

Beschreibung der Heizungsregelung

1. Grundsätzliches

Das Haus wird auf drei Stockwerken beheizt. Dazu sind alle Radiatoren mit Thermostatventilen ausgestattet, um individuelle Raumtemperaturen einstellen zu können. Die Heizung für das Untergeschoss (Einliegerwohnung) wird bei Bedarf komplett zu- bzw abgeschaltet. Die Heizung gliedert sich in 4 verschiedene Kreise: Radiatoren-Kreislauf (RAD), Fußbodenheizungs-Kreislauf (FBH), Warmwasser-Aufheizung über Heizkessel, Warmwasser-Aufheizung über Solarkollektoren. Die komplette Heizung für das Untergeschoss (UG) hängt am Radiatorenkreislauf. Da es auch im UG eine Fußbodenheizung gibt, wirkt die Steuerung dort sowohl auf RAD als auch auf FBH. Dazu kommt als fünfter "Kreis" eine separate — elektrische — Notheizung für den Wintergarten, die erst bei Temperaturen unter 7° C anspringt. Sollte diese Zusatzheizung ausfallen und werden 5° Temperatur im Wintergarten unterschritten, wird ein akustischer Alarm ausgelöst.

Zentraler WärmeverSORGER ist ein Heizkessel mit Ölbrenner. Da es nur einen primären Kreislauf gibt, der durch den Heizkessel führt, ist mit einer gewissen Verkopplung der drei daran angeschlossenen Unterkreise [Radiatoren (RAD), Fußbodenheizung (FBH), Untergeschoss (UG)] zu rechnen. Nur der Kreislauf zu den Solarkollektoren ist getrennt und zudem mit einem Wasser/Glykol-Gemisch gefüllt.

Die 3 Unterkreise am Heizkessel sind über Vor- und Rücklauf in Nähe des Kessels zusammengeführt. Dabei zweigt im Vorlauf der FBH-Kreislauf noch einmal vom RAD-Kreislauf über ein fest voreingestelltes Mischventil ab. Für eine ordnungsgemäße Funktion der Regelung darf das Mischventil deshalb nicht verstellt werden.

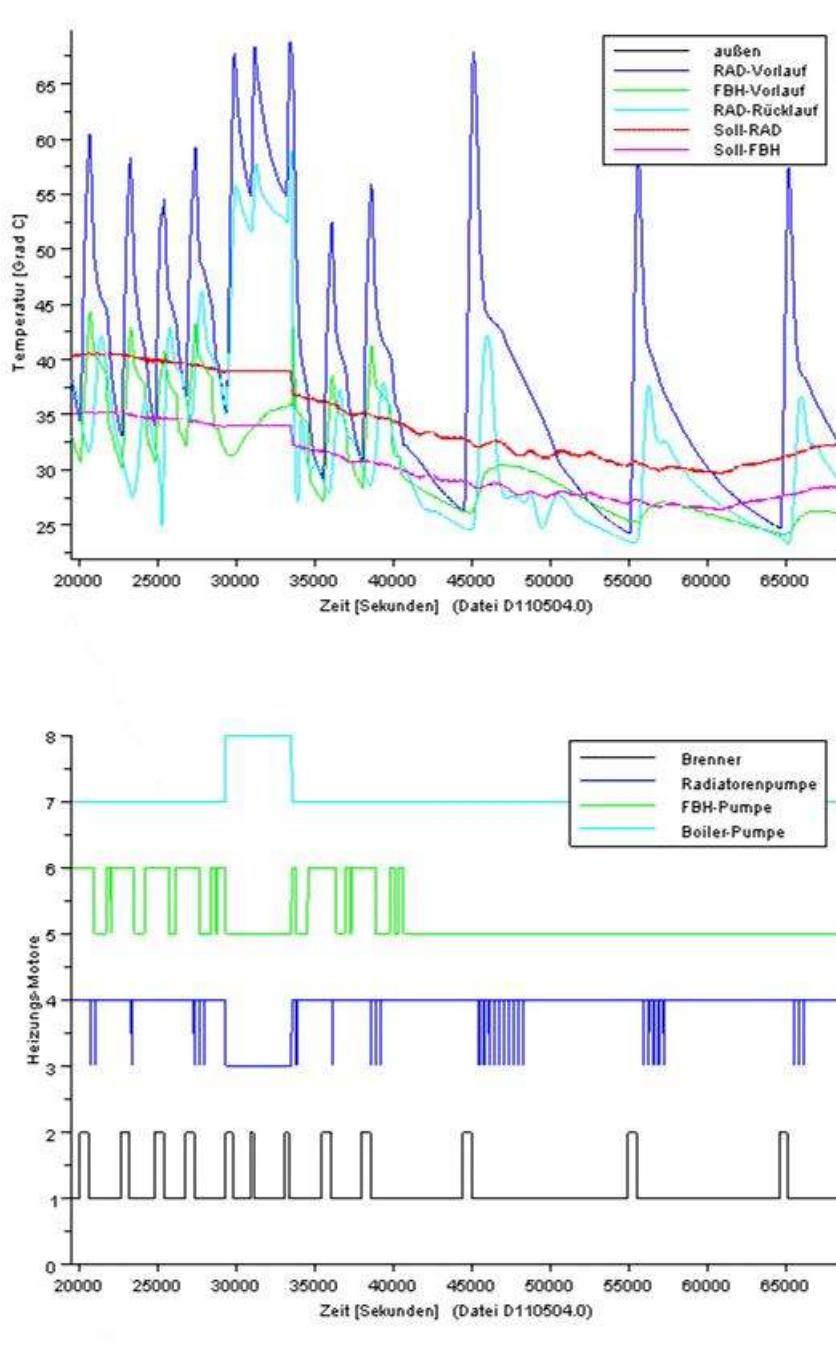
Die Begriffe "Regelung" und "Steuerung" werden hier synonym verwendet. Im Radiatoren-Kreislauf führt die Elektronik eigentlich eine Steuerung gemäß Außentemperatur durch; die Regelung nach der Raumtemperatur erfolgt über die Thermostatventile. Auch im FBH-Kreislauf wird in der Regel gesteuert; nur in Sonderfällen (hohe Fremdenergie-Einstrahlung) wird versucht, die Raumtemperatur zu berücksichtigen — und dann auch nur die Temperatur im Wohnzimmer des Erdgeschosses.

Generell besteht das Problem, dass über die Thermostatventile eine Regelung nur möglich ist, wenn nicht zuviel Fremdenergie eingestrahlt wird (viele Personen im Raum, Warmluft vom Wintergarten bei offener Tür, Kachelofen, usw.). Haupt-Einstrahler ist aber natürlich die Fußbodenheizung, die deshalb nicht ganz bis zur gewünschten Raumtemperatur aufheizen darf. Wird auf der anderen Seite ein Betrieb mit abgesenkter Raumtemperatur vorgegeben, so versuchen die Thermostatventile auch bei verminderter Vorlauftemperatur wieder auf die an ihnen eingestellte Temperatur hochzuheizen. Um das auszugleichen, müssten eigentlich auch die Thermostatventile in die Steuerung mit einbezogen werden. Darauf wurde verzichtet, weil der technische Aufwand die Anlage verkomplizieren und somit störanfälliger machen würde und dem auf der anderen Seite nur marginale Vorteile gegenüberstünden (Heizbetrieb mit abgesenkter Temperatur wird äußerst selten gewünscht).

Gesteuert wird nach den Temperaturen, die am Vorlauf für den RAD- und FBH-Kreislauf bzw. am Boiler für den Warmwasser-Kreislauf gemessen werden. Die Temperatursensoren sitzen in Tauchhülsen, die in das jeweilige Kreislauf-Rohr ragen. Während damit die Temperaturen für das Warmwasser sehr repräsentativ sind, stellen die Vorlauftemperaturen für RAD und FBH nur grobe Schätzwerte dar. Die mittlere Temperatur im Kreislauf müsste aus Vor- und Rücklauftemperatur berechnet werden, wäre aber auch dann noch ungenau, weil

z.B. allein durch Wärmeleitung am Vorlauf die Temperaturfühler beeinflusst werden. Denn laufen Brenner und Boilerpumpe, so wird auch am Fühler des RAD-Kreislaufs die Temperatur entsprechend ansteigen, auch wenn die RAD-Pumpe gar nicht läuft. Die Rücklauftemperatur hingegen steigt kaum an — ein Zeichen dafür, dass wenig Wasservolumen durch den RAD-Kreislauf mitgezogen wird. Außerdem sitzt der Rücklauf-Fühler unterhalb des Einlaufs vom FBH-Kreislauf und wird deshalb kaum von der Fußbodenheizung beeinflusst. Läuft die RAD-Pumpe, nicht aber die FBH-Pumpe, so ist im FBH-Kreislauf durch die Verkopplung ein deutlicher Temperaturanstieg zu verzeichnen.

Wegen dieser Ungenauigkeiten wird auf komplizierte Berechnungen verzichtet und stattdessen die Vorlauftemperatur so eingestellt, dass sie nicht unter die Soll-Temperatur fällt. Damit liegt sie am Vorlauf generell zu hoch. Wie die Praxis zeigt, ist die Regelung aber dennoch für die Temperatur an den Heizflächen gut angepasst.



Bei den Motoren bedeutet der jeweils untere Zahlenwert "AUS", der obere "EIN"

2. Die Betriebsarten

Für die Heizungsregelung gibt es verschiedene Betriebsarten. In der ersten ist die Heizung immer ausgeschaltet; es läuft weder der Brenner noch werden FBH- oder RAD-Pumpe (Fußboden- und Radiatorenkreislauf) eingeschaltet. Das ist dann der Fall, wenn die Heizung per Kommando an der Tastatur ausgeschaltet wurde oder wenn die Außentemperatur bei aktivierter Heizung oberhalb 19°C liegt.

In einer weiteren Betriebsart ist die Heizung immer eingeschaltet (z.B. zur Abgasmessung des Kessels). Wenn hierzu "Service-Betrieb" am Schalter auf dem Elektronikgehäuse angefordert wird, werden Brenner und RAD-Pumpe so lange eingeschaltet, bis die Anforderung zurückgenommen wird (eine Zwangsabschaltung findet nach 2 Stunden statt, falls bei der Service-Einstellung das Ausschalten vergessen wurde).

In der dritten (normalen) Betriebsart wird die Wassertemperatur im Heizkreislauf gemäß Außentemperatur geregelt, um die gewünschte Zimmertemperatur zu erreichen. Dabei gibt es 4 Betriebsmodi: Heizung im Normalbetrieb tagsüber; Heizung mit abgesenkter Temperatur, so dass sich eine verminderte Zimmertemperatur von ca 18° einstellt; Sparbetrieb mit stark abgesenkter Temperatur (sollte zu ca. 12° führen); Heizung mit erhöhter Temperatur für ca. 23° Zimmertemperatur; Radiatorenheizung normal, aber Fußbodenheizung mit ständig abgesenkter Temperatur.

Neben diesen Betriebsarten gibt es eine Betriebsart, die man in der Regel im Sommer wählt. Bei dieser ist zwar die Heizungsregelung abgeschaltet, das Warmwasser wird aber weiterhin bei Bedarf nachgeheizt.

Eine Betriebsart dient dazu, den Heizkreislauf im Untergeschoss gezielt zuzuschalten.

Ein weiterer Sonderfall ist der Notbetrieb bei Außentemperaturen unterhalb von 3°. Dieser wird nicht per Kommando vorgegeben, sondern von der Steuerung in einer Phase, in der die Heizungsregelung als ausgeschaltet vorgegeben wurde, bei Bedarf aktiviert. Im Notbetrieb erfolgt nur eine Regelung des Radiatoren-Kreislaufs mit stark abgesenkter Heizungskurve. Damit soll ein Einfrieren der wasserführenden Teile verhindert werden.

Während der Nachtstunden von 22:30 bis 3:30 wird die Heizung komplett abgeschaltet (Brenner und Pumpen AUS).

An jedem Monatsersten um Mitternacht werden alle Heizungspumpen kurz eingeschaltet, um auch bei stillgelegter Heizung ein Blockieren der Pumpen zu verhindern.

In den Betriebsarten mit erhöhter und abgesenkter Temperatur ist die Regelung sehr ungenau, weil die Thermostatventile an den Heizkörpern auf eine bestimmte Temperatur fest eingestellt sind und damit der Regelung durch die Heizungssteuerung entgegenarbeiten. Hier kommt es also auf eine optimale Steuerung der Fußbodenheizung an. Die FBH-Heizung weist aber in der Reaktion eine hohe Trägheit auf (Reaktionszeiten im Stundenbereich).

Die Betriebsmodi werden über manuelle Eingabe angewählt. Nach einem Neustart wird grundsätzlich zunächst der Modus "Heizung im abgesenkten Betrieb" eingestellt. Sobald eine gültige Uhrzeit vom DCF77-Zeitgeber erkannt wurde, wird stattdessen im Sommer (Mai bis Oktober) "Heizung AUS" vorgegeben, in den übrigen Monaten "Normalbetrieb". Eine Übernahme der zuletzt vorgegebenen Betriebsart, z.B. nach Stromausfall, über die Nutzung eines dauerhaften Speichers ist vorgesehen, aber noch nicht implementiert.

3. Der Kreislauf für die Radiatoren

Die Temperatur des Wassers im Radiatoren-Kreislauf wird so gesteuert, dass sie einer speziellen Heizkurve folgt. Diese Kurve gibt den Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Vorlauf-Solltemperatur im Heizkreislauf. Sie wird als linear angenommen und wird gesetzt zu

$$T_{\text{soll_RAD}} = T_{0_RAD} - 1.05 * T_{\text{außen}}$$

Der Steigungswert von 1.05 kann dabei manuell angepasst werden.

T_{0_RAD} gibt den Kurven-Nullpunkt an und hängt vom Betriebsmodus ab. Es gilt

im Normalbetrieb: $T_{0_RAD} = 45^\circ$

bei abgesenkter Temperatur: $T_{0_RAD} = 35^\circ$ ($45 - 10^\circ$)

bei Sparbetrieb: $T_{0_RAD} = 30^\circ$ ($45 - 15^\circ$)

bei erhöhter Temperatur: $T_{0_RAD} = 53^\circ$ ($45 + 8^\circ$) .

Es gibt noch einen weiteren Nullpunkt, der automatisch angewählt wird, wenn die Heizung ausgeschaltet ist, die Außentemperatur aber unter 3° fällt. Dann gilt

im Notbetrieb: $T_{0_RAD} = 25^\circ$ ($45 - 20^\circ$) .

Wenn das Wohnzimmer im Erdgeschoss ausgekühlt ist, wird im Tagbetrieb der Nullpunkt der Heizkurve zusätzlich so lange angehoben, bis das Zimmer warm genug ist (EXPRESS-Aufheizung). In dieser Zeit wird die RAD-Pumpe ständig aktiviert (während sie sonst immer wieder ausgeschaltet wird). Die zusätzliche Anhebung beträgt 7° ($T_{0_RAD} = 52^\circ$) und wird dann aufgeschaltet, wenn die Wohnzimmer-Temperatur unter 20.2° im Normalbetrieb liegt oder wenn $T_{EG} < 21.4^\circ$ im Betrieb für erhöhte Temperatur ist.

Die Solltemperatur wird alle 10 Sekunden entsprechend der Außentemperatur neu berechnet. Um die Solltemperatur im Vorlauf des Heizkreislaufs zu erreichen, werden Brenner und RAD-Pumpe durch gezieltes Ein- und Ausschalten gesteuert (Zweipunktsteuerung). Dazu werden die beiden Temperaturgrenzwerte

$$T_{V\min} = 0.9 * T_{\text{soll_RAD}} - T_{\text{Hyst_RAD}}$$

$$T_{V\max} = 1.1 * T_{\text{soll_RAD}} + T_{\text{Hyst_RAD}}$$

gebildet. $T_{\text{Hyst_RAD}}$ wird später erklärt.

Übersteigt die tatsächliche Vorlauftemperatur im Wasserstrom des RAD-Kreislaufs den Wert $T_{V\max}$, so wird der Brenner ausgeschaltet. Der Brenner wird erst dann wieder eingeschaltet, wenn $T_{V\min}$ unterschritten wird. Solange der Brenner läuft, wird immer auch die RAD-Pumpe eingeschaltet. Nach Ausschalten des Brenners läuft die Pumpe noch 4 Minuten (24 Zyklen à 10s) weiter, um Temperaturspitzen im Heizkessel zu vermeiden. Wird innerhalb einer bestimmten Zeitdauer der Brenner nicht wieder eingeschaltet, so wird die Pumpe erneut für 4 Minuten eingeschaltet, um eine Durchströmung der Heizkörper zu erreichen und damit eine aussagekräftige Wassertemperatur im RAD-Kreislauf zu erhalten. Während der Stillstandsphase zeigt der Temperaturfühler ja nur die Ruhetemperatur an. Das ist auch der Grund, warum beim Einschalten der RAD-Pumpe erst die Vorpumpzeit (= $1\frac{1}{2}$ Minuten) abgewartet wird. Während dieser Zeit wird die angezeigte Vorlauftemperatur, die ja noch nicht der Durchströmung entspricht, nicht für die Regelung verwendet; die Regelung wird dazu übersprungen.

Mit der festen Heizkurve ist keine feinfühlige Regelung möglich. Die Feinregelung erfolgt durch die Thermostatventile an den Heizkörpern. Weil die Regelung der Vorlauftemperatur grob sein kann, ist eine Mindestlaufzeit für den Brenner vorgesehen, die verhindern soll, dass sich Kondenswasser im Heizkessel bildet, wenn der Kessel wegen zu kurzer Brennerlaufzeit nicht warm wird. Die Mindestlaufzeit beträgt 4 Minuten ($CNT_BRENN = 24$ Zyklen).

CNT_BRENN wird bei jedem Zyklus, in dem der Brenner läuft, um 1 vermindert bis zum

Minimumwert von 0. Somit verbleibt unter Umständen ein Restwert beim Erreichen der oberen Vorlauftemperatur, der anschließend zur Bestimmung der Hysterese ausgewertet wird.

Dazu wird die Hysterese zwischen $T_{V\min}$ und $T_{V\max}$ entsprechend der letzten vorangegangenen Brennerlaufzeit verändert. War der Brenner vor Erreichen der maximalen Wassertemperatur noch nicht die Mindestlaufzeit gelaufen, so wird T_{Hyst_RAD} auf das 0.2-Fache der nicht ausgenutzten Restlaufzeit gesetzt (z.B. bei 20 Sekunden verbleibend von CNT_BRENN: $T_{Hyst_RAD} = 4^\circ$). Im Allgemeinen steht damit T_{Hyst_RAD} auf 0, außer wenn die geforderte Brennerlaufzeit zu kurz werden würde, weil nur wenig Wärme abgenommen wird. Der Hysteresewert wird auf maximal 6° begrenzt.

Die Pausenzeiten für die RAD-Pumpe werden durch die Größe CNT_RADAUS bestimmt. Auch diese Größe wird angepasst, und zwar entsprechend der Außentemperatur. Es wird gesetzt

$$CNT_RADAUS = 10 * (2.6 + 0.2 * (T_{vorl_RAD} - T_{soll_RAD}) + T_{außen} / 4);$$

CNT_RADAUS in Zyklen à 10 Sekunden, $T_{außen}$ in Grad C .

CNT_RADAUS kann dabei Werte zwischen 1 (Minimum bei -10°) und 124 annehmen (Maximum bei $+19^\circ$). Damit wird die Ausschaltzeit der Pumpe und somit auch des Brenners der tatsächlichen Wärmeabnahme durch die Heizkörper angepasst. Der Heizkessel braucht dann nicht mehr Wärme bereit zu stellen, als auch voraussichtlich abgenommen wird. Bei kommandierter Temperaturabsenkung wird CNT_RADAUS zusätzlich um 20 Zyklen (200 Sekunden) vergrößert.

Lief die RAD-Pumpe nur deshalb, um Wärmespitzen bei laufender FBH-Nachheizung abzupumpen, wird CNT_RADAUS anders gesetzt, nämlich zu

$$CNT_RADAUS = 40 + 4 * (T_{WohnEG} - 20.8^\circ);$$

Bei Version ohne Wohnzimmer-Fühler wird gesetzt: $CNT_RADAUS = 40$;
 CNT_RADAUS in Zyklen à 10 Sekunden, T_{WohnEG} in Grad C .

Um eine Überhitzung des Kesselwassers zu vermeiden, wird der Brenner bei Wassertemperaturen im Heizkreis-Vorlauf von über 69° immer aus und dann erst unterhalb 65° wieder eingeschaltet.

Bei 86° tritt zusätzlich eine Sicherheitsschaltung ein, die den Brenner in jedem Fall auszuschalten versucht und eine Störungsmeldung erzeugt.

Ferner wird überprüft, ob der Brenner tatsächlich Wärme erzeugt; er könnte zum Beispiel über den geöffneten Übertemperatur-Schutzschalter keinen Strom bekommen. Dazu wird der Anstieg der Wassertemperatur ab 15 Minuten nach dem Einschalten überprüft. Dieser lange Zeitraum wurde gewählt, da sich bei Boilernachheizung — bei der gleiche Mechanismus greift — die Temperatur des Kesselwassers zunächst erniedrigen kann. Über einen Zeitraum von 40 Minuten muss dann die Temperatur mindestens um 1.5° ansteigen. Wurde der Brenner schon vorher ausgeschaltet, findet diese Überprüfung nicht statt.

Werden Brenner oder Radiatorpumpe manuell eingeschaltet, wird im Hauptprogramm die Steuerung weitergeführt, das manuell angesteuerte Peripheriegerät aber in keinem Fall ausgeschaltet.

Die Ansteuerung der Radiatorenpumpe erfolgt nicht nur vorlauftemperaturgesteuert. Es gibt zusätzliche Sonderfälle, in denen die Pumpe unabhängig von der Vorlauftemperatur eingeschaltet wird. Das ist einmal der Fall am Ende eines Service-Betriebs, um die dort entstandene ungenutzte Wärme nach dem Brennerlauf zu nutzen und in den RAD-Kreislauf zu pumpen. Aus gleichem Grund wird nach einer Warmwasser-Nachheizung auch sofort die RAD-Pumpe eingeschaltet.

4. Der Kreislauf für die Fußbodenheizung

Das Warmwasser aus dem Radiatorkreislauf wird über einen Dreiwege-Mischer und eine weitere Pumpe auch in den Kreislauf der Fußbodenheizung geleitet. Die Temperatur des Wassers ist deshalb abhängig von der Regelung im RAD-Kreislauf. Dem wird eine zweite Regelung für den FBH-Kreislauf überlagert, die primär auf die Pumpe im FBH-Kreislauf wirkt, bei Bedarf aber auch den Brenner ansteuert.

Auch im FBH-Kreislauf wird eine Vorlauf-Solltemperatur über eine Heizkurve entsprechend der Außentemperatur berechnet. Für diese Heizkurve gilt

$$T_{\text{soll_FBH}} = T_{0_FBH} - 0.90 * T_{\text{außen}}$$

Der Steigungswert von 0.90 kann dabei manuell angepasst werden.

T_{0_FBH} gibt den Kurven-Nullpunkt an und hängt vom Betriebsmodus ab. Es gilt

| | | | |
|-----------------------------|--|--------------------|---|
| im Normalbetrieb: | $T_{0_FBH} = 43.5^\circ$ | * siehe dazu auch | * |
| bei abgesenkter Temperatur: | $T_{0_FBH} = 37.5^\circ$ ($43.5 - 6^\circ$) | * am Ende der | * |
| bei Sparbetrieb: | $T_{0_FBH} = 25.5^\circ$ ($43.5 - 18^\circ$) | * Beschreibung zur | * |
| bei erhöhter Temperatur: | $T_{0_FBH} = 49.5^\circ$ ($43.5 + 6^\circ$) . | * FBH-Regelung | * |

Die Solltemperatur für den FBH-Kreislauf wird alle 10 Sekunden neu berechnet. Um diese Temperatur im Kreislauf tatsächlich annähernd zu erreichen, wird die FBH-Pumpe ein- und ausgeschaltet. Die Einschaltzeit ist fest und beträgt 24 Zyklen (4 Minuten; festgelegt in FBH_LAUF, das nicht kleiner sein soll als BEMIN, die Mindestlaufzeit für den Brenner); bei einem Brennerlauf verdoppelt bzw. verdreifacht sich diese Zeit, weil in der ersten Periode die Temperatur bestimmt wird; in der zweiten läuft der Brenner; in der dritten läuft die Pumpe nach Brenner-Abschaltung nach, falls der Brenner nicht für einen anderen Kreislauf arbeiten muss. Die Einschaltzeit wird gesteuert über den Zähler CNT_FBHEIN. Genau in dieser Zeitspanne wird auch der Mittelwert der im Kreislauf gemessenen Vorlauftemperatur gebildet. Dieser Mittelwert wird mit dem Sollwert $T_{\text{soll_FBH}}$ verglichen. Ist der gemessene Wert größer als der Sollwert, so wird die Pumpe ausgeschaltet. Die Ausschaltzeit (CNT_FBHAUS), angegeben in Zyklen à 10 Sekunden, wird nun entsprechend der Differenz von Mittelwert – Sollwert in zehntel Grad (1 Grad Differenz entspricht einer Ausschaltzeit von 10 Zyklen) gesetzt. Es gilt:

$$\text{CNT_FBHAUS} = 1.2 * (T_{\text{Vorl_FBH}} - T_{\text{soll_FBH}});$$

Bei einer Außentemperatur $> 12^\circ$ wird statt 1.2 der Faktor 1.5 verwendet;

CNT_FBHAUS in Zyklen à 10 Sekunden .

Je höher die gemessene Temperatur gegenüber der geforderten war, desto länger bleibt also die Pumpe ausgeschaltet. Die Ausschaltzeit wird auf den Maximalwert von 240 Zyklen (40 Minuten) begrenzt.

Nach Ablauf dieser Zeit wird die Pumpe erneut für 24 Zyklen eingeschaltet. Ist nun die mittlere gemessene Temperatur kleiner oder gleich dem Sollwert, so bleibt die Pumpe auch für die nächsten 24 Zyklen eingeschaltet. Zusätzlich wird der Brenner zur Aufheizung eingeschaltet (falls er nicht schon für die RAD-Heizung läuft). Der Brenner darf dann nicht von der RAD-Heizung ausgeschaltet werden. Deshalb wird in BRENNAKTIV markiert, welcher Heizkreis eine Anforderung zum Brennerlauf gestellt hat. Länge des Brennerlaufs und Prüfung auf Temperaturanstieg erfolgen wie bei der RAD-Heizung.

Dadurch, dass der Brenner immer über eine fest eingestellte Zeit laufen muss, ist auch sichergestellt, dass der Heizkessel nicht im Kondensationsbereich betrieben wird.

Als weitere Maßnahme, um den Brenner vor Überhitzung zu schützen, wird nach einer Mindestlaufzeit des Brenners, wenn dieser für den FBH-Kreislauf aktiviert worden war, zusätzlich die RAD-Pumpe eingeschaltet, so dass Überschusswärme in den Radiatoren-Kreislauf geht.

Nach Brennerabschaltung läuft dann die RAD-Pumpe noch eine Zeitlang zwangsläufig nach.

Im Normalfall liegt die Solltemperatur und damit auch die Isttemperatur im FBH-Kreislauf immer unter der im RAD-Kreislauf. Das kann aber während der Nachtabsenkung anders sein. Wegen der Trägheit in der Fußbodenheizung beginnt die Nachtabsenkung dort nämlich schon um 19:00 gegenüber 21:20 beim Radiatorenkreislauf. Dafür endet sie bei FBH schon um 4:00, während sie für RAD erst um 5:00 aufhört. In dieser Morgenstunde können somit zeitweise die Solltemperaturen im FBH-Kreislauf höher liegen als im RAD-Kreislauf.

Die Fußbodenheizung wird nicht nur nach der Außentemperatur sondern auch nach der Temperatur im Wohnzimmer des Erdgeschosses geregelt (im Gegensatz zur RAD-Steuerung). Diese Regelung geschieht über eine Änderung des Heizkurven-Nullpunkts T_{0_FBH} . Tagsüber in der Zeit zwischen 9:15 und 17:00, wenn die Fußbodenheizung im eingeschwungenen Zustand arbeitet, wird über 60 Zyklen (10 Minuten) die mittlere Zimmertemperatur T_Z berechnet. Liegt sie höher als 22.8°C, so wird T_{0_FBH} um 0.2° erniedrigt. Wir die untere Schwelle von 21.8° erreicht, wird der Nullpunkt der Heizkurve wieder auf den Wert für Normalheizung (43.5°) gesetzt.

Nach 60 Zyklen wird die nächste Anpassung vorgenommen. Die Heizkurve wird also so lange verschoben, bis die Solltemperatur im Wohnzimmer innerhalb dieser Grenzen erreicht ist. Über Nacht bleibt der letzte Nullpunkt erhalten; auf diesen wird der Wert für die Nachtabsenkung (-6°) angewendet. Die Nachtabsenkung wird am nächsten Morgen (4:00) aufgehoben; dann gilt wieder T_{0_FBH} vom Vorabend. Ab 9:15 wird dann T_{0_FBH} wieder bei Bedarf angepasst. Bei kommandierter Temperaturerhöhung oder Sparbetrieb wird der Änderungsbetrag immer zum letzten T_{0_FBH} berechnet.

Diese Art der Regelung funktioniert natürlich nur dann, wenn die Thermostatventile an den Radiatoren im Wohnzimmer auf eine Temperatur unter 22.8° eingestellt sind, weil die Fußbodenheizung sonst bis zum Anschlag die Vorlauftemperatur herunterfahren würde.

Die Anpassung der Heizkurve soll im Wesentlichen eine zusätzliche Erwärmung durch den Kachelofen auffangen. Das kann aber nur in begrenztem Umfang gelingen und wirkt sich zudem auch auf die Fußbodenheizungen in den anderen Räumen des Erdgeschosses aus. Falls die automatische Anpassung zu ungünstigen Temperaturwerten führt, kann sie auch deaktiviert werden. Dazu ist der fest vorzugebende Temperatur-Nullpunkt in Grad manuell einzugeben. Dieser Wert gilt so lange, bis eine andere Betriebsart gewählt wird oder bis die Automatik wieder eingeschaltet wird. Die Automatik nimmt ab dann den zuletzt manuell eingegebenen Wert als Anfangswert.

Werden Brenner oder FBH-Pumpe manuell eingeschaltet, wird die Regelung weitergeführt; das manuell angesteuerte Peripheriegerät kann aber nicht von der Regelung ausgeschaltet werden (Abfrage im Hauptprogramm).

5. Die Kreisläufe für die Brauchwassererwärmung

Das Brauchwasser im Boiler wird primär über den Solarkreislauf aufgeheizt. Der Wärmetauscher dazu befindet sich im unteren Teil des Boilers. Ein zweiter Wärmetauscher oben im Boiler überträgt Wärme, die vom Ölfeuer erzeugt wird, wenn die solare Erwärmung nicht ausreichend ist, um eine Mindesttemperatur in der Boiler-Obersektion zu erreichen. Im Unterprogramm SOLAR_WW sind beide Funktionen zusammengefasst.

Solarkreislauf

Im Solarkreislauf werden sowohl die Solarpumpe als auch der Bypass angesteuert, welcher einen Kurzschluss neben dem solaren Wärmetauscher am Boiler öffnet (Bypass geöffnet = Kurzschluss). Mit dem Bypass lässt sich somit Kreislauf-Wasser durch die Kollektoren pum-

pen, ohne dass es wesentlich durch das (eventuell wärmere) Brauchwasser im Boiler erwärmt wird. Damit wird verhindert, dass bei jedem Pumpen dem Boilerwasser Wärme entzogen wird. Die Länge des Probepumpens wird durch den Zähler CNT_SOL bestimmt.

Das Bypass-Ventil wird thermisch angesteuert und benötigt deshalb einige Zeit, bis es nach der Ansteuerung vollständig geöffnet ist.

Brennerkreislauf

Falls es der Solarkreislauf nicht schafft, das Brauchwasser im oberen Teil des Boilers genügend aufzuwärmen, erfolgt eine Nachheizung vom Heizkessel über eine eigene Pumpe und daran angeschlossenen Wärmetauscher im oberen Teil des Boilers.

Bei der Nachheizung über den Brenner sind zwei Betriebsarten zu unterscheiden. Im automatischen Modus wird immer dann nachgeheizt, wenn das Wasser im Boiler zu kalt wurde. Die Temperaturschwelle für die Nachheizung im Automatikbetrieb ist fest eingestellt auf 45°C, kann aber auch per Hand auf einen anderen Wert gesetzt werden. Nachts wird nicht nachgeheizt.

Im zweiten Modus kann über manuelle Anforderung eine Nachheizung erzwungen werden. Bei dieser "Schnellaufheizung" wird sichergestellt, dass der Warmwasservorrat mindestens für ein Bad mit 80 l Verbrauch reicht. Da diese Anforderung per Knopfdruck sowohl im Erd- wie auch im Untergeschoss angefordert werden kann, werden bei einmaliger Anforderung mindestens 80 l bereitgestellt, bei zweimaliger Anforderung aber 150 l.

Im Fall, dass "Sparheizung" vorgegeben ist (Heizkreislauf mit stark reduzierter Temperatur) wird das Wasser im Boiler generell nicht automatisch nachgeheizt, da angenommen wird, dass das Haus nicht bewohnt ist. Soll in dieser Phase trotzdem warmes Brauchwasser über die Solaranlage hinaus erzeugt werden, so ist "Schnellaufheizung" zu kommandieren.

Ist beim Aufheizen das Wasser im Heizungskreislauf noch kalt, so läuft zunächst der Brenner ohne Boilerpumpe, um keine Wärme aus dem Boiler zu ziehen. Erst wenn der Vorlauf ausreichend warm ist, wird das Wasser durch den Wärmetauscher gepumpt. Damit ist zudem sichergestellt, dass der Heizkessel nicht im Kaltbetrieb arbeitet; eine Mindestlaufzeit für den Boiler muss deshalb — anders als bei der Radiatorenheizung — nicht gefordert werden.

6. Prioritäten und Vorrang

Die Steuerung des Kreislaufs für die solare Nachheizung per Ölheizkessel erfolgt unabhängig vom Heizkreislauf. Da der Heizkreislauf aus den drei Kreisen für Radiatoren, Fußbodenheizung und Warmwasser-Nachheizung besteht, sind bei dessen Steuerung Prioritäten zu beachten. Höchste Priorität hat dabei der Service-Betrieb für Messungen und Einstellungen an der Heizungsanlage. Ist er angewählt, werden nur der Brenner und die Radiatorenpumpe angesteuert; alle anderen Heizungspumpen werden unabhängig vom Regelungszustand ausgeschaltet. Werden per Kommando einzelne Peripheriegeräte manuell eingeschaltet, so überschreibt dies den aktuellen Zustand der Regelung. Es wird also die manuelle Einstellung überlagert. Hat die Steuerung dabei Peripheriegeräte eingeschaltet, für die es kein Hand-Kommando gibt, so bleiben sie trotzdem eingeschaltet. Diese Regel gilt nicht für den Brenner, der bei SERVICE oder HAND nur manuell, nicht aber über die Elektronik angesteuert wird. In diesem Fall wird auch weder der Temperaturanstieg noch die Maximaltemperatur im Vorlauf geprüft (Unterprogramm BRENNER_EIN).

Zwischen Radiatoren- und Fußbodenheizung gibt es eine kleine unterschiedliche Behandlung: Wenn morgens die Raumtemperatur zu niedrig liegt, wird in der Betriebsart EXPRESS die Radiatorenheizung mit erhöhter Vorlauftemperatur gefahren; die RAD-Pumpe läuft dann

ohne Unterbrechung. Sobald die gewünschte Raumtemperatur erreicht ist, wird EXPRESS und damit der Vorrang für die Radiatorenheizung beendet.

Ein weiterer Vorrang besteht zwischen der Warmwasser-Erwärmung und der Raumheizung. Ist eine Aufheizung des Warmwassers erforderlich, so geht dies der Raumheizung vor. Solange die Boilerpumpe arbeitet, wird zwar die Steuerung der Raumheizung weiter geführt, die Radiatoren- und FBH-Pumpe werden aber abgeschaltet. Nach Ende der Warmwassererwärmung werden die Zähler für RAD und FBH zurückgesetzt. Damit wird zwar die kontinuierliche Steuerung gestört. Bei nicht zu häufiger Nachheizung des Warmwassers sollte die Steuerung aber schnell wieder einschwingen.

Um nach Ende eines Vorrangs oder einer Priorität die Steuerung vom aktuellen Anlagenzustand wieder aufzusetzen, wird auch während der manuellen Prioritäten die automatische Steuerung weitergeführt, es werden also Temperaturen gemessen und Heizkurven angepasst. Die Peripheriegeräte werden aber entsprechend der Priorität angesteuert.

Bei Übertemperatur im Vorlauf des Heiz- und Boilerkreises wird der Brenner zwangsweise abgeschaltet; aber auch dann läuft die Steuerung weiter.

Bei einer Brenner- oder Heizkesselstörung wird die Steuerung ebenfalls weitergeführt. Es wird dann nur die Radiatorenpumpe eingeschaltet um den weiteren Verlauf beobachten zu können. Alle 8 Stunden werden die Störanzeigen zwangsweise gelöscht, um auf fehlerhafte Störanzeigen prüfen zu können.

7. Die solare Erwärmung des warmen Brauchwassers

Die Sole (Wasser mit Frostschutzmittel) im Solar-Kreislauf wird über eine zugeordnete Pumpe durch den unteren Wärmetauscher im Boiler geleitet. Außerdem kann der Wärmetauscher durch einen Bypass weitgehend umgangen werden. Das thermisch angesteuerte Bypass-Ventil gibt dazu eine Kurzschlussleitung am Wärmetauscher vorbei frei.

Dieser Kreislauf ist von den Wasserkreisläufen der Ölheizung vollständig entkoppelt. Es gibt einzige eine thermische Kopplung im Boiler.

Wenn das Wasser im Kollektor warm genug ist, wird sofort gepumpt. Ist das nicht der Fall, aber trotzdem Überschusswärme im Kollektorfeld vorhanden, wird zunächst der Bypass geöffnet. Ist der Bypass offen (was wegen der thermischen Trägheit relativ lange dauert), wird die Pumpe eingeschaltet, damit sich das Wasser im Solarkreislauf erwärmen kann, ohne schon Wärme an den Boiler abzugeben. Ist es warm genug, so wird weiter gepumpt; der Bypass wird dabei geschlossen gehalten.

Solange $T_{SOL_Koll} - T_{WT_unten} < 7.0^\circ$ ist, wird weder Solarpumpe noch Bypass aktiviert; erst aber dieser Differenz wird das weitere Vorgehen geprüft.

Gilt dann $T_{SOL_Koll} - T_{Boil_unten} > 1.0^\circ$, so wird sofort die Pumpe eingeschaltet, ohne den Bypass zu öffnen. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass genügend Solarwärme zur Verfügung steht, um beim Pumpen ein Auskühlen des Boilers zu verhindern.

Andernfalls wird geprüft, ob

$T_{SOL_Koll} - T_{WT_oben} > 1.3^\circ$. Trifft dies zu, wird zunächst nur der Bypass für eine definierte Zeit bei gleichzeitig eingeschalteter Pumpe geöffnet. Ist nach der Öffnungszeit die Temperatur abgesunken, so wird die Pumpe ausgeschaltet. Sonst wird der Bypass geschlossen und die Pumpe kann weiterlaufen.

Es wird solange gepumpt, wie die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$T_{SOL_Koll} - T_{Boil_unten} > 2.0^\circ \quad \text{und}$$
$$T_{WT_oben} - T_{WT_unten} > 3.4^\circ .$$

| | |
|-------------------------------------|---|
| T_{SOL_Koll} : | Temperatur am Rohr unmittelbar hinter dem Kollektorfeld |
| T_{WT_unten} : | Temperatur unten am solaren Wärmetauscher im Boiler |
| T_{WT_oben} : | Temperatur oben am solaren Wärmetauscher im Boiler |
| T_{Boil_unten} : | Temperatur im Boiler unterhalb des solaren Wärmetauschers |
| $T_{Boil_Mitte}, T_{Boil_oben}$: | Temperaturen im Boiler oberhalb des Wärmetauschers |

8. Nachheizung des Brauchwassers über den Heizkessel

Im oberen Bereich des Speichers ist ein zweiter Wärmetauscher montiert, durch den warmes Wasser aus dem Heizkreislauf gepumpt werden kann. Damit ist eine Nachheizung des Brauchwassers in der Obersektion des Boilers möglich, falls die Temperatur dort zu sehr abgesunken ist. Eine solche Nachheizung wird nur dann nicht durchgeführt, wenn die Heizungsregelung auf Sparbetrieb geschaltet (Temperatur stark abgesenkt) oder komplett deaktiviert ist. Gleiches gilt für Service-Betrieb (Brenner und Radiatorpumpe ständig eingeschaltet). Nachts wird — falls nicht manuell anders vorgegeben — nicht nachgeheizt.

Für die Nachheizung gibt es 2 Betriebsarten, nämlich den Automatikbetrieb und die kommandierte Nachheizung. Im Automatikbetrieb wird dann nachgeheizt, wenn tagsüber die Brauchwassertemperatur im Boiler ganz oben unter 47° gesunken ist. Bei der Nachheizung werden Brenner und Boilerpumpe eingeschaltet. Die Nachheizung wird beendet, wenn das Wasser ganz oben im Boiler 53° erreicht (entspricht einer Hysterese von 6°) oder wenn es im mittleren Bereich des Boilers bereits über der Solltemperatur liegt. Danach wird der Brenner ausgeschaltet; die Pumpe läuft aber noch 3 Minuten weiter, so dass sich das Wasser weiter leicht aufheizt. Weil für den Brenner generell eine Mindestlaufzeit von 4 Minuten vorgegeben ist, kann die Temperatur sogar noch etwas höher ansteigen.

Auf der anderen Seite gilt auch hier wie bei der Radiatorenheizung eine obere Temperaturbegrenzung für das Wasser des Heizkessels auf 69°.

Weil im Automatikbetrieb die Wassertemperatur bis 47° absinken und dann nicht mehr genügend warmes Wasser für ein Vollbad zur Verfügung stehen kann, ist zu beliebigem Zeitpunkt eine Nachheizung auch per Kommando möglich. Kommandos zur Nachheizung können unabhängig voneinander sowohl vom Erdgeschoss als auch vom Untergeschoss gegeben werden. Das Steuerprogramm unterscheidet deshalb zwischen "1 * Nachheizung" und "2 * Nachheizung". Wurde einfache Nachheizung gewünscht, so wird die Solltemperatur um 2° erhöht (also 49° statt 47°); bei zweifacher Nachheizung beträgt die Erhöhung 6° (also 53° statt 47°).

9. Die zyklische Steuerung

Das Programm arbeitet mit verschiedenen Zyklen, die in unterschiedlichen Programmteilen erzeugt werden. Der kürzeste Zyklus wird über den Timer X erzeugt und im Unterprogramm IRQTIMX abgefragt, das Interrupt-gesteuert arbeitet. Der Zyklus beträgt 0.8 ms. In diesem Takt werden die Zeichen aus dem Anzeigepuffer an das Display bis zum Erkennen eines Endzeichens ausgegeben. Der Takt stellt einen Kompromiss dar zwischen der Rechnerlast durch die Häufigkeit der Aufrufe und der vom Displaytreiber benötigten Verarbeitungszeit für einen Befehl. Der Treiber arbeitet Befehle in der Regel innerhalb von 20 µs (beim Anzeige-Modul M50530) bzw 120 µs (beim HD44780) ab. Der Befehl CLEAR benötigt allerdings mehr Zeit zur Ausführung (beim HD44780 auch der Befehl HOME), so dass bei der

gewählten Taktrate nach diesen speziellen Befehlen zusätzliche NOPs (Befehl 0) einzufügen sind.

Die nächste Periode wird in einem weiteren Timer erzeugt und beträgt 10 ms. Sie wird in IRQTIMY bearbeitet. In diesem Abstand werden die Bits vom Signal des DCF77 auf ihre Länge geprüft.

Der dritte Timer mit einer Periode von 20 ms steuert IRQTIMZ an. In dieser Interrupt-Routine laufen die zyklischen Abfragen des Tastaturzustandes und der Temperaturen.

In IRQTIMZ wird ein Unterzyklus von 400 ms erzeugt, der benutzt wird, um bestimmte Schalterzustände abzufragen oder z.B. eine Leuchtdiode blinkend anzusteuern.

Der Hauptzyklus für die Anlagensteuerung beträgt 10 Sekunden und wird direkt aus dem Zeitsignal abgeleitet (also nicht von irgend einem Interrupt). Er wird im Hauptprogramm (MAIN) berücksichtigt, das z.B. auch die Heizungssteuerung anstößt.

Daneben gibt es viele weitere Zeitperioden im Programm, die aber nicht zyklisch durch den Oszillator des Controllers vorgegeben sind, sondern von bestimmten, meist unregelmäßigen, Ereignissen angestoßen werden. Ihnen allen ist gemeinsam, dass sie ein Vielfaches von 10 Sekunden betragen, weil sie aus MAIN heraus erzeugt werden. So gibt es z.B. einen Zyklus über 8 Stunden (ebenfalls in MAIN, über die Größe H8CNT), der dazu verwendet wird, eine Heizungsstörung rückzusetzen für den Fall, dass die Störung zwischenzeitlich entfallen ist oder es sich um eine Fehlmeldung gehandelt hatte.

10. Parameterübergabe zwischen den Programmteilen

Die Parameter-Übergabe zwischen den verschiedenen Unterprogrammen erfolgt nur in wenigen Fällen über den Funktionsaufruf. Das geschieht in der Regel dann, wenn der Parameter von zwei bis 3 Routinen benötigt wird und nur von lokaler Bedeutung ist. Ansonsten werden Parameter zentral definiert. Als statischen Größen wird ihnen ein fester Speicherplatz zugeordnet. Bei häufig verwendeten Variablen wird diesen sogar ein Platz in der Zero-Page zugewiesen (SBDATA).

Damit ist die Modularität der Unterprogramme nicht mehr gewährleistet, die Parameterübergabe ist aber wesentlich übersichtlicher (Zugriff immer auf den zentralen Speicherplatz; kein Durchschleifen von Parametern über mehrere Unterprogramme) und zeitlich effektiver. Zudem kann der Speicherplatz gezielt definiert werden.

Die Variablen, auf die schreibend und lesend zugegriffen wird, sind alphabetisch angeordnet. Alle Texte, die für die Anzeige benötigt werden, sind keine Variable sondern Konstante, die über einen "far pointer" angesprochen werden. Damit belegen diese keinen RAM-Speicher sondern stehen im ROM. Die Zuweisung erfolgt bereits bei der Kompilierung und belastet nicht mehr die Programm-Ausführung.

Gleiches gilt für Bitmuster und ähnliche Größen, die nicht verändert werden.

Einige Unterprogramme sind als Inline-Funktionen definiert. Damit werden sie direkt in den Programmcode eingebaut und es erfolgt keinerlei Parameter-Übergabe oder ein Funktionsaufruf. Da dazu alle Variablen der Inline-Funktion beim Compilieren bekannt sein müssen, werden die statischen Variablen — auch wenn sie nur lokal sind — im zentralen Variablenblock definiert.