
IT-Projekt

Steuerung und Regelung einer Hausklimatisierung

Mai 2020

Inhaltsverzeichnis

IT-Projekt.....	1
Inhaltsverzeichnis.....	2
Ziele.....	3
Simulation des Hauses.....	4
Beschreibung des Hauses.....	5
Technologischen Größen.....	6
Bedienung.....	8
Steuerung und Regelung der Heizung.....	11
Verbindung von Steuerung und Simulation des Hauses.....	12
Arbeitsweise der Steuerung und Regelung.....	14
Datenübertragung.....	15
Tools.....	16
Windows Programm SCADA.....	17
Dokumentation.....	18
Doxygen.....	18
Fritzing.....	18
SVN.....	18
Gnuplot.....	19

Ziele

Die Beheizung und gegebenenfalls Kühlung eines Hauses soll automatisiert werden. Hierzu gehören die erforderlichen Steuerungen und Regelungen zur Realisierung von Temperatur und evtl. auch Kohlendioxidgehalt bzw. Luftfeuchte.

Da bei einer realen Klimatisierung die Aufheiz- und Abkühlvorgänge für ein IT-Projekt unbequem lange dauern und da man Schlafstörungen bekäme, wird die Heizung durch eine vorhandene Software simuliert. Diese Simulation verwendet eine Zeitraffermethode.

Zunächst ist die übliche Arbeitsweise von Klimatisierung zu ermitteln. Welche Faktoren von Umwelt und Gebäude spielen dabei eine Rolle. Ine Recherche im Internet ist hierbei sicherlich hilfreich. Daraus folgt eine Definition der Methodik der Beheizung und Kühlung und es kann ein Pflichtenheft über die Funktionen der Steuerung und Regelung erstellt werden.

Soweit durch die bestehende Simulation abgedeckt, ist dann ein geeignetes Programm in C/C++ zu erstellen.

Die erreichte Funktionalität ist zu dokumentieren. Ziel ist eine Beschreibung des Programms und seiner Funktionen. Hierzu sind auch Zeitverläufe von ausgewählten Heizvorgängen aufzuzeichnen.

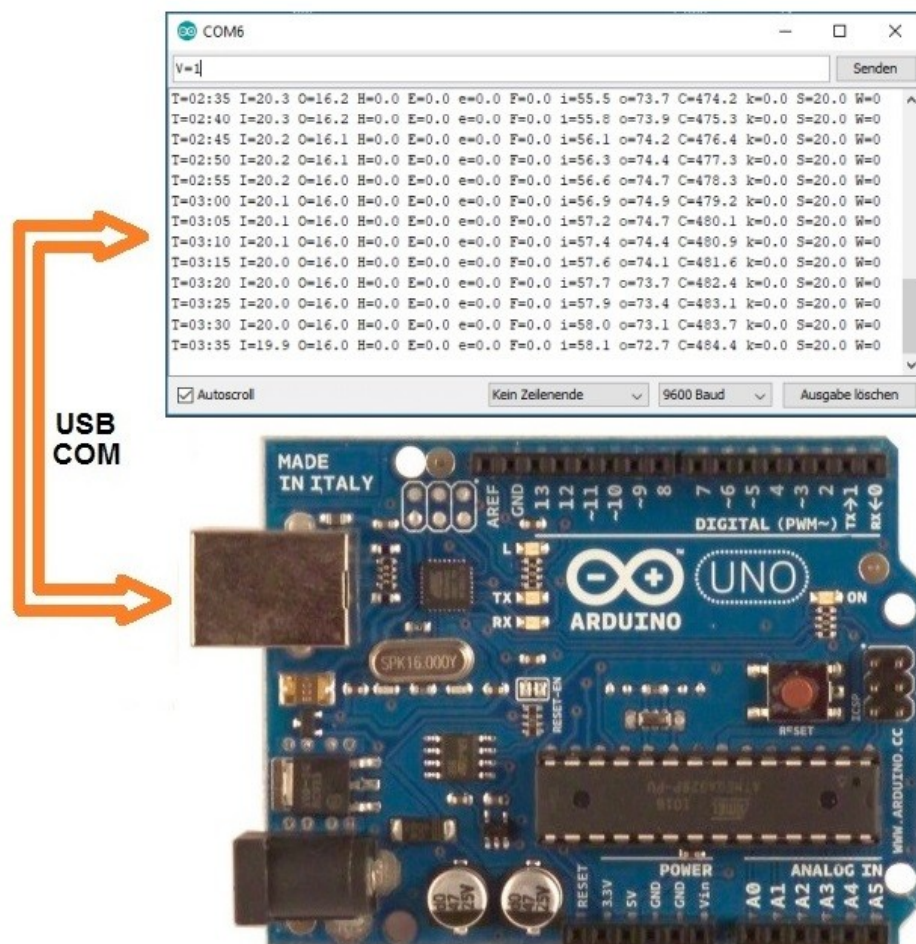
Die Lösung dieser Grundaufgabe soll passend erweitert werden. Hier können eigene Ideen verwirklicht werden. Eine Auswertung der Zeitverläufe wäre ein simples Beispiel. Auch könnte der Sollwert der Temperatur mit einem Taster oder Potentiometer eingestellt werden. Etwas aufwendiger wäre eine Anzeige über LEDs oder ein Display.

Das IT-Projekt kann auch durch Teile ergänzt werden, die nicht unmittelbar in die Programmierung einfließen. Eine Software-Dokumentation mittels Doxygen oder ein Versionskontrollsystem auf der Basis von SVN sind solche Ergänzungen.

Optional kann eine Bedienung von einem graphischen PC-Programm erstellt werden – Stichwort SCADA. Mit wxWidgets ist so etwas vergleichsweise einfach realisierbar.

Simulation des Hauses

Die vorbereitete Simulation des Hauses und der Klimaanlage ohne eigenständige Regelung befindet sich in einem Programm genannt House auf einem Arduino UNO Board. Über die USB-Kommunikationsschnittstelle des Boards wird eine serielle Kommunikation (COM-Schnittstelle) realisiert. Mit dieser Datenverbindung kann der aktuelle Zustand des Hauses und der Klimaanlage in einfacher Form angezeigt werden und es können über manuelle Steuerbefehle Eingriffe in die Klimaanlage und Veränderung einiger Eckdaten erfolgen.



In der Grundeinstellung des Monitors (s.o.) sollte automatisches Scrolling eingeschaltet sein, die Baudrate auf 9600 stehen und kein Zeilenende hinzugefügt werden.

Statt des integrierten seriellen Monitors der Arduino IDE kann auch jedes andere COM-Port Terminal verwendet werden. Einige derartige Terminals erlauben die empfangenen Daten in eine Log-Datei zu kopieren (z.B. <https://sourceforge.net/projects/realterm/>). Diese Log-Dateien können später für weitere Aufgaben wie etwa zur graphischen Darstellung verwendet, ausgewertet oder dokumentiert werden.

Beschreibung des Hauses

Im Programm House werden Haus, Heizung und Kühlung bis zu einer handhabbaren Detailtiefe simuliert. Dies ist nötig um einerseits die Aufgabenstellung nicht ausufern zu lassen und andererseits um Versuche in einem angemessenen Zeitrahmen zu ermöglichen. Die Simulation folgt weitgehend den thermodynamischen Gesetzen. Sie arbeitet aber in einem Zeitraffer-Modus. Hierbei entspricht 1 Sekunde der realen Zeit 5 Minuten der simulierten Zeit – also 300-faches Zeitraffer (1 Tag in 4.8 Minuten). So können Übergangsvorgänge noch mit guter Genauigkeit beobachtet werden und eine Simulation von 1 bis 2 Tagen ist noch in akzeptabler Zeit möglich.

Hier kann auch zwischen Winter- und Sommerzeit umgeschaltet werden.

Für Experimente mit dem Verhalten von Regelstrecke und Regelung können durch festhalten der Simulationszeit die Außen-Temperatur und die Außen-Luftfeuchtigkeit konstant gehalten werden. In dieser Betriebsart ändern sich die äußeren Umweltbedingungen nicht mehr. Dies vereinfacht den Entwurf von Regelungen, weil Änderungen der gemessenen Werte nurmehr von der Regelung selbst, aber nicht mehr von einem täglichen Temperaturgang abhängen.

In der Simulation ist die Heizung für das Haus knapp dimensioniert und das Haus ist nur mäßig isoliert.

Technologischen Größen

Folgende technologischen Größen werden von der Simulation bereitgestellt.

Größe	Bedeutung
Zeit	Simulationszeit in Minuten
Personen	Anzahl der Personen im Haus
ständige Erwärmung	in kW durch elektrische Geräte etc.
Heizleistung	in kW
Kühlleistung	In kW
Tastverhältnis der Heizung	prozentualer Anteil Einschaltdauer gegenüber der Einschaltperiode, 0% bis 100%
Frischluftaustausch	nicht regelbarer Austausch mit Außenluft wg Undichtigkeiten in vol%/min
Wärmetauscher Durchsatz	in vol%/min
Effizienz des Wärmetauschers	Wärmetransfer, 0% bis 100%
Einstellung der Kühlung	Kühlleistung, 0% bis 100%
Temperatur innen	einheitliche Temperatur im gesamten Haus in °C
Temperatur außen	Temperatur außerhalb Hauses in °C
Luftfeuchtigkeit innen	relative Feuchte in %
Luftfeuchtigkeit außen	relative Feuchte in %
CO ₂ -Anteil der Luft im Hause	in ppmv
Sollwert der Innentemperatur	Sollwert der Innentemperatur in °C

Diese Größen sind zum größeren Teil während des Betriebes einstellbar über die Prozesskommunikation.

Die zugrunde liegenden typischen Werte für eine Person im Ruhezustand oder bei sehr leichter Tätigkeit sind

Wärmeabgabe	120 W
CO ₂ -Abgabe	24 g/h
H ₂ O-Abgabe	20 g/h

Bei mittelschwerer Tätigkeit erhöhen sich diese Werte etwa auf

Wärmeabgabe	240 W
CO ₂ -Abgabe	50 g/h
H ₂ O-Abgabe	70 g/h

Diese Werte werden im “Party-Modus“ der Simulation verwendet.

Ein CO₂-Gehalt bis etwa 800 ppm gilt als gut, bis etwa 1000 ppm als mittel, bis 1400 als mäßige Qualität. Ab 5% (50000 ppm) entstehen Kopfschmerzen und Schwindel. Bei 8% (80000 ppm) tritt nach 30 bis 60 Minuten der Tod ein. Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid>.

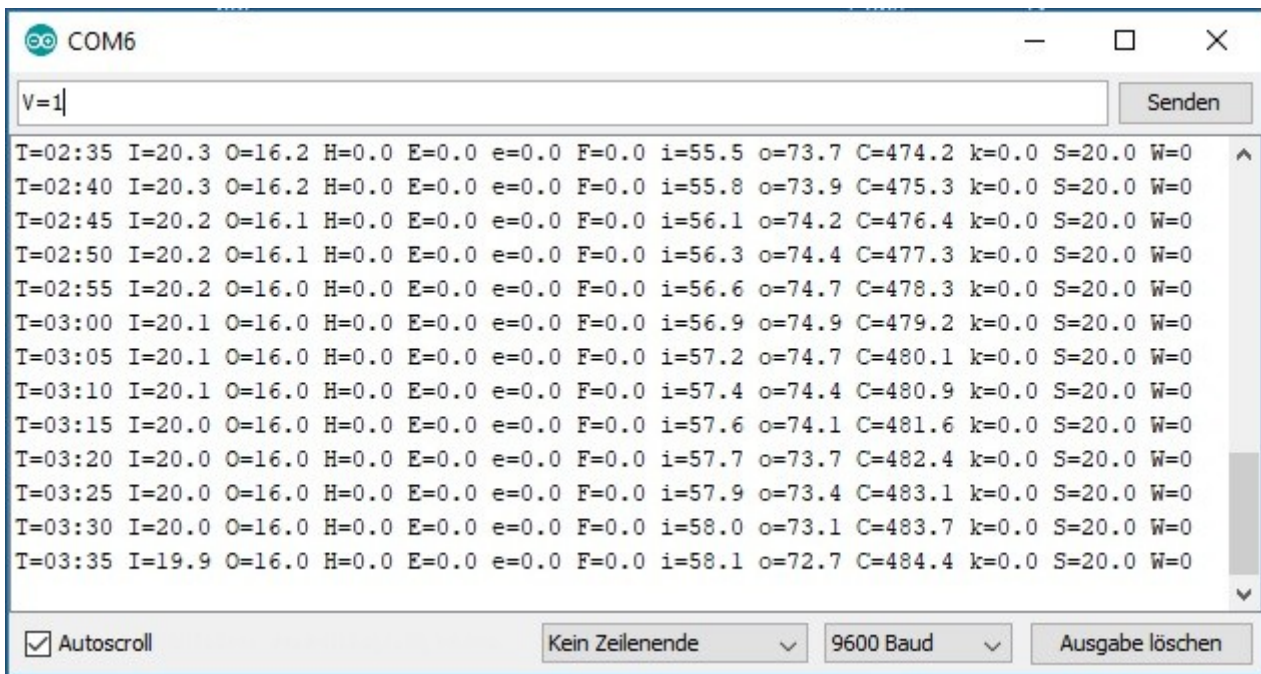
Der Wärmetauscher kann mit eingeschaltetem Wärmeaustausch ($e > 0$) oder ausgeschaltet zum reinen Frischluftaustausch ($e = 0$) betrieben werden. Ein reiner Frischluftaustausch ($E = 100$, $e = 0$) ist sinnvoll, wenn die Innentemperatur zu hoch und höher als die Außentemperatur ist. Man beachte, dass es nicht sinnvoll ist bei ausgeschaltetem Luftdurchsatz ($E = 0$) einen Wärmeübergang einzustellen ($e > 0$).

Die Kühlung arbeitet der Einfachheit halber als reine Umluftkühlung. Sie kann zwischen 0% und 100% eingestellt werden. Der erforderliche Leistungsverbrauch wird in der Verbrauchsenergie eingerechnet.

Der Sollwert für die Innentemperatur wird von der Simulation nicht verwendet. Er wird lediglich durch entsprechende Kommunikationskommandos gespeichert oder abgefragt und vereinfacht so eventuell die Programmierung einer grafischen Benutzeroberfläche.

Bedienung

Von der seriellen Kommunikation wird stetig oder als Antwort zu dem ?-Kommando eine durch Leerzeichen getrennte Folge von aktuellen Werten oder Zuständen gesendet. Die Kurzbezeichnungen bestehend aus einem Buchstaben und einem Gleichheitszeichen können mittels des Verbose Flags ein- oder ausgeschaltet werden.



In der Grundeinstellung ist das Verbose Flag nicht gesetzt. Es werden dann nur die reinen Zahlenwerte gesendet bzw. angezeigt. Die Simulationszeit wird dann in Stunden (dezimal) angezeigt. Dies vereinfacht die Verwendung der COM-Schnittstelle zur Datenspeicherung und Weiterverarbeitung für eine graphische Darstellung etwa mit Gnuplot.

Die Bedeutung der angezeigten Werte sind in dieser Reihenfolge

Name	Bedeutung
T	Uhrzeit
I	Innentemperatur
O	Außentemperatur
H	Tastverhältnis der Heizung
E	Wärmetauscher Durchsatz
e	Wärmetauscher Wärme-Transfer
i	Luftfeuchtigkeit innen

Name	Bedeutung
o	Luftfeuchtigkeit außen
C	CO ₂ -gehalt innen
k	Verbrauchsenergie
S	Solltemperatur innen
W	Warnungen

Die Bedienung erfolgt durch kurze Kommandos, die an die Kommunikation übergeben werden und welche zugleich die zugehörigen Werte zurückliefern.

Kommando	Bedeutung
H=n	Heizung 0..100% (ganzzahlig)
E=n	Wärmetauscher Durchsatz einstellen, 0%..100% (ganzzahlig)
e=n	Wärmetauscher Wärme-Transfer einstellen, 0%..100% (ganzzahlig)
F=x	Kühlleistung einstellen, 0%..100% (ganzzahlig)
P=n	Anzahl Personen, 0..50 (ganzzahlig :-)
p=x	Party-Modus
S=n	Sollwert der Innentemperatur, 5..35 (ganzzahlig)
w=x	Winter- oder Sommerbetrieb
f=x	Festgehaltene Außen-Temperatur und -Luftfeuchtigkeit
T?	Abfrage der Simulationszeit in Sekunden
I?	Abfrage der Innentemperatur
O?	Abfrage der Außentemperatur
H?	Abfrage der Heizungseinstellung
E?	Abfrage der Wärmetauscher Durchsatz
e?	Abfrage Wärmetauscher Wärme-Transfer
F?	Abfrage der Kühlleistung
i?	Luftfeuchtigkeit innen
o?	Luftfeuchtigkeit außen
C?	CO ₂ -Gehalt innen
k?	Abfrage Gesamtmenge der Verbrauchsenergie
S?	Abfrage Sollwert der Innentemperatur
w?	Abfrage Winter- oder Sommerbetrieb
W?	Warnungen oder Fehler abfragen
f?	Abfrage der festgehaltenen Einstellung
R	(Neu-)Initialisierung (Reset)
V=x	Verbose Flag ein/aus

IT-Projekt Hausklimatisierung

Bei den Einstell-Kommandos ist das zweite Zeichen ein Gleichheitszeichen ('='). Hierbei ist 'x' durch entweder 0 oder 1 zu ersetzen. Andere Einstellungen erlauben ganzzahlige Werte. Als Antwort erhält man den jeweiligen neuen Zustand. In der Regel wird also das Einstell-Kommando wieder zurückgegeben.

Beispiele	Kommando	Antwort	
	H=60	H=60	Heizung wird auf 60% Leistung eingestellt

Bei den Abfrage-Kommandos ist das zweite Zeichen ein Fragezeichen ('?'). Als Antwort erhält man den jeweiligen aktuellen Zustand.

Beispiel	Kommando	Antwort	
	H?	H=60	Heizung ist auf 60% Leistung eingestellt
	I?	I=22.3	Innen-Temperatur abfragen
	k?	k=730.0	Abfrage der aufgewendeten Heizleistung

Mit dem Kommando R wird die Anlage in einen definierten Anfangszustand versetzt. Dies ist beispielsweise nach Störungen nötig. Die Einstellungen für Winter-/Sommerzeit, die festgehaltenen Temperaturen und die Verbose-Einstellung bleiben jedoch unverändert.

Bei fehlerhafter Steuerung werden Warnungen in Form von Bits innerhalb einer Zahl erzeugt. Die einzelnen Bits haben folgende Bedeutungen.

Bit (hexadezimal)	Bedeutung
0	Keine Fehler
0x0001	Frost innerhalb des Hauses
0x0002	CO2 im Haus über 3000 ppm
0x0004	Raumtemperatur über 45°C

Siehe auch Hilfedatei House.chm.

Steuerung und Regelung der Heizung

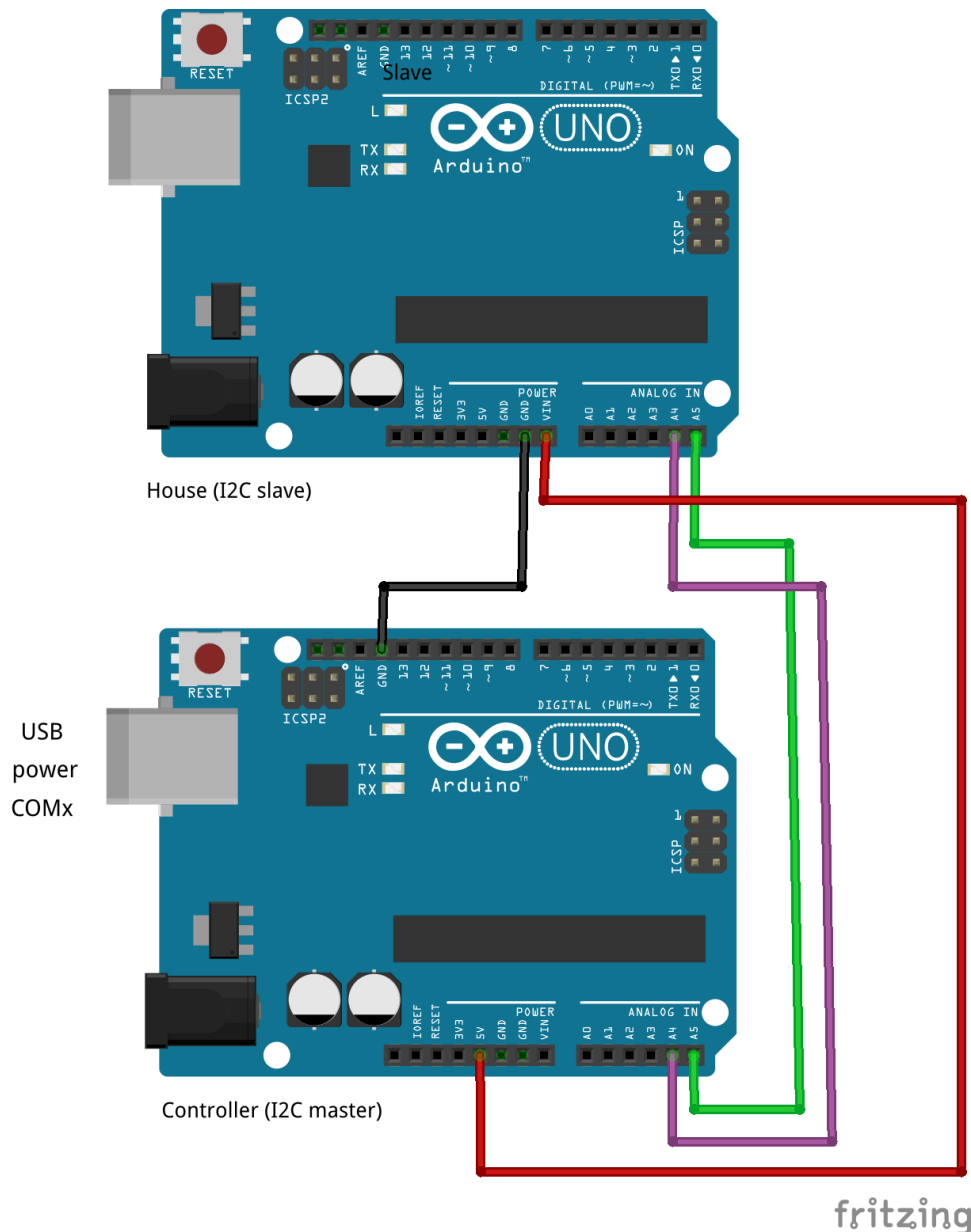
Für Steuerungs- und Regelungsaufgaben verwendet man typischerweise Programme in programmierbaren Steuerungen (SPS) oder Embedded Controllern.

Hier ist für die Steuerung der Klimaanlage als Starthilfe für den Entwurf ein Programm Controller für ein zweites Arduino UNO Board vorbereitet. Es besitzt bereits eine rudimentäre Bedienung über die USB/COM Schnittstelle mit (nahezu) den gleichen Kommandos wie die Simulation der Anlage.

Als eine kleine Hilfe ist bereits eine Abfrage und Anzeige der Zeit (als Sensor) und eine Umschaltung (Ein/Aus) der Heizung (als Aktuator) programmiert.

Verbindung von Steuerung und Simulation des Hauses

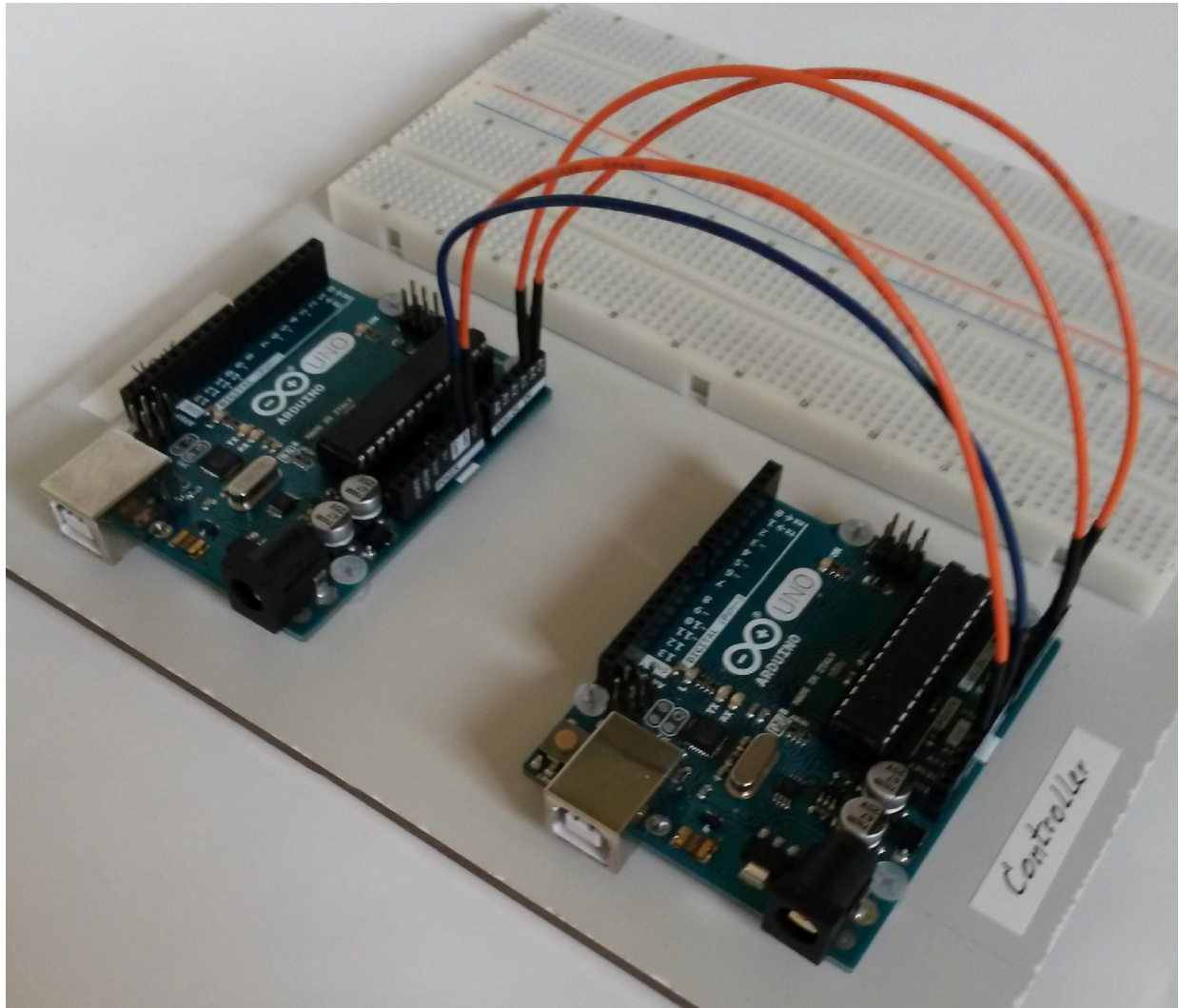
Als Verbindung zwischen Steuerung und der Simulation des Hauses bzw. der Klimaanlage ist eine Kommunikation über einen I²C-Bus (TWI-Bus) vorbereitet.



Zwei Verbindungen führen Masse und +5 Volt als Spannungsversorgung. So geschaltet, ist bereits eine Stromversorgung über ein USB-Kabel ausreichend. Es dürfen aber auch beide USB-Anschlüsse von zwei PCs aus genutzt werden. Dies ist hilfreich, wenn die Signale und Daten auf der Seite der Hauses aufgezeichnet oder visualisiert werden sollen.

Die Kommunikation benutzt die Master-Slave- bzw. Client-Server-Architektur des I²C-Bus. Das Haus bzw. dessen Simulation übernimmt dabei die Rolle eines Slave bzw. Servers. Ein Slave wartet

auf Anfragen und beantwortet diese. Er wird niemals selbst aktiv. Der Master bzw. Client ist der aktive Teil, also hier der Controller. Er entscheidet wann, wen und was angefragt wird. Ausgetauscht werden hier die gleichen kurzen Kommandos in Form von (lesbarem) Text wie an der USB/COM-Schnittstelle.



Der I²C-Bus zwischen den beiden Boards wird hier ohne die eigentlich erforderlichen Abschlußwiderstände und ohne eine aufwendige Störfehlerbehandlung betrieben. Es kann daher gelegentlich zu Abbrüchen der I²C-Verbindung kommen. Diese sind oft nur durch einen Reset der Arduinos zu beseitigen.

Die standardmäßig definierte LED auf dem Board am Anschluss D13 wird als blinkendes Arbeitskennzeichen verwendet.

Arbeitsweise der Steuerung und Regelung

Die Behandlung der Abtastzeit im Programm Controller wird durch ein sehr einfaches Abfragen der Systemzeit in Millisekunden und einigen Zählern realisiert. Dies entspricht sehr grob der Arbeitsweise von SPSen und ist für einfache Aufgaben in Embedded Controllern verbreitet. Die Teilaufgaben sind bereits verteilt auf Funktionen die jeweils alle 10 msec, 100 msec und 1s aufgerufen werden.

Die Verbindung von Steuerung und Prozess erfolgt durch eine Kommunikation ähnlich einer Verbindung über einen Feldbus oder ein Netzwerk.

Es ist sinnvoll Daten aus der Steuerung in einer Datei abzulegen. In realen Anlagen ist dies oftmals aus rechtlichen oder betriebswirtschaftlichen Gründen oder aus Gründen der Qualitätssicherung ohnehin erforderlich. Hier können solche Dateien zur Darstellung von Zeitverläufen etwa mit Gnuplot verwendet werden.

Aufheiz- oder Abkühlvorgänge haben eine erhebliche Dauer, die während der Programm-entwicklung sehr störend sind. Die Simulation und der Controller arbeiten deshalb mit einer Zeitrafferfunktion - 300-fache (5 Minute in 1 Sekunde).

Da die Einschaltdauer der Heizung bei geringer erforderlicher Heizleistung oftmals unter 1 Minute liegen kann, ist diese nicht realisierbar mit der Zeitrafferfunktion. Aus diesem Grund ist die Einschaltdauer der Heizung als duty factor schon in die Simulation aufgenommen worden. Eingestellt wird die Heizleistung in Prozent – z.B. H=70.

Der Wärmetauscher kann auch zum reinen Luftaustausch verwendet werden. Hierzu wird der Durchsatz des Wärmetauschers – also die Luftmenge – passend eingestellt (z.B. E=60) aber der Wärme-Transfer auf 0 gehalten (e=0).

Die Kühlung kann prozentual zwischen 0% und 100 % eingestellt werden (z.B. F=30). Die zur Kühlung erforderliche Energie wird in der Gesamtmenge mitgerechnet.

Das vorhandene Programm Controller ist lediglich ein Dummy. Es enthält keinerlei eigene Automatisierung. Es werden lediglich eingegebene Kommandos von der USB/COM Schnittstelle an eine angeschlossene Anlagensimulation weitergeleitet und die erhaltenen Antworten werden angezeigt. Auf diesem Weg ist eine experimentelle, manuelle Steuerung der Anlage möglich.

Die Programmierung der erforderlichen Steuerung und Regelung ist die Hauptaufgabe dieses IT-Projektes.

Siehe auch Helpfiles Controller.CHM und House.CHM.

Datenübertragung

Alle Daten von der Steuerung im Controller zur Heizung und Kühlung in der Simulation des Hauses und umgekehrt werden über Kommandos über den I²C-Bus abgewickelt. Für einige erste Daten ist in Controller.ino bereits eine Vorlage enthalten, z.B.

```
case 0:                                // request time
    strcpy(szCommand, "T?");          // build command
    ++nIndex;                          // goto next nIndex
    break;
```

Hier sind für alle erforderlichen Daten ergänzende Kommandos nötig. Die Antworten werden etwas weiter im Programm angenommen, z.B.

```
case 'T':                              // got a fresh dTime value
    s = szResponse+2;                  // response part after '='
    dTime = s.toFloat();                // convert to double
    break;
```

Ähnlich können andere Werte in passenden Variablen gespeichert werden und stehen dann für die eigentliche Steuerung und Regelung zur Verfügung.

Für die Übertragung von Stellwerten genügt es Kommandos mit den Werten aus passenden Variablen regelmäßig zu senden. Die Antworten können dann ignoriert werden oder die Ausgaben mit Serial.print im default-Zweig werden auskommentiert.

Tools

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung sind schon ein paar Hilfen außer dem Steuerprogramm vorbereitet.

Vgl. Beispiele in Verzeichnissen auf dem Server.

Windows Programm SCADA

Ein Programm zur Anzeige des aktuellen Zustands im Haus und zur Bedienung der Klimatisierung wäre ein nice to have. Eine denkbare Form einer solchen Visualisierung könnte z.B. mit wxWidgets programmiert werden.

Prinzipiell entspräche ein solches Programm einem HMI-Interface, auch SCADA (supervisory control and data acquisition) genannt. Es könnte über eine Vielzahl weiterer Funktionen verfügen – graphische Anzeige als y-t-Diagramm, Bedienung wie Einstellung der Solltemperatur und mehr. Der Aufwand ist aber erheblich.

Es wäre möglich das Programm so aufzubauen, dass es sowohl an die simulierte Anlage als auch an die Steuerung über den USB/COM Port angeschlossen werden kann.

Alternativ wäre auch eine Smartphone App (z.B. mit MIT App Inventor) oder eine Anzeige auf einem kleinen Display denkbar.

Dokumentation

Ein wesentlicher Teil des IT-Projektes ist eine Dokumentation. Diese sollte aus einer funktionalen Beschreibung von Haus, Heizung und Kühlung und der erstellten Software für die Steuerung und Regelung bestehen.

Die Form der Dokumentation ist freigestellt. Typisch und häufig verwendet wird hierzu Word. Es ist aber auch möglich (und sogar handlicher und leistungsfähiger) die Dokumentation unmittelbar in den Quellcode einzupflegen und die Dokumentation mit Doxygen zu erstellen. Die Dokumentation der GUI-Bibliothek wxWidgets (einige tausend Seiten) und auch der Software der Simulationen und der Controller des IT-Projekts sind mit Doxygen erstellt.

Doxygen

Doxygen ist eine weitverbreitete Software zur Dokumentation von Software innerhalb ihres Quellcodes. Gesteuert von speziellen Markierungen in den Quelldateien kann sie Dokumentationen in verschiedenen Formaten erstellen. Hier im IT-Projekt ist eine Dokumentation in Form von HTML-Seiten und kompiliertem HTML etwas vorbereitet. Die HTML-Seiten werden mit einem HTML-Compiler in CHM-Dateien umgesetzt und komprimiert.

Siehe auch den Quellcode des Controllers, Controller.CHM und Controller.doxy

Fritzing

Fritzing ist eine Entwurfs-Software für Arduino und andere derartige Boards. Sie kann beispielsweise zur Darstellung von Steckplatine und Schaltplan verwendet werden.

Eine Alternative aber deutlich komplexer ist KiCAD.

SVN

Software soll meist über den Tag hinaus bestehen bleiben und muss reproduzierbar sein. Da Software meist weiterentwickelt wird, sind zur Fehlersuche häufig auch die vorangegangenen Versionen wichtig. Als erstes Backup und zur Versionsverwaltung werden verschiedene Software eingesetzt.

Eine solche, weit verbreitete und moderne Versionsverwaltung ist SVN (Apache Subversion). Die Software des IT-Projektes soll auf einem SVN-Server hinterlegt werden.

Gnuplot

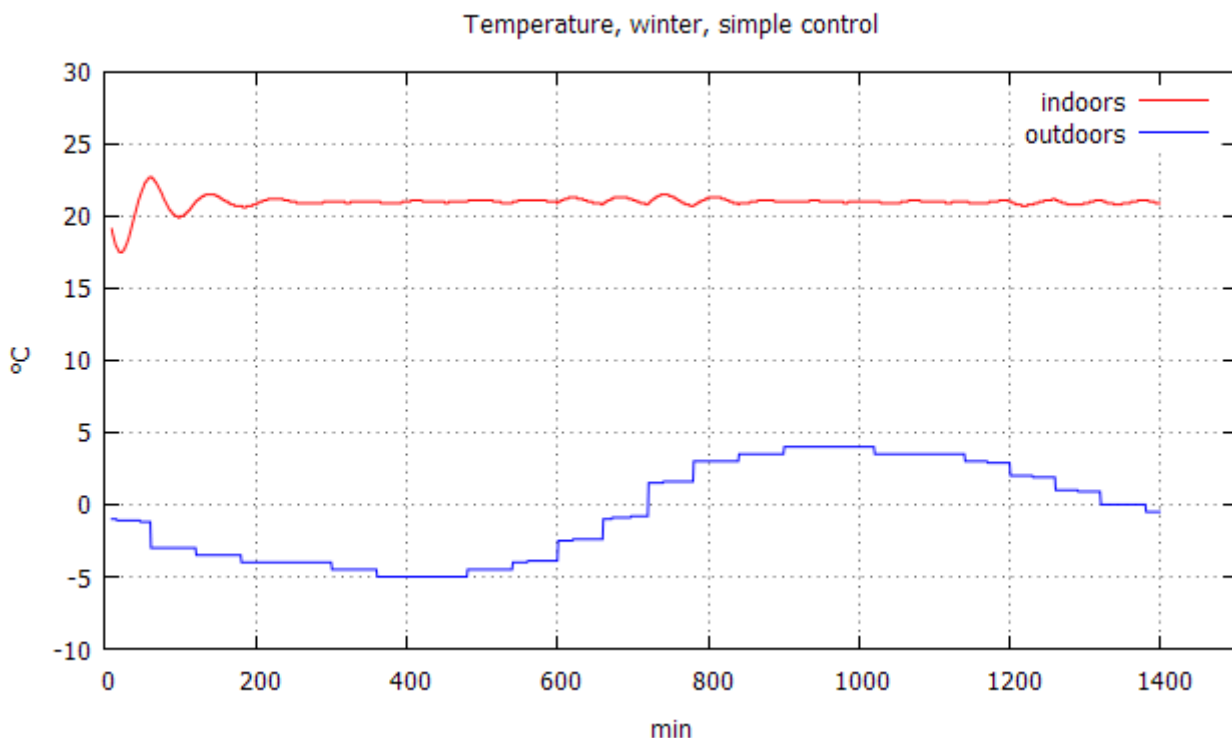
Gnuplot ist eine viel verwendete, freie Software zur Anzeige von datenbasierten Graphiken. Mit ihr kann u.a. das zeitliche Verhalten der Anlage in Form von y-t-Diagrammen dargestellt werden.

Im einfachsten Fall wird am USB/COM-Anschluß des Arduinos mit der Simulation des Hauses ein speicherndes Terminal angeschlossen und die Ausgaben bzw. Messdaten in eine Textdatei protokolliert.

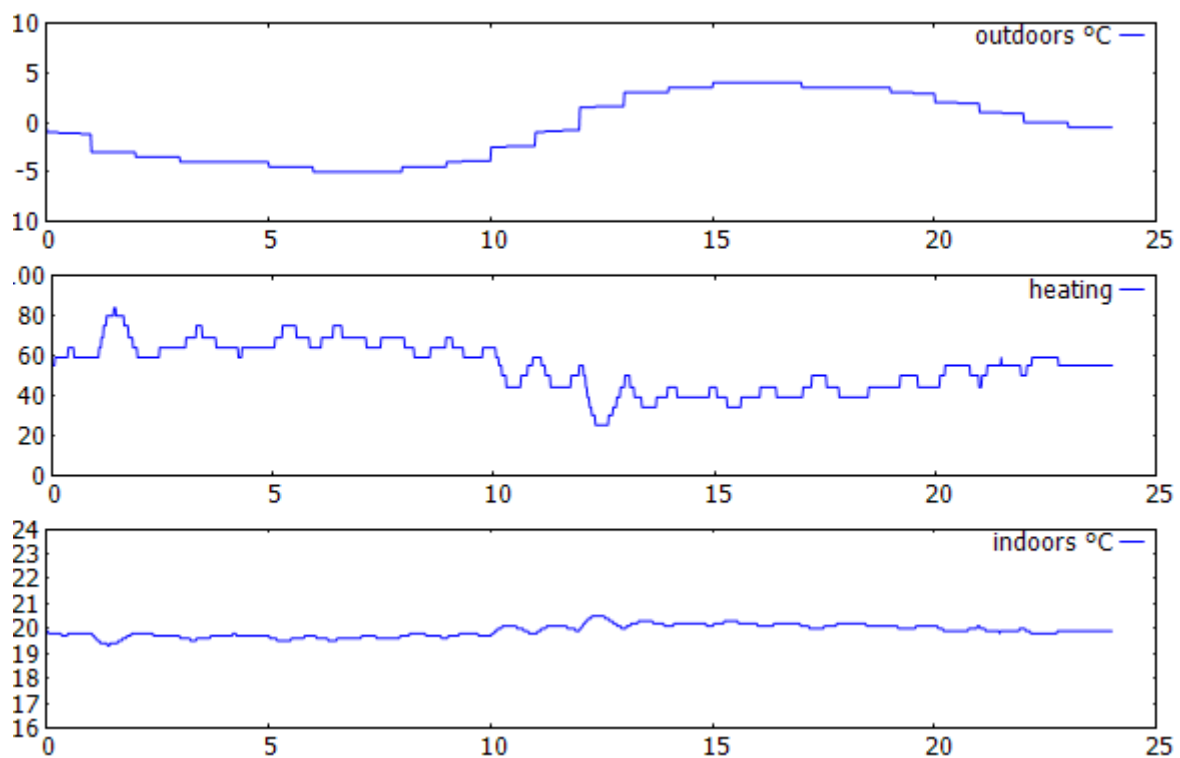
Erforderliche Eingaben im Gnuplot Kommando-Fenster wenn die Messdaten in der Datei C:\Heizung\h.dat vorliegen.

```
cd 'C:\Heizung'  
set title("Temperature");  
set xlabel("min");  
set ylabel("°C");  
set grid;  
plot "h.dat" using 1:2 with lines, "h.dat" using 1:3 with lines
```

Nachfolgende Darstellung zeigt den Verlauf von Innen- und Außentemperatur bei einer sehr einfachen Regelung. Nota: 1 Tag hat 1440 Minuten.



Gnuplot erlaubt auch die Verwendung mehrerer Ausgabefenster, mehrerer Graphen in einem Fenster oder auch die Zusammenfassung mehrerer Graphen in ein Plot.



Gnuplot verwendet hier die horizontale Achse in Stunden skaliert.

Die erforderlichen Kommandos können auch in Skripten hinterlegt werden. Dies vereinfacht die Analyse erheblich.

Auch eine kontinuierliche Darstellung während des Betriebes ist möglich – vgl Datei hc.plt.