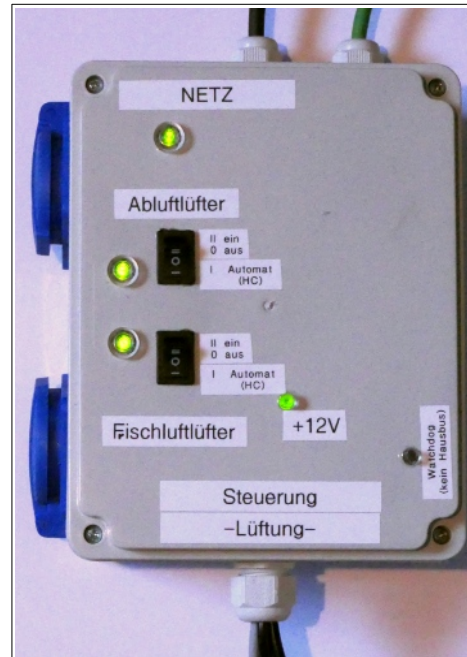
- Damit schaltet sich übrigens der Abluft-Lüfter bei Ausfall des Hauscomputers automatisch mit 20 % Leistung ein, während der Frischluft-Lüfter auf „aus“ verbleibt, da das Watchdogsignal über K0G zugleich den Frostschutz aktiviert.
- Um das Ganze auch als „Stand-Alone“ ohne Hausbus nutzen zu können (z. B. Betrieb mit Zeitschaltuhr), gibt es eine 12V Buchse. Dann sollte allerdings nicht K0G als Eingang für den Temperatursensor am Wärmetauscher genutzt werden, da sonst der Watchdog den Zuluft-Lüfter generell blockiert.



Beide Lüfter können mittels 3-Stellungsschalter sowohl dauerhaft ein- als auch ausgeschaltet werden. Die dritte Stellung ist der automatische „Normalbetrieb“. Dabei wird der Abluft-Lüfter direkt vom analogen Ausgangskanal des Interfaces und dem Halbleiterrelais K1 per PWM geschaltet. Der Frischluft-Lüfter hängt über ein zusätzliches Halbleiterrelais ebenso an dieser (getakteten) Stromversorgung. Dieses Relais K2 ist normalerweise dauerhaft „ein“ und wird nur bei Temperaturen des Wärmetauschers unter 0,5°C über einen Komparator gesperrt. Einfach aber wirkungsvoll.



modifiziertes Interface "Mini"



geöffneter Elektro-Anschlusskasten

Ein übliches Elektro-Installationsgehäuse nimmt alle Komponenten gemäß Schaltplan auf. Die beiden Einbausteckdosen (im oberen Bild, linke Seite) sind für IP54/16A ausgelegt und vom Typ „AGT-S BLUE“. Bei der Verkabelung ist auf eine ausreichende Trennung des Netzspannungsteils vom Bereich mit Niederspannung bzw. dem Hausbus zu achten. Das Licht der beiden LEDs auf dem Interface sind mittels durchsichtiger 5 mm Acryl-Stäbe optisch nach außen geführt. Der Frostschutz-Komparator wurde auf einer kleinen Lochrasterplatine direkt auf dem Interface „Mini“ befestigt.

6.3 Ein Differenzdrucksensor für Tests

Um den genauen Luftdurchsatz in der Lüftungsanlage zu ermitteln wurde ein Differenzdrucksensor (Hardware Band 2 Abschnitt 1.9) an den Abluftlüfter angebaut. Damit erfolgte auch eine Kalibrierung des neuen SPS-Modultyps 113. Der Anschluss war einfach per zusätzlichem Raumsensor im Dachboden möglich. Anhand des Datenblattes des Lüfters ergab sich der Luftdurchsatz. Beide Lüfter werden ausschließlich mit „Low speed“ betrieben. Bezogen auf die Querschnitte im Wärmetauscher kann man damit die Luftgeschwindigkeit und die Verweildauer im Wärmetauscher berechnen.

$$v = \frac{\dot{V}}{\text{Querschnitt}} \quad , \quad \text{Verweildauer} = \frac{\text{Länge WT}}{v} \quad . \quad \text{Bei einem Luftvolumen des belüfteten Wohnbereiches von } 360 \text{ m}^3$$

ergibt sich dann auch die Zeit, die theoretisch benötigt wird, um einen kompletten Luftaustausch zu gewährleisten. Das Ziel sollte sein, etwa 20 ... 30 m³/h Frischluft pro anwesender Person zuzuführen, nachts etwa ein Drittel. Das wären dann ca. 450 m³ je Tag und Person. Oder anders herum gerechnet, bei 270 m³/h Lüfterleistung können sich bis zu 10 Personen in den Räumen aufhalten, ohne dass zusätzlich Fenster geöffnet werden müssen. Bitte beachten: 2 kleine Kerzen produzieren

etwa auch soviel CO₂, wie ein Erwachsener! Die Luftwechselrate ergibt sich mit $n = \frac{\text{Luftdurchsatz}}{\text{Raumvolumen}}$. Die von der DIN empfohlene minimale

Luftwechselrate in Wohngebäuden von $n=0,5$ kann bei einer dauernden Lüfterleistung von 50 % eingehalten werden: $n = \frac{200 \text{ m}^3/\text{h}}{360 \text{ m}^3} = 0,55 \frac{1}{\text{h}}$, wobei

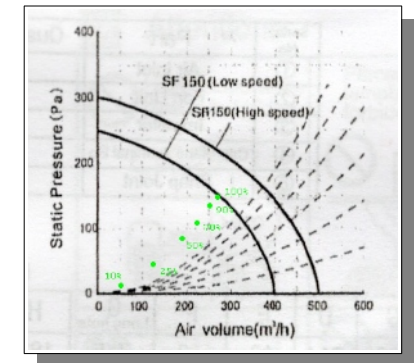
dieser Wert augenscheinlich nur vom Raumvolumen, nicht aber von der Anzahl der sich darin befindenden Personen abhängt, also eher praxisfern ist.

Hier die Tabelle berechneter Werte für die Lüftungsanlage (max. Luftdurchsatz=270 m³/h, äußerer Querschnitt Wärmetauscher 250 mm, Länge 11 m):

Leistung 2x SF150		Luftdurchsatz $\dot{V}$			Luftgeschwindigkeit v , A _{250:2}	Luftgeschwindigkeit v , A ₁₅₀	Luftgeschwindigkeit v , A ₁₀₀	Verweildauer im Wärmetauscher	Zeit um 360 m³ einmal auszutauschen
[W]	[%]	[m³/h]	[m³/s]	[%]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[s]	[Stunden Minuten]
2x 45	100	270	0,075	100	3,06	4,3	9,6 ¹⁾	3,6	1h 20'
2x 36	80	230	0,064	85	2,61	3,64	8,2 ¹⁾	4,2	1h 33'
2x 22,5	50	200	0,056	74	2,29	3,2	7,2 ¹⁾	4,8	1h 48'
2x 13,5	30	140	0,039	52	1,6	2,2	5,0	6,8	2h 34'
2x 9	20	110	0,030	41	1,2	1,7	3,8	9,1	3h 16'

¹⁾ Bei diesen Luftgeschwindigkeiten entstehen Geräusche an Lufteintritts/Austrittsgittern

Die gewählten Lüfter sind also theoretisch, wie praktisch gut geeignet und die Lüftungskanäle bis zum/vom Wärmetauscher sollten Durchmesser ≥ 125 mm haben. Dann gibt es keine Probleme beim Betrieb der Lüftungsanlage. Die Werte vom Differenzdrucksensor sind letztlich natürlich auch nur so genau, wie die Herstellerangaben zum Lüfter. Im Vergleich der beiden Luftkanäle (gleiche Lüfter vorausgesetzt), also wichtig für die Berechnung des Wirkungsgrads des Wärmetauschers, ist das Datenblatt und damit der absolute Luftdurchsatz aber unerheblich, da er sich weitgehend herauskürzt.

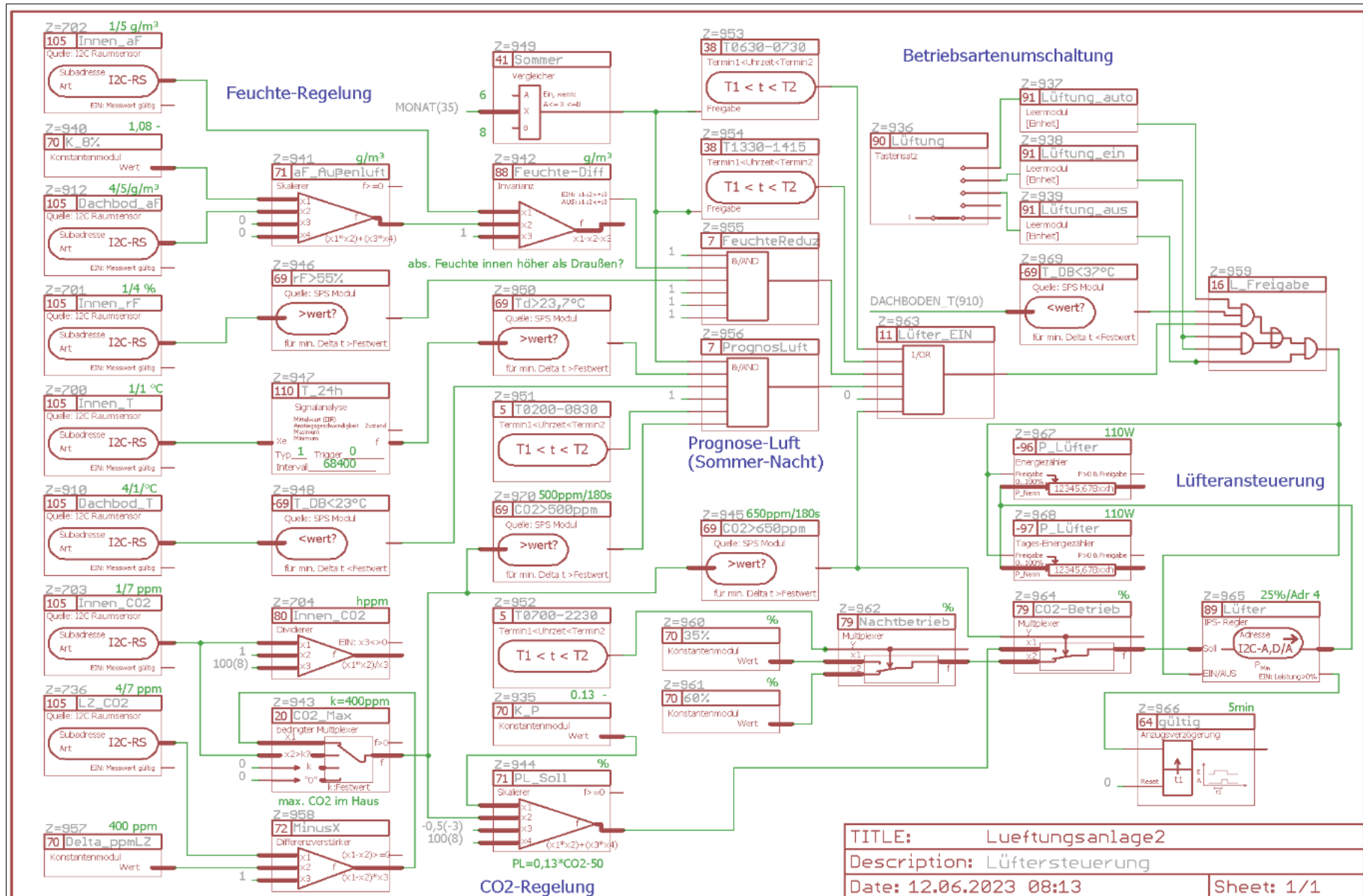


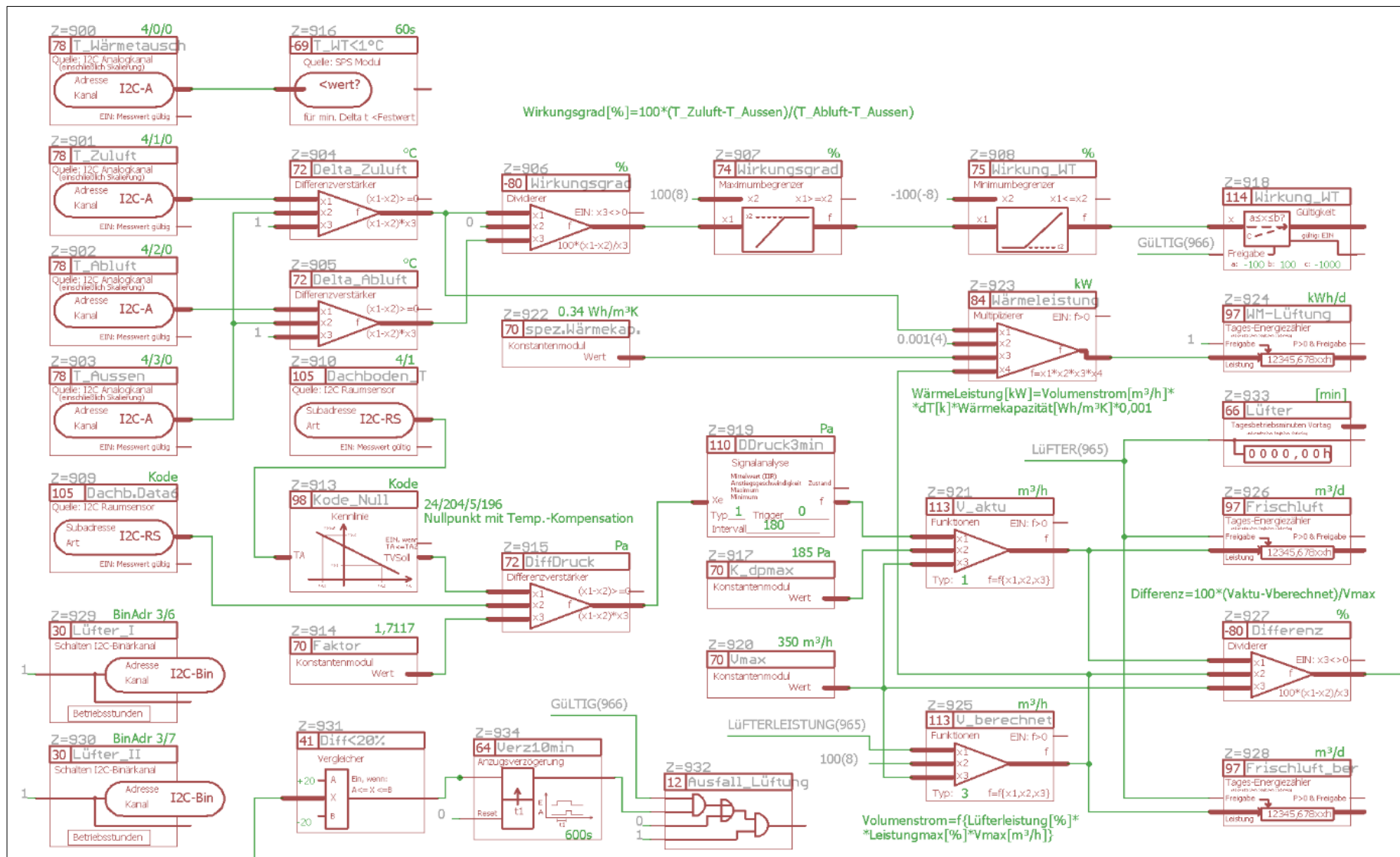
6.4 Die Lüftersteuerung per SPS und das Monitoring

Die Ansteuerung der beiden Lüfter erfolgt über die SPS in Abhängigkeit von Luftgüte im Innenbereich (CO₂), Tageszeit und Klima der Außenluft:

- Minimumlüftung: Täglich für ca. 1 Stunde am Nachmittag oder frühmorgens (im Sommer: Juni, Juli, August). Die Lüftung erfolgt auch bei Leerstand des Gebäudes.
- Bedarfslüftung: Bei CO₂ >650 ppm erfolgt eine angemessene Lüftungsleistung. Die CO₂ Sensoren befinden sich in beiden Etagen. Anschließend wird aus dem größeren Messwert die Lüfterleistung entsprechend $P=0,13 \cdot \text{CO}_2 - 50$ errechnet. Diese Lüftungsart lüftet in Abhängigkeit von anwesenden Bewohnern automatisch in ausreichendem Umfang alle Wohnräume. Da ein CO₂ Sensor ungünstig neben einem Gästebett angebracht wurde, wird dieser Sensorwert zunächst um 200 ppm verringert.
- Luftfeuchtereduzierung im Sommer/Herbst: wenn die absolute Luftfeuchte der Außenluft geringer ist als die in den Wohnräumen, versucht die Lüftungsanlage mehr Frischluft in die Wohnräume zu drücken, wenn die relative Luftfeuchte im Innern über 55 % liegt. Die Erwärmung der zugeführten Luft verringert die relative Luftfeuchte in den Wohnräumen. Dazu wird die gemessene absolute Feuchte der Außenluft zusätzlich um 8 % künstlich vergrößert, um einen möglichen Messfehler zu kompensieren. Funktioniert super!
- Vorausschauender Luftaustausch der Wohnräume, wenn im Sommer in der zweiten Nachthälfte die Außenluft kühler ist als in den Wohnräumen (Funktion „Prognose-Luft“). Voraussetzung ist eine Durchschnittsinnentemperatur der letzten 24 h von mehr als 23,7 °C und eine Temperatur der angesaugten Frischluft von weniger als 23 °C. Diese Funktion ist nur in den 3 Sommermonaten Juni-August freigeschaltet. Hilfreich wäre hier ein Bypass im Wärmetauscher, der aber nicht implementiert wurde. Die Praxis zeigt eine gewisse, aber nicht übermäßige, Wirkung.
- Bis auf die Bedarfslüftung über den CO₂ Gehalt, erfolgt die Ansteuerung der Lüfter einheitlich am Tag mit 60 % und nachts mit 35 %.
- Auf der Anwendungsseite im Hauscomputer „Klima“ (Seite 116) werden alle Messwerte zusammengefasst. Die Steuerung erfolgt vollautomatisch. Neben der Anzeige der Messwerte und Zustände der Anlage werden in Echtzeit ermittelt:
 - Wirkungsgrad des Wärmetauschers (derzeit noch ohne Berücksichtigung der Differenz der absoluten Luftfeuchte Außenluft-Abluft)
 - Vom Wärmetauscher umgesetzte bzw. wieder genutzte Wärmemenge [kWh/d] (Daten werden auch automatisch in Grafik aufgezeichnet)
 - Volumenstrom der Lüftung (einmal aus Druckdifferenz, einmal aus Lüfterleistung), zu Testzwecken auch die Differenz beider Werte
 - Tägliches Lüftungsvolumen (Daten werden auch automatisch in Grafik aufgezeichnet)
 - Im Entwicklungsstadium wurde per Menüsteuerung die Leistung der Lüfter am Tag manuell vorgegeben. Dazu wurde der SPS-Modul 961 vom Typ 70 auf Typ 56 geändert und ein 3 Tasten Menü ergänzt. Im fertigen Projekt gibt es die Umschaltung auto/ein/aus (Module 936ff.).

Die notwendigen Angaben für die *hauscomp.ini* finden sich unter .../Beispiel Lueftungsanlage/ im Downloadbereich bzw. der Projekt DVD.

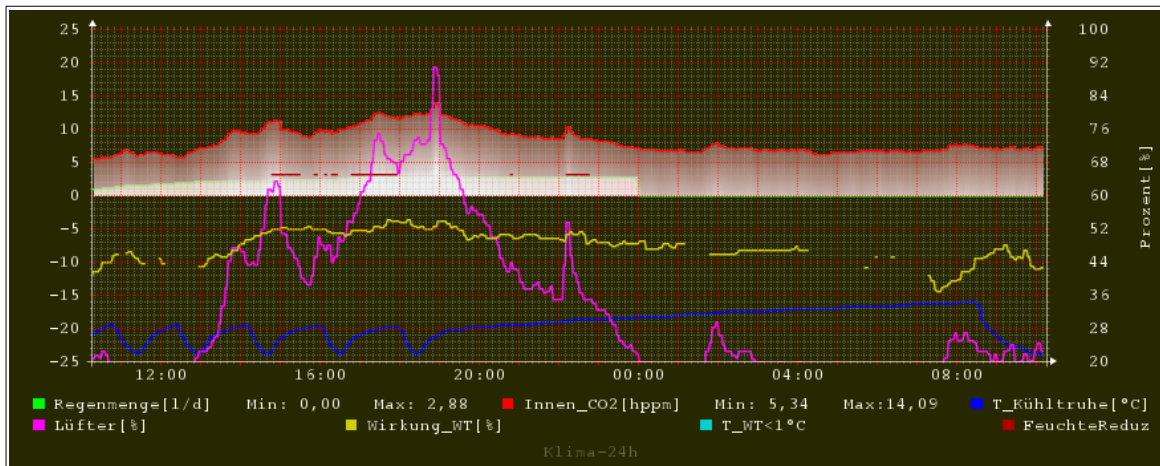




SPS: Monitoring der Lüftungsanlage



"Klima"-Seite 116 im Hauscomputer im Testbetrieb mit manueller Vorgabe der Lüfter-Leistung. „Bodentemp.“ und „Luftdruck“ stammen aus einem anderen Projekt. Der Wärmetauscher war nur mit einem äußeren, aber noch nicht mit einem inneren Labyrinth ausgestattet.



Typisches Lüftungsszenario: 13:00-19:00 Uhr Party mit vielen Personen

Die linke Grafik zeigt ein Beispiel aus der Praxis: deutlich sichtbar wird die Steigerung der Lüfter-Leistung (violett) bis auf 90 % während einer Familienfeier (10 Personen) mit geschlossenen Fenstern in Abhängigkeit vom CO₂ Gehalt der Raumluft (rot). Nachdem die Gäste gegen 19 Uhr das Haus verlassen hatten, reduziert die Lüftungsanlage im automatischen Regime den CO₂-Wert innerhalb von 5 Stunden wieder auf den Normalwert von 700 ppm. Die obere Grenze für akzeptable Raumluft (1400 ppm) wurde nur kurzzeitig knapp erreicht. Lüftungstechnisch erschwerend waren mehrere große brennende Kerzen im Haus (3. Advent). Der Wirkungsgrad der Anlage lag bei knapp 50 %. Hier zeigt sich auch der Nachteil eines P-Reglers mit einer reinen proportionalen Lüfteransteuerung ($P=0,1 \cdot \text{CO}_2 \dots$). Denkbar wäre sicher auch eine Auslegung des Reglers als PI-Regler mit Nachführung. Das würde den CO₂-Gehalt präziser in einem Toleranzbereich halten und somit auch schneller die Räume „lüften“.

Der Faktor „0,1“ wurde mittlerweile (2022) auf „0,13“ vergrößert, der P-Regler reicht nach jetzigen Erfahrungen in der Praxis aber völlig aus.

Nach der „Aufrüstung“ des Wärmetauschers mit einem inneren Labyrinth erhöhte sich der Wirkungsgrad auf 75 %, während der gemessene Luftdurchsatz sich im Frischluftkanal praktisch kaum verringerte (linkes Bild). Bei einer Frischluftzufuhr über einen Tag von ca. 1900 m³ wurden so 6,9 kWh Wärme zurückgewonnen, wobei die CO₂-Belastung im Haus stabil unter 900 ppm gehalten werden konnte – ohne ein Fenster zu öffnen! Der Elektroenergieverbrauch für beide Lüfter lag dabei im gleichen Zeitraum bei 0,418 kWh. Das ergäbe ein erstaunlich gutes Energie-Verhältnis (Aufwand zu Ertrag) von 1:16.

Damit ist die Lüftungsanlage erfolgreich aufgebaut und getestet und kann im Dauerbetrieb laufen.



Klima-Seite 116 im Regelbetrieb. Wärmetauscher mit äußerem und innerem Labyrinth.

6.5 Überarbeitung des Wärmetauschers 2022 (Zusammenfassung aller Änderungen vom Sommer und Herbst)

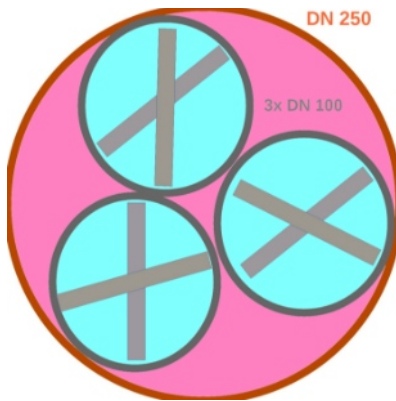
Zur Verbesserung des Wirkungsgrades des Wärmetauschers wurde im Sommer 2022 das 160iger Aluflexrohr im KG-Rohr (250) durch 3x 100 mm Aluflexrohre ersetzt. Eine Sichtkontrolle des alten Wärmetauschers und des KG-Rohres nach 8 Monaten Laufzeit ergaben keine Beanstandungen. Beginnende Korrosion gab es nur an den nicht verzinkten Blechstreifen des alten Labyrinths, die nun ausgedient hatten. Die Oberfläche zum Wärmeaustausch verdoppelt sich mit der neuen Konstruktion, während der Gesamt-Querschnitt ja erhalten bleibt. Notwendig sind dann natürlich auch entsprechende Übergänge/Adapter, die selbst hergestellt wurden:



Material: verzinktes Lüftungsrohr Ø100 mm, 3x130 mm Länge, 1x Verbindungsmuffe Ø160 mm, M3-Schrauben/Muttern, Tesa Glasfaser-Gewebeband (50 mm x 45 m, selbstklebend), PU-Spachtel (presto 601460 Kunststoffspachtel), MEM Dicht-Fix, Sicherungsdraht.

Innen-Querschnitt 250iger KG-Rohr	Querschnitt 100 Aluflexrohr (Frischlufte)	Rest- Querschnitt (Ablufte)	Koeffizient Frischlufte/Ablufte t Querschnitt	Umfang Wärme- tauscher	Koeffizient Welligkeit Aluflexrohr	Gesamt-Oberfläche Wärmetauscher (Länge=10 m)	Nennluft- durchsatz (100 %)	Wirkungsgrad
441 cm ²	3x 83,3 cm ² = 250 cm ²	191 cm ²	1,31	3x31,4 cm = 93 cm	1,5	93 cm x 1,5 x 10 m = 14 m²	ca. 300 m ³ /h je Richtung	ca. 70 %

In die 3 neuen (kleineren) Aluflexrohre wurde wieder ein Labyrinth aus Alu-Ringen eingebaut. Bei Verwendung dieser Einschübe in die 3 Aluflexrohre verringert sich etwas der Querschnitt in den 3 Rohren. Im Abluftkanal gibt es nun auch kein „Labyrinth“ mehr – die Luft in den vier, sich automatisch bildenden Luftkanälen, verwirbelt völlig ausreichend. Damit entfällt auch der problematische Einsatz von Holz im Wärmetauscher. Abschließend wurden natürlich die KG-Rohre wieder dick gedämmt. Im Herbst kam es dann zu einem unerwarteter Erfolg: Die hohe Luftfeuchtigkeit der Raumluft ab September konnte durch die Lüftungsanlage stabil verringert werden, der sonst jährlich übliche Einsatz eines energieintensiven Raumentfeuchters konnte entfallen.



Links: Prinzip-Querschnitt durch den verbesserten Wärmetauscher mit 3 Aluflexrohren und angedeutetem innen liegendem Labyrinth.

Rosa: Abluft

Hellblau: Zuluft

Rechts: Teil des neuen Wärmetauschers (Aluflexrohre noch nicht gestreckt) mit vorgefertigten Labyrinth-Abschnitten.

Mit einem Abschlusstest, wobei der Abluft-Lüfter auf Maximal gestellt und abgeschaltetem Zuluft-Lüfter wird die Dichtheit des Wärmetauschers überprüft: am Ansaugstutzen für die Außenluft darf keine Luft (spürbar) austreten.

Ein paar weitere Details wurden im Herbst verändert: Der zentrale Abluftsammler wurde vergrößert (jetzt Kasten 35 cm x 55 cm) und um einen üblichen Filter für Dunstabzugshauben ergänzt:



Die Vergrößerung der Ansaugfläche ist notwendig, da es sonst durch den Widerstand des Filters zu Druckverlusten und Strömungsgeräuschen kommen würde. Außerdem wurde der bisherige originale alte Abluftkanal bis zum Lüfter von DN100 auf DN160 vergrößert, was eine deutliche Verbesserung des Abluft-Luftdurchsatzes bewirkte. Der verbaute Telefoneschalldämpfer wurde entsprechend auch durch einen größeren ersetzt. Bei einer Leistung der Anlage von 60 % ist ein leises rauschendes Geräusch bei sonst völlig ruhigem Haus zu hören. Bei 100 % ist es deutlich hörbar. Mit einem MASTECH MS8229 konnte allerdings keine signifikante Geräuscherhöhung festgestellt werden.



Wärmetauscher mit Labyrinth

Mit dem Differenzdrucksensor (siehe 6.3) wurde die Anlage anschließend eingemessen. Da es neben dem Wärmetauscher auch Verteiler und Lüftungsrohre im Haus gibt, sind die Strömungswiderstände im Zuluft- und im Abluftbereich natürlich unterschiedlich, es ergeben sich entsprechend auch verschiedene Anlagenkennlinien. Die Messungen, die jeweils in den Modi „Low Speed“ und „High Speed“ bei PWM=100 % erfolgten, deuten auch darauf hin, dass die Lüfter-Kennlinie des Herstellers in der Kurvenform nicht ganz stimmen kann. Die korrekte Ermittlung des Luftdurchsatzes für beide Luftkanäle bleibt unterm Strich also eine Schätzung. Da die Geräuschbelastung beider Lüfter bei 100 % im Modus „High Speed“ akzeptabel ist, wurden beide Lüfter dauerhaft auf „High Speed“ gestellt. So gibt es eine ausreichende Leistungsreserve.



Lüftungsanlage im Oktober in Funktion, angezeigter Wirkungsgrad Wärmetauscher: 81%

Der neue Wärmetauscher und die Vergrößerung des Querschnitts im Abluftbereich ergeben nun für den Zuluft- bzw. Frischluftkanal: ca. 350 m³/h und für den Abluftkanal: ca. 410 m³/h, jeweils bei 100% Leistung. Der Unterschied von 17 % ist für die Lüftung des Hauses vernachlässigbar klein. Die laufende Berechnung durch den HC wird nun allerdings einen etwas höheren Wirkungsgrad ergeben, als real vorhanden ist. Bei einer Außentemperatur von 13,0 °C, einer Zuluft-Temperatur von 20,5 °C und einer Abluft-Temperatur von 22,1 °C Ende Oktober wurde vom HC ein Wirkungsgrad von 81% ermittelt. Berücksichtigt man den Unterschied im Luftdurchsatz in beide Richtungen, so kann man von einem Wirkungsgrad von ca. $81/1,17=69$ % ohne Beachtung der Enthalpie ausgehen. Vermutlich steigt dieser Wert noch bei höheren Differenztemperaturen im Winter, auch liegt der Fehler bei Messungen des Luftdurchsatzes bei 5 ... 8%. Für einen behelfsmäßig aufgebauten Wärmetauscher ist das aber ein sehr gutes Ergebnis.

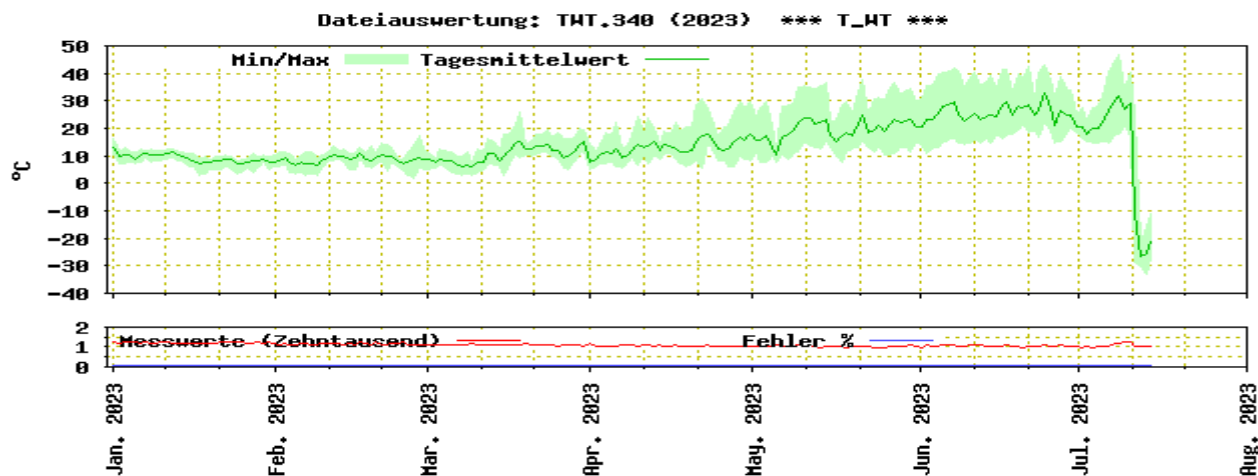
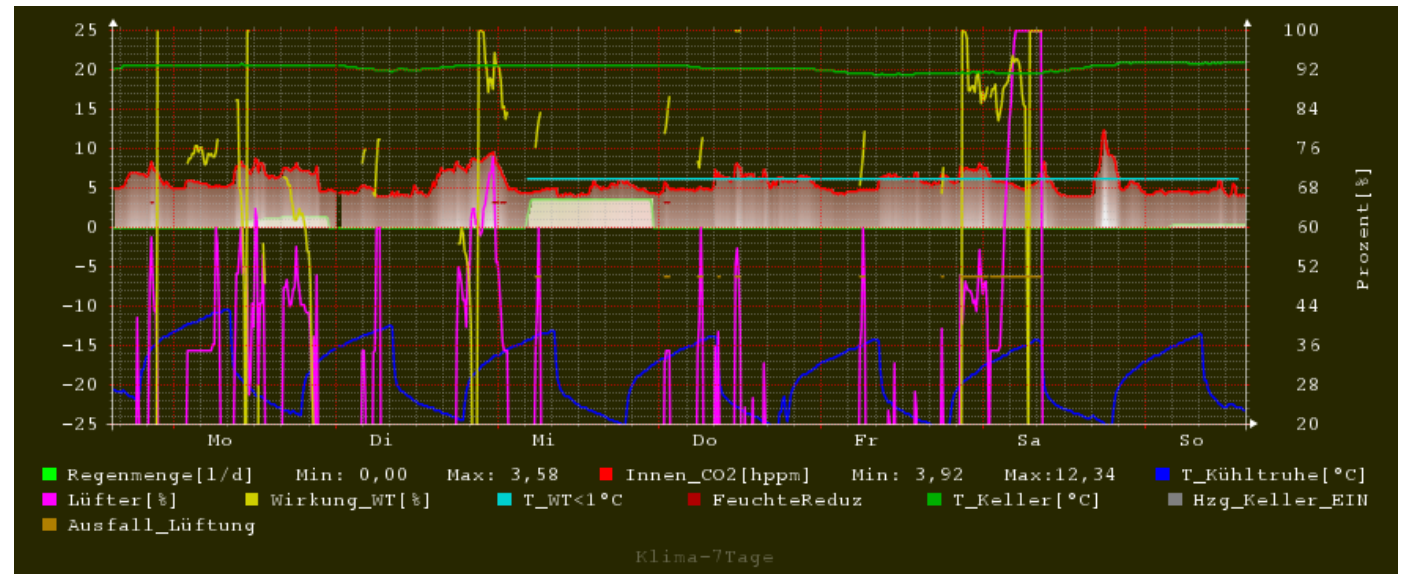
Das Monitoring der Lüftungsanlage ergab noch einen interessanten Wert: Pro Person im Haus werden je Minute 43 Liter Frischluft benötigt.

6.6 Nachtrag 2023

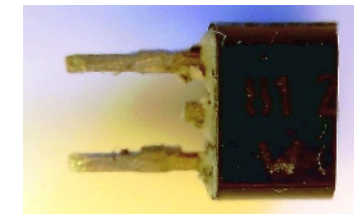
Im Juli 2023, nach vielen Monaten perfekter Arbeit der Lüftungsanlage, kam das Signal „Ausfall Lüftung“. In der nebenstehenden Grafik die braunen horizontalen Linien:

Als Ursache wurde der Temperaturfühler am Wärmetauscher identifiziert. Er lieferte plötzlich „frostige“ Temperaturwerte und schaltete damit den Zuluft-Lüfter ab. Auffallen war das, weil die Lüftungsanlage auf 100 % hoch lief – aber der CO₂-Gehalt der Luft sich nicht verringerte. Zudem kam keine Zuluft aus der Anlage.

Die automatisch erstellte Sensor-Grafik dokumentierte die fehlerhaften Werte:



Der Sensor (KTY 81-210 Rohranlegefühler) wurde gewechselt, die Anlage läuft nun wieder. Der Sensor wurde aus dem Messingblock mit einem Trennschleifer gelöst, in dem er verpresst war. Der Fehler



war direkt an seinen Anschlüssen reproduzierbar. Vermutliche Ursache ist interne Korrosion bzw. ein Herstellungsfehler.

Der Widerstand des Sensors hat sich lediglich im zulässigen Bereich von 2000 auf 1300 Ohm verringert, daher kam es nicht zu einer Ausfallmeldung des Sensors selbst. Es ist aber bedenklich, wenn nach wenigen Jahren der Nutzung bereits derartig drastische Ausfälle bei KTY Sensoren auftreten können.

6.7 Statistische Zusammenfassung der Lüftungsanlage

• Investitionssumme Gesamt (nur Material):	ca. 1400 EUR
• Zuluft-Luftstrom (Wohnraumvolumen: 380 m ³):	maximal 350 m ³ /h, geregelt
• Oberfläche Wärmetauscher:	14 m ²
• Wirkungsgrad Wärmetauscher/Lüftungsanlage (ohne Enthalpie)	ca. 69 %
• Stromverbrauch je 1000 Kubikmeter Frischluft:	0,22 kWh/Tm ³
• Durchschnittliche Luftwechselzahl (4 Personen Haushalt) bei durchschnittlich 700 ppm CO ₂ :	ca. 0,3 je Stunde
• Aufwand Elektroenergie Lüfter zu rückgewonnene Wärmemenge im WT (Winter):	1/16 ... 1/22
• Jährlicher Stromverbrauch Lüftungsanlage:	ca. 110 kWh
• Eingesparte (zurückgewonnene) Wärmemenge im Vergleich zur Gesamtheizleistung: (zurückgewonnen: 1260 kWh, Gesamtheizleistung: 14700 kWh; jeweils Okt-Apr)	11,7 %
• Eingesparte jährliche Heizkosten im Vergleich zur vorherigen „Fensterlüftung“: (gegenüber optimaler Fensterlüftung: 150 EUR, tatsächlich eher das Doppelte)	ca. 300 EUR/a
• Amortisation der Anlage:	nach 5 Jahren