

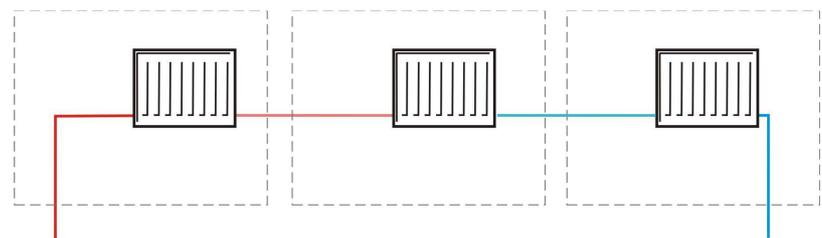
Projektvorstellung

Einrohrheizung energieeffizient gesteuert

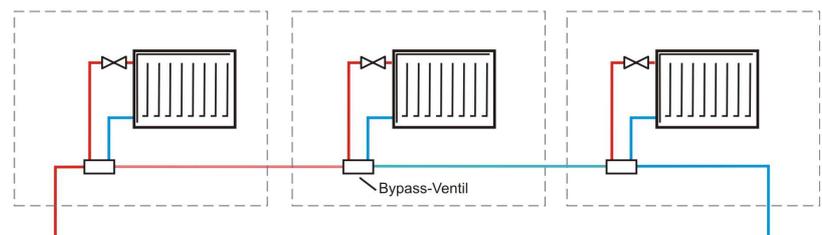
Unser Einfamilienhaus ist im Untergeschoss mit dem Wunder der Einrohrheizung gesegnet. In den 60ern, 70ern, als Energiekosten keine Rolle spielten, war das mal eine beliebte Installationsform. Vorteil damals: Man brauchte weniger vom teuren Kupferrohr. Nachteile heute: Unter anderem ein hoher Energieverbrauch und hohe Verluste.

Mit Funk-Heizkörperthermostaten und einem einfachen Programm lassen sich die Verluste reduzieren.

Wie funktioniert die Einrohrheizung genau? Alle Heizkörper einer Etage werden einfach hintereinander geschaltet und bilden eine Ringleitung. Eine individuelle Regelung der Temperatur ist natürlich so nicht möglich. Um diesen Nachteil zu umgehen, hat man später Ringleitungen mit Abzweig für jeden Heizkörper installiert. Jeder Heizkörper hat dabei sein eigenes Thermostatventil. Wenn es öffnet, entnimmt der Heizkörper Heizwasser aus der Ringleitung und speist seinen Rücklauf dahinter wieder in den Ring ein.

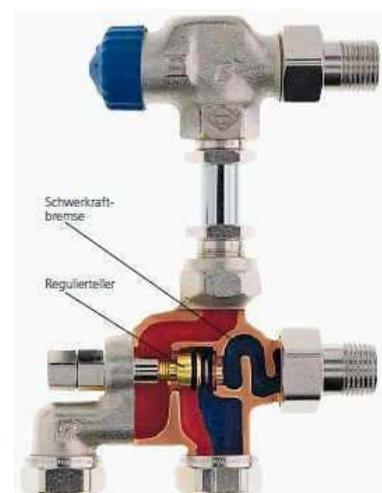


Klassische Einrohr-Heizung



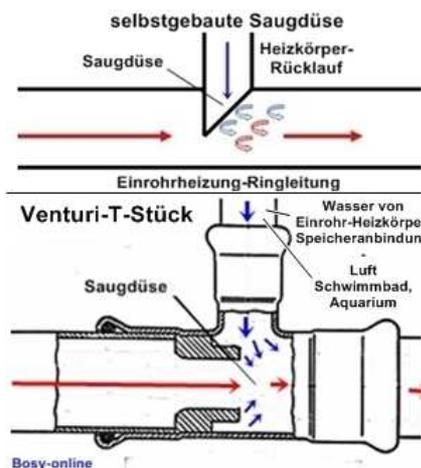
Einrohr-Heizung mit Bypass-Ventilen

Für die Entnahme gibt es prinzipiell mehrere Varianten: Ein spezielles Heizkörperventil (Bypass-Ventil) leitet einen (einstellbaren) Teil des in der Ringleitung zirkulierenden Heizwasser in den Heizkörper und den Rest daran vorbei zum nächsten Heizkörper im Ring. Mit einem Thermostatventil lässt sich die Raumheizung dabei stufenlos regulieren. Nachträglich sanierte Einrohranlagen haben oft im Vorlauf ein zusätzliches Einregulier- und Regelventil, das dazu dient, den maximalen Durchfluss unabhängig von der Öffnung der einzelnen Heizkörperventile zu begrenzen und so eine Art hydraulischen Abgleich zu ermöglichen. Diese Ventile, die auf den gesamten Strang wirken, können oft auch mit einem Stellantrieb kombiniert werden.



modernes Bypass-Ventil

Quelle: IMI Hydronic Engineering
Deutschland GmbH - TA Heimeier GmbH



Prinzip Venturi-Saugdüse
 Quelle: www.bosy-online.de/Venturi-T-Stueck.htm

Eine weitere Installationsvariante verwendet eine Venturi-Saugdüse am Rücklauf des Heizkörpers. Physikalisch gesehen ist das einfach eine kurzzeitige Verengung des Ringleitungs-Querschnitts. Diese erzwingt eine Beschleunigung der Strömung und erzeugt damit einen Unterdruck an der Engstelle. Hier ist nun das Rücklaufrohr des Heizkörpers angeschlossen und die Venturi-Düse saugt Wasser durch den Heizkörper – falls eingangsseitig das Thermostatventil geöffnet ist.

Das gleiche Funktionsprinzip verwenden übrigens auch Wasserstrahlpumpen und Vergaser von Benzinmotoren.

Unsere Heizungsanlage verwendet im Untergeschoss die Venturi-Variante. Für die Wohnräume im Erdgeschoss wurden glücklicherweise Zweirohrkreise verwendet.

Das Einrohr-System hat nämlich verschiedene Nachteile:

- Durch die Reihenschaltung der Heizkörper kühlt das Wasser von Raum zu Raum ab. Für die gleiche Heizleistung sind immer größere Heizkörper nötig.
- Aus dem gleichen Grund muss mit einer verhältnismäßig hohen Vorlauftemperatur in den Kreis gegangen werden.
- Die Regelung eines Heizkörpers verändert die Situation in allen Räumen am Kreis, weil es die (verbleibende) Vorlauftemperatur und ggf. die Strömungsgeschwindigkeit verändert.
- Die Heizungspumpe muss permanent einen hohen Volumenstrom durch den Ring fördern, was einen hohen Stromverbrauch verursacht.
- In der Ringleitung zirkuliert immer Heizwasser, unabhängig, ob Wärme benötigt wird oder nicht.

Besonders der letzte Punkt ist Ursache für Probleme in einer modernen Heizungsanlage und für Verluste:

Problematisch ist die Situation, wenn alle (oder die meisten) Heizkörper keine Wärme abnehmen. Dann ist die Rücklauftemperatur, die aus der Ringleitung in die Heizungsanlage zurückkommt, etwa gleich der Vorlauftemperatur (minus Verluste). Das heißt, der Rücklauf ist sehr warm und damit kommen moderne Heizungsanlagen nicht klar. Brennwert-Systeme funktionieren deshalb mit Einrohrsystemen normalerweise nicht. Bei Heizungsanlagen mit Schichtspeicher pumpt der Ring in dieser Situation quasi heißes Wasser vom oberen Speicherbereich in den unteren, was kontraproduktiv für die Schichtung ist.

Auch in Bezug auf Verluste sieht die Situation ungünstig aus. Das Wasser wird nicht nur (zu einem mehr oder weniger großen Teil) nutzlos im Kreis herumgepumpt, es entstehen dabei auch Verluste. In unserem Haus verlaufen die Heizrohre größtenteils ohne Isolation in den Wänden. Verbunden mit den hohen Vorlauftemperaturen an kalten Tagen geht dabei viel Wärme verloren. Entweder werden durch die warmen Rohre Räume geheizt, die gerade gar keine weitere Wärme benötigen oder – noch schlimmer – die Wärme geht in die Umwelt verloren, z.B. an Kellerwänden.

Um das einmal etwas zu quantifizieren, habe ich an einem Tag mit Außentemperaturen um den Gefrierpunkt Vor- und Rücklauftemperatur der Ringleitung bei geschlossenen Heizkörperventilen gemessen. Die Differenz (Spreizung) betrug mehr als 15°C, was ich schon recht dramatisch finde (wohlgemerkt bei keinem Wärmebedarf in diesem Stockwerk!).

Ohne große bauliche Maßnahmen bekommt man die Nachteile der Einrohrheizung nicht alle in den Griff. Mit ein bisschen Steuerungstechnik auf HomeMatic-Basis lässt sich zumindest im Bereich der Verluste Optimierung betreiben.

Schritt 1: HomeMatic-Heizkörperthermostate und Zonenventil

Ausgangssituation: Schon aus Komfortgründen sind an allen Heizkörpern HomeMatic Funk-Heizkörperthermostate HM-CC-RT-DN installiert.

Eine Ausnahme: Aus praktischen Gründen ist in einem Raum ist stattdessen ein Funk-Wandthermostat HM-TC-IT-WM-W-EU vorhanden, der einen thermischen Stellantrieb am Heizkörper im Zweipunkt-Betrieb ansteuert. Praktisch realisiert ist dies durch eine Direktverknüpfung des Thermostats mit einem Funk-Schaltaktor im Zweipunkt-Modus des Thermostats.

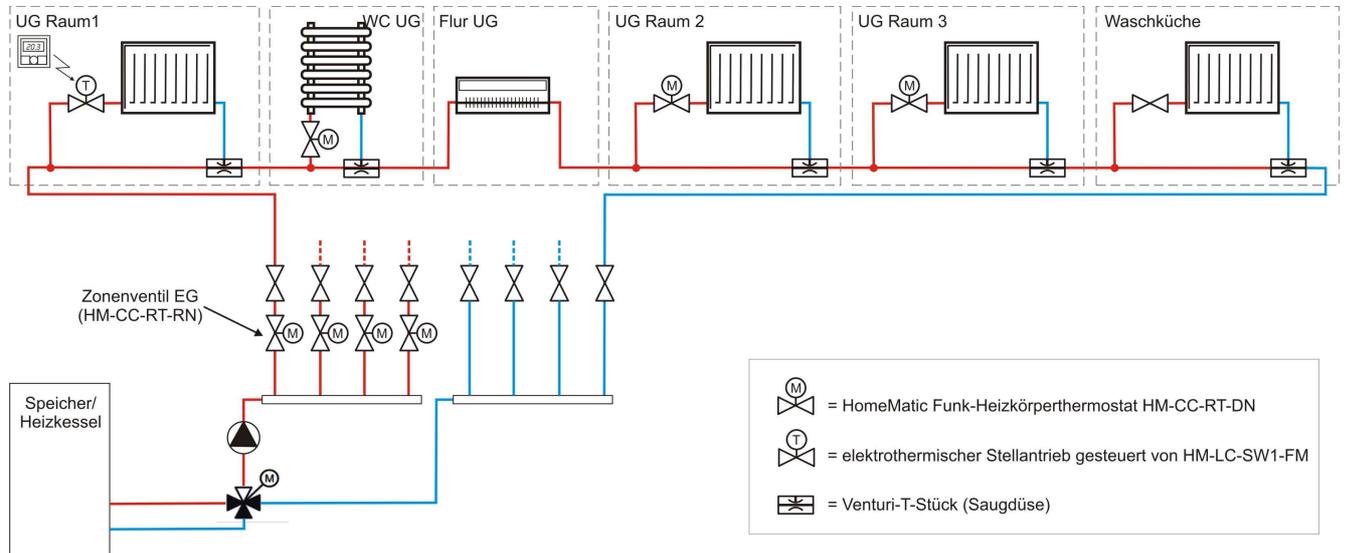
Eine wichtige bauseitige Voraussetzung für die Optimierung ist das Vorhandensein eines Zonenventils für die Einrohrleitung. Das ist nichts anderes als ein Thermostatventil (-unterteil), das sich im Heizraum befindet und den gesamten Strang regulieren kann.

In unserer Heizungsanlage war dieses Zonenventil „historisch“ vorhanden, weil in der ursprünglichen Ausführung mit diesem Ventil und einem elektrischen Thermostat in einem „privilegierten“ Raum der Einrohr-Kreis wenigstens ein bisschen gesteuert werden konnte.

Ein solches Zonenventil kann ggf. mit überschaubarem Aufwand nachgerüstet werden.

Um dieses Zonenventil durch die Homematic steuerbar zu machen, wurde auch hier ein Funk-Heizkörperthermostat HM-CC-RT-DN aufgesetzt.

Das folgende Bild zeigt den Aufbau unserer Einrohr-Heizung für das Untergeschoss:



Raum 1 wird durch einen Wandthermostaten im Zweipunkt-Betrieb gesteuert, die übrigen Räume durch Funk-Heizkörperthermostate. (Im Flur ist ein Heizkörper vorhanden, der nicht genutzt und deshalb nicht in das System einbezogen wird.)

Der erste Optimierungsschritt basiert auf folgender Überlegung: Wenn kein Raum Wärme benötigt, kann das Zonenventil geschlossen werden.

Dadurch fließt kein Heizwasser unnötig durch die Ringleitung, was folgende Verbesserungen bewirkt:

- Die Wärmeverluste in der Ringleitung werden reduziert.
- Der Rücklauf führt kein heißes Wasser in die Heizungsanlage zurück.
- Bei Verwendung einer elektronisch geregelten Heizungspumpe reduziert sich der Stromverbrauch der Pumpe.

Durch ein einfaches Programm in der CCU lässt sich die Ventilstellung der Heizkörper-Thermostate abfragen und das Zonenventil entsprechend steuern:

Name	Beschreibung	Bedingung (Wenn...)	Aktivität (Dann..., Sonst...)	Aktion
Steuerung Zonenventil EG		Kanalzustand: Stellantrieb EG:4 bei Dimmwert im Wertebereich größer als 1.00 % bei Änderung auslösen	Kanalauswahl: Stellantrieb EG:4 sofort Manu-Modus auf 30.50 °C	<input type="checkbox"/> systemintern
Bedingung: Wenn... Geräteauswahl Stellantrieb Raum1 :1 bei Dimmwert im Wertebereich größer als 1.00 % bei Änderung auslösen ODER Geräteauswahl Stellantrieb Raum2 :2 bei Ventilposition im Wertebereich größer als 5 % bei Änderung auslösen ODER Geräteauswahl Stellantrieb WC:4 bei Ventilposition im Wertebereich größer als 5 % bei Änderung auslösen ODER Geräteauswahl Stellantrieb Raum3 :4 bei Ventilposition im Wertebereich größer als 5 % bei Änderung auslösen ODER				
Aktivität: Dann... <input checked="" type="checkbox"/> Vor dem Ausführen alle laufenden Verzögerungen für diese Aktivitäten beenden (z.B. Retriggern). Geräteauswahl Stellantrieb EG:4 sofort Manu-Modus auf 30.50 °C				
Aktivität: Sonst... <input checked="" type="checkbox"/> Vor dem Ausführen alle laufenden Verzögerungen für diese Aktivitäten beenden (z.B. Retriggern). Geräteauswahl Stellantrieb EG:4 sofort Manu-Modus auf 4.50 °C				

Die Bedingung dieses Programms ist sehr einfach: Wenn irgendeins der Heizkörperventile nennenswert öffnet (Ventilstellung >5%) dann wird das Zonenventil voll geöffnet, sonst geschlossen. Da man beim HM-CC-RT-DN die Ventilstellung nicht direkt steuern kann, wird stattdessen der Sollwert auf das Maximum bzw. Minimum gesetzt.

Anstelle des HM-CC-RT-DN könnte natürlich auch ein elektrothermischer Stellantrieb und ein Homematic – Funkschalter verwendet werden. Der batteriebetriebene Funk-Heizkörperthermostat war für mich am einfachsten zu installieren und es war keine Verkabelung und Stromversorgung notwendig.

Durch Verwendung eines Thermostatkopfs, bei dem die Ventilposition frei eingestellt werden kann, ließe sich der Aufbau theoretisch weiter optimieren. Man könnte prüfen, wie weit die Ventile der Heizkörperthermostate geöffnet haben und z.B. das Zonenventil auf den Wert einstellen, den das am weitesten geöffnete Heizkörperventil hat.

Der Vorteil dabei wäre die Reduzierung des Volumenstroms in der Ringleitung.

Allerdings würden sich hier neue Probleme ergeben:

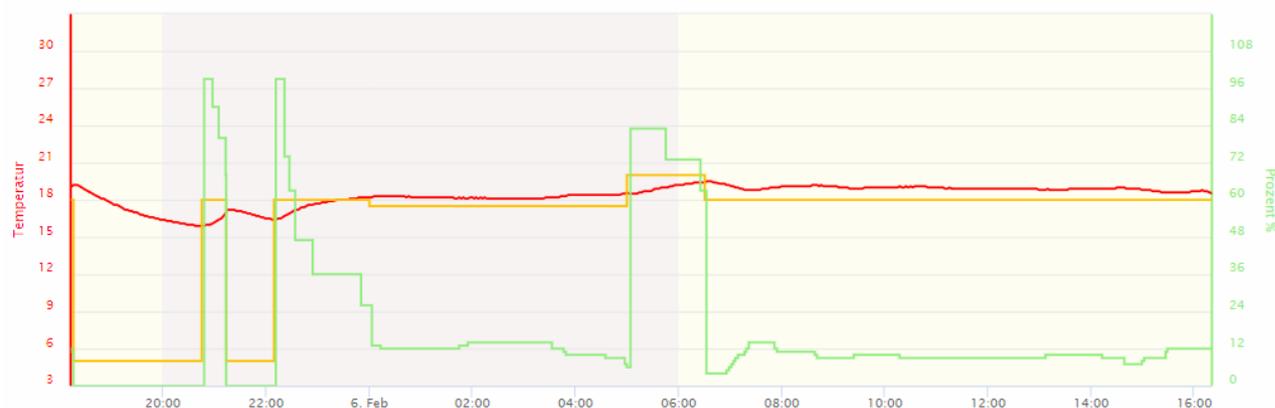
- Es kann zum Schwingen der Ventilstellungen kommen, denn die Reduzierung des Volumenstroms im Ring durch das Zonenventil verändert auch die Volumenstromanteile im führenden Heizkörper, was wiederum zu Änderung der Ventilstellung dort führt, was wiederum auf das Zonenventil wirkt usw.
- Je nach Technologie des Einrohr-Systems sind der Optimierung hier Grenzen gesetzt. Der Volumenstrom lässt sich möglicherweise nicht beliebig reduzieren, da unter einer bestimmten Grenze die Venturi-Saugdüsen nicht mehr effizient arbeiten oder Störeffekte wie Schwerkraftzirkulation die Bypass-Einstellungen verschieben.

Wertet man die Ergebnisse aus (wie oft / wie lange ist das Zonenventil geschlossen?), so stellt man fest, dass im Sommer und in der Übergangszeit brauchbare Erfolge zu erkennen sind, sich im Winter aber wenig tut. Gerade wenn die Zirkulationsverluste und damit das Einsparpotenzial besonders hoch sind, bleibt das Zonenventil praktisch immer geöffnet.

Woran liegt das?

Die Funk-Heizkörperthermostate regeln die Ventilstellung kontinuierlich mit dem Ziel, ein Gleichgewicht zwischen dem Wärmeverlust des Raumes und der durch die Heizung zugeführten Wärme zu erreichen. Einmal im Gleichgewicht, ist die Ventilstellung so eingeregelt, dass sie längere Zeit nicht verändert werden muss (sofern sich die Verhältnisse im Raum nicht durch äußere Einflüsse ändern).

Das ist im folgenden Diagramm schön zu sehen:



Temperaturregelung durch HM-CC-RT-DN (orange: Soll-Temp., rot Ist-Temp., grün: Ventilstellung)

Sobald die Ist-Temperatur den Sollwert erreicht hat, pendelt sich die Ventilstellung auf einen fast konstanten Wert ein (hier rund 12%). Man kann gut erkennen, wie der Regler seinem Namen alle Ehre macht und schon vorausschauend die Ventilstellung zurücknimmt, wenn die Ist-Temperatur dem Sollwert entgegenstrebt.

Der Vorteil dieser kontinuierlichen Regelung: Ein sehr angenehmes, konstantes Raumklima.

Im Kontext der Einrohr-Heizung hat dies jedoch einen ziemlichen Nachteil: Solange die Heizung in den Räumen nicht wirklich stark heruntergedreht wird, werden die Thermostatventile immer geöffnet sein, die meiste Zeit vielleicht nur zu einem ziemlich kleinen Prozentsatz, wie das Beispiel oben gut zeigt.

Unser Programm oben reagiert darauf und öffnet das Zonenventil praktisch permanent, so dass keine Einsparung erreicht werden kann.

Man könnte nun auf den Gedanken kommen, im Programm einfach die Werte für die Ventilstellungen, ab denen die Öffnung des Zonenventils ausgelöst wird, zu erhöhen, z.B. auf 50%. Die Heizkörperventile würden jedoch schnell merken, dass kleine Ventilstellungen (unter der Öffnungsschwelle des Zonenventils) nicht zur Erwärmung des Raums führen und sich entsprechend adaptieren, also schon auf kleine Temperaturänderungen mit großen Ventilstellungen antworten. Dieser Effekt macht eine Vorhersage, wie sich das Gesamtsystem verhalten wird, praktisch unmöglich.

Schritt 2: Optimierung durch Zweipunkt-Regelung

Für die Verhältnisse des Einrohrsystems mit Zonenventil ist die an sich hervorragende kontinuierliche Regelung mit einem PI-Regler (der Reglertyp, der wahrscheinlich im Funk-Heizkörperthermostat realisiert ist) weniger gut geeignet.

Hier kommt im obigen System eine zusätzliche Bedingung hinzu, die man ungefähr so formulieren könnte:

„Wann immer im Einrohr-System egal wie viel Energie von einem Heizkörper angefordert wird, sind die Zirkulationsverluste sofort zu 100% vorhanden.“

Zur Optimierung sollte die Regelung deshalb so arbeiten, dass das Zonenventil möglichst oft geschlossen ist und trotzdem die benötigte Wärme zur Verfügung steht.

Das ist eine Anforderung, die ein Zweipunkt-Regler besser erfüllen kann.

Der Zweipunkt-Regler kennt nur zwei Ausgangszustände: ein oder aus.

Ist der Istwert unter dem Sollwert, dann ist der Ausgangszustand „ein“. Wenn der Istwert den Sollwert erreicht oder überschreitet dann schaltet der Regler den Ausgang aus.

Allerdings kann dieses binäre Schaltverhalten dazu führen, dass der Regler sehr schnell bzw. oft ein- und wieder ausschaltet, wenn der Istwert geringfügig um den Sollwert schwankt.

Deshalb verwendet man eine Hysterese, einen Korridor um den Sollwert, in dem der Regler seinen aktuellen Zustand nicht ändert.

Bei einem Thermostat kann das z.B. konkret so aussehen, dass er dann einschaltet, wenn die Temperatur 0,5°C unter dem Sollwert liegt und ausschaltet, sobald sie 0,5°C über dem Sollwert liegt. Ein klassisches Beispiel für einen Zweipunkt-Thermostaten ist ein Bügeleisen.

Zweipunkt-Regler werden häufig deshalb eingesetzt, weil sie ziemlich billig sind. Einer der Nachteile besteht darin, dass – bedingt durch die Hysterese – der Istwert immer mehr oder weniger stark schwankt.

Wenn diese Schwankungen nicht zu stark sind, kann man sie bei der Regelung der Raumtemperatur ohne große Komforteinbuße akzeptieren.

Dass der Regler taktet, ist für die Steuerung des Zonenventils ein Vorteil. Die Raumtemperaturen werden etwas überhöht und in der nachfolgenden Heizpause kann das Zonenventil geschlossen bleiben.

Die Funktionsweise eines Zweipunkt-Reglers muss „von Hand“ mit einem Zentralenprogramm nachgebildet werden, zumindest in der Form, wie sie hier gebraucht wird.

Der Unterschied zu einem „echten“ Zweipunkt-Regler besteht darin, dass hier die Ventilstellung des Heizkörper-Thermostaten nach wie vor durch den integrierten kontinuierlichen PI-Regler erfolgt.

Die Schaltentscheidung des Zweipunkt-Reglers wird lediglich für die Steuerung des Zonenventils verwendet. Eigentlich arbeiten also zwei verschiedene Regler nebeneinander, was aber ganz gut funktioniert und in der Kombination auch Vorteile bringt.

Die Zweipunkt-Regler werden durch ein kleines Skript in der CCU realisiert. Dieses Skript wird von der Zeitsteuerung in regelmäßigen Zeitabständen (ich habe 4 min gewählt) aufgerufen.

Dafür wird für jeden Raum mit Funk-Heizkörperthermostat eine Systemvariable benötigt, die den Ausgangszustand des Reglers speichert.

Eine weitere Variable wird für den Zustand des Zonenventils eingesetzt:

Funktion	Variable	Variablentyp	Maßeinheit
<i>Ausgang Zweipunktregler</i>			
Ausgangszustand Zweipunktregler WC	Heizung WC 2step	Logikwert	-
Ausgangszustand Zweipunktregler Raum 2	Heizung Raum2 2step	Logikwert	-
Ausgangszustand Zweipunktregler Raum 3	Heizung Raum3 2step	Logikwert	-
<i>Stellentscheidung Zonenventil</i>			
Schalzustand Zonenventil	Heizung EG Zentralventil 2step	Logikwert	-

Da in Raum 1 bereits eine Zweipunktregelung verwendet wird, ist hier kein Software-Regler und keine Systemvariable notwendig.

Der folgende Code-Ausschnitt zeigt den einfachen Aufbau des Zweipunkt-Reglers für einen Raum:

```
!- ===== Zweipunktregler für einen Raum =====  
  
!- Konstanten  
real upper_margin = 0.1; !- Abschaltgrenze (Ist über Sollwert)  
real lower_margin = 0.7; !- Einschaltgrenze (Ist unter Sollwert)  
  
!- Zweipunktregler Raum2  
var Raum2_switch_state = dom.GetObject("Heizung Raum2 2step").Value();  
var Raum2_IstTemp = dom.GetObject("Stellantrieb Raum2:4").DPByHssDP("ACTUAL_TEMPERATURE").Value();  
var Raum2_SollTemp = dom.GetObject("Stellantrieb Raum2:4").DPByHssDP("SET_TEMPERATURE").Value();  
if (Raum2_switch_state ==1)  
{  
  if (Raum2_IstTemp > (Raum2_SollTemp+upper_margin))  
  {  
    Raum2_switch_state =0;  
  }  
}  
else  
{  
  if (Raum2_IstTemp < (Raum2_SollTemp-lower_margin))  
  {  
    Raum2_switch_state =1;  
  }  
}  
dom.GetObject("Heizung Raum2 2step").State(Raum2_switch_state);
```

Die Hysterese des Zweipunktreglers ist durch die beiden Konstanten `upper_margin` und `lower_margin` definiert. Die Hysterese ist unsymmetrisch um den Sollwert gelegt, damit die obere Abschaltgrenze sicher erreicht wird, bevor der interne Regler des Thermostatventils schließt. Im Beispiel beträgt die Hysterese, also die zusätzliche Schwankung der Raumtemperatur 0,8 °C.

Das Programm holt sich zunächst den Inhalt der Systemvariable `Heizung Raum2 2step`, welche den aktuellen Zustand des Reglers (ein/aus) wiedergibt.

Dann werden Ist- und Solltemperatur des Funk-Heizkörperthermostaten HM-CC-RT-DN ausgelesen (der Gerätenamen `Stellantrieb Raum2` muss entsprechend individuell angepasst werden).

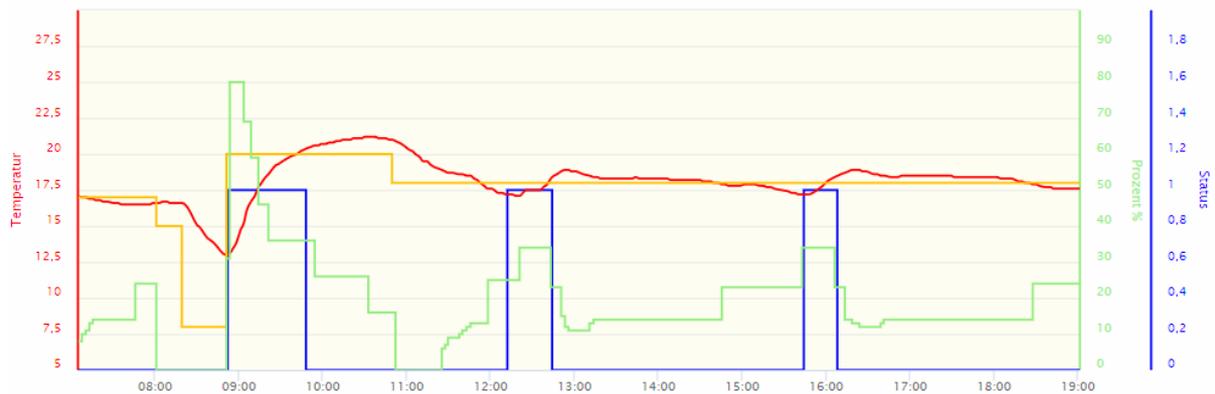
Der eigentliche Regler wird durch zwei verschachtelte if-Anweisungen gebildet:

WENN der Regler im Ein-Zustand ist UND die Ist-Temperatur höher ist als die eingestellte Soll-Temperatur plus obere Hysterese, DANN wird der Regler-Zustand auf AUS gesetzt.

SONST, wenn der Regler im Aus-Zustand ist UND die Ist-Temperatur niedriger ist als die eingestellte Soll-Temperatur minus untere Hysterese, DANN wird der Regler-Zustand auf EIN gesetzt.

Das Ergebnis der Regler-Entscheidung wird dann in die Systemvariable `Heizung Raum2 2step` zurückgeschrieben.

Im folgenden Diagramm ist das Ergebnis zu sehen:



Raumtemperaturen Zweipunktregler

(orange: Soll-Temp., rot Ist-Temp., grün: Ventilstellung, blau: Reglerentscheidung Heizung Raum2 2step)

Die Reglerentscheidung (blau) geht dann den Zustand „ein“, wenn die Raumtemperatur unter den Sollwert minus 0,7°C fällt, z.B. kurz nach 12:00 und kurz vor 16:00 Uhr.

Sobald Solltemperatur plus 0,1°C überschritten wird (z.B. kurz vor 13:00 Uhr) geht der Zweipunkt-Regler in den Zustand „aus“.

Die Regelung der Ventilstellung (grün) ist unabhängig vom Zweipunktregler.

Steuert letzterer das Zonenventil, so wird im Zeitraum 12:45 bis 15:45 Uhr die Ringleitung gesperrt und die Verluste werden verringert.

Im Unterschied dazu würde die Ringleitung bei Steuerung des Zonenventils über die Ventilstellung der Heizkörper in diesem Zeitraum offen bleiben.

Im Diagramm sieht man, dass die Raumtemperatur, bedingt durch die Trägheit des Heizkörpers, auch nach Abschalten des Reglers noch weiter ansteigt. Dadurch wird auch ein sicheres Überschreiten der oberen Abschaltswelle erreicht.

Das muss jedoch nicht zwingend der Fall sein. Es kann durchaus passieren, dass der Regler des Thermostatventils sich so gut adaptiert hat, dass er die Soll-Temperatur ohne Überschwinger asymptotisch erreicht.

Eine schlechte Wärmedämmung des Raums, welche die Trägheit des Heizkörpers ausgleicht und eine ungünstige Platzierung des Thermostatventils (z.B. unter dem Heizkörper) können diese Situation begünstigen.

Es macht deshalb Sinn, sich nach einer Weile einmal die Diagramme der betreffenden Räume anzusehen. In meinem Fall habe ich im Gäste-WC beobachtet, dass öfter diese „perfekte“ Annäherung an den Sollwert erfolgte. In sehr kalten Nächten hat der – bodennah montierte – Heizkörperthermostat sogar knapp niedrigere Ist-Temperaturen als den Sollwert gemessen. Damit würde die Zweipunkt-Regelung nicht richtig funktionieren.

Anstatt die beiden Hysterese-Werte anzupassen, habe ich für diesen Raum einen Offset definiert, mit dem die gemessene Ist-Temperatur verschoben werden kann.

Das funktioniert in etwa so wie der Offset der Raumtemperatur, den man bei den Funk-Heizkörperthermostaten einstellen kann.

Das erweiterte Programm mit Offset-Einstellung sieht dann so aus:

```
!- ===== Zweipunktregler für einen Raum mit Offset =====
!- Konstanten
real upper_margin = 0.1; !- Abschaltgrenze (Ist über Sollwert)
real lower_margin = 0.7; !- Einschaltgrenze (Ist unter Sollwert)
real wc_offset = -0.5; !- Schwellenoffset Regler WC
```

```

!- Zweipunktregler WC
var wc_switch_state = dom.GetObject("Heizung WC 2step").Value();
var WC_IstTemp = dom.GetObject("Stellantrieb WC:4").DPByHssDP("ACTUAL_TEMPERATURE").Value();
var WC_SollTemp = dom.GetObject("Stellantrieb WC:4").DPByHssDP("SET_TEMPERATURE").Value();
if (wc_switch_state ==1)
{
  if ((WC_IstTemp-wc_offset) > (WC_SollTemp+upper_margin))
  {
    wc_switch_state =0;
  }
}
else
{
  if ((WC_IstTemp-wc_offset) < (WC_SollTemp-lower_margin))
  {
    wc_switch_state =1;
  }
}
dom.GetObject("Heizung WC 2step").State(wc_switch_state);

```

Der Offset wird von der Ist-Temperatur abgezogen. Negative Offset-Werte verschieben die Schaltschwellen also nach unten zu niedrigeren Werten.

Mit den Programmteilen bisher werden Zweipunkt-Regler – Entscheidungen für die einzelnen Räume generiert. Was noch fehlt, ist die Schaltentscheidung für das Zonenventil.

Dieses soll öffnen, wenn der Zweipunkt-Regler mindestens eines Raumes den Zustand „ein“ hat. Es schließt, wenn alle Zweipunkt-Regler im Zustand „aus“ sind.

Für die vier Räume aus meinem Beispiel sieht das komplette Skript dann so aus:

```

!- ===== Zonenventil UG mit Hysterese steuern =====
!- Konstanten
real upper_margin = 0.1; !- Abschaltgrenze (Ist über Sollwert)
real lower_margin = 0.7; !- Einschaltgrenze (Ist unter Sollwert)
real wc_offset = -0.5; !- Schwellenoffset Regler WC

boolean master_valve_state; !- Variable Zustand Zentralventil UG

!- Regler WC (mit Offset)
var wc_switch_state = dom.GetObject("Heizung WC 2step").Value();
var WC_IstTemp = dom.GetObject("Stellantrieb WC:4").DPByHssDP("ACTUAL_TEMPERATURE").Value();
var WC_SollTemp = dom.GetObject("Stellantrieb WC:4").DPByHssDP("SET_TEMPERATURE").Value();
if (wc_switch_state ==1)
{
  if ((WC_IstTemp-wc_offset) > (WC_SollTemp+upper_margin))
  {
    wc_switch_state =0;
  }
}
else
{
  if ((WC_IstTemp-wc_offset) < (WC_SollTemp-lower_margin))
  {
    wc_switch_state =1;
  }
}
dom.GetObject("Heizung WC 2step").State(wc_switch_state);

!- Regler Raum2
var Raum2_switch_state = dom.GetObject("Heizung Raum2 2step").Value();
var Raum2_IstTemp = dom.GetObject("Stellantrieb Raum2:4").DPByHssDP("ACTUAL_TEMPERATURE").Value();
var Raum2_SollTemp = dom.GetObject("Stellantrieb Raum2:4").DPByHssDP("SET_TEMPERATURE").Value();
if (Raum2_switch_state ==1)
{
  if (Raum2_IstTemp > (Raum2_SollTemp+upper_margin))
  {
    Raum2_switch_state =0;
  }
}
else
{
  if (Raum2_IstTemp < (Raum2_SollTemp-lower_margin))

```

```

    {
    Raum2_switch_state =1;
    }
}
dom.GetObject("Heizung Raum2 2step").State(Raum2_switch_state);

!- Regler Raum3
var Raum3_switch_state = dom.GetObject("Heizung Raum3 2step").Value();
var Raum3_IstTemp = dom.GetObject("Stellantrieb Raum3:4").DPByHssDP("ACTUAL_TEMPERATURE").Value();
var Raum3_SollTemp = dom.GetObject("Stellantrieb Raum3:4").DPByHssDP("SET_TEMPERATURE").Value();
if (Raum3_switch_state ==1)
{
if (Raum3_IstTemp > (Raum3_SollTemp+upper_margin))
{
Raum3_switch_state =0;
}
}
else
{
if (Raum3_IstTemp < (Raum3_SollTemp-lower_margin))
{
Raum3_switch_state =1;
}
}
dom.GetObject("Heizung Raum3 2step").State(Raum3_switch_state);

!- Raum1 mit Zweipunkt-Regler im Funk-Wandthermostat HM-TC-IT-WM-W-EU
boolean Raum1_switch_state=0;
var Raum1_valve_level = dom.GetObject("Stellantrieb Raum1:1").DPByHssDP("LEVEL").Value();
if (Raum1_valve_level > 0.1)
{
Raum1_switch_state=1;
}
}

!- Stellentscheidung Zonenventil generieren
master_valve_state = (wc_switch_state || Raum2_switch_state || Raum3_switch_state || Raum1_switch_state);
dom.GetObject("Heizung EG Zentralventil 2step").State(master_valve_state);

```

Im letzten Abschnitt wird mit einer ODER-Verknüpfung aus den einzelnen Regler-Zuständen die Stellentscheidung für das Zonenventil generiert und in der Systemvariable `Heizung EG Zentralventil 2step` gespeichert. (Anm.: Die Variablenbezeichnungen sind etwas inkonsistent.)

Als Besonderheit ist in diesem Programm noch der Raum 1 hinzugekommen, der – wie oben beschrieben – bereits eine Zweipunktregelung des Heizkörpers durch einen Funk-Wandthermostaten besitzt. Hier muss nur der Schaltzustand dieses Reglers abgefragt und in die Stellentscheidung eingebaut werden. Aus „historischen Gründen“ wird der Stellantrieb am Heizkörper von einem Funk-Dimmaktor HM-LC-Dim1T-CV angesteuert. Weil die Phasenanschnittsteuerung bei einem elektrothermischen Stellantrieb wirkungslos ist, kennt dieser nur die Zustände 0% (aus) und 100% (ein). D.h. sinnvoller wäre hier eigentlich die Verwendung eines Schaltaktors. Der Programmabschnitt für Raum 1 fragt lediglich den Schaltzustand des Aktors ab und übergibt ihn mit der Variable `Raum1_switch_state` in die Schaltentscheidung für das Zonenventil.

Die einzelnen Programmabschnitte und Gerätenamen müssen natürlich individuell an die vorhandenen Gegebenheiten angepasst werden.

Damit die Regler arbeiten können, muss das Skript regelmäßig ausgeführt werden. Das übernimmt das allseits beliebte Zeitmodul:

Name	Beschreibung	Bedingung (Wenn...)	Aktivität (Dann..., Sonst...)	Aktion
_Heizung EG Hysteresebetrieb		Zeit: Periodisch Ganztägig beginnend am 13.02.2021 zu Zeitpunkten auslösen	Skript: ... sofort ausführen	<input type="checkbox"/> systemintern
Bedingung: Wenn...				
Zeitsteuerung <input type="checkbox"/> Periodisch Ganztägig beginnend am 13.02.2021 zu Zeitpunkten auslösen <input type="checkbox"/>				
ODER <input type="checkbox"/>				
Aktivität: Dann... <input checked="" type="checkbox"/> Vor dem Ausführen alle laufenden Verzögerungen für diese Aktivitäten beenden (z.B. Retrigger).				
Skript <input type="checkbox"/> I-===== Zonenventil EG mit Hysterese steuern ===== r... sofort <input type="checkbox"/>				
Aktivität: Sonst... <input type="checkbox"/> Vor dem Ausführen alle laufenden Verzögerungen für diese Aktivitäten beenden (z.B. Retrigger).				

Zeitmodul einstellen

Wir empfehlen bei der Benutzung des Zeitmoduls, keine Zeitabstände kleiner 15 Min. zu verwenden. So ist sichergestellt, dass alle konfigurierten Programme zuverlässig ausgeführt werden können.

Zeit

Zeitspanne Beginn: 17:20 v Ende: 17:50 v

Ganztägig

Astrofunktion tagsüber

Astrofunktion nachts

Zeitpunkt 17:20 v

Serienmuster

Einmalig Alle 4 Minuten v

Zeitintervall

Täglich

Wöchentlich

Monatlich

Jährlich

Gültigkeitsdauer

Beginn 13.02.2021 v

Kein Enddatum

Endet nach Terminen

Endet am v

Als Zeitintervall habe ich 4 Minuten gewählt. (Dazu muss man die „Warnung“ / Empfehlung zum Zeitmodul – die allerdings auch noch aus Zeiten der CCU2 stammt - ignorieren.) Rein aufgrund der Systemträgheit könnte das Intervall auch vergrößert werden. Allerdings möchte der Benutzer, wenn er den Thermostat hochdreht, auch in gefühlt angemessener Zeit Wärme erhalten. Bei meinem System gab es mit dem 4-minütigen Abfrageintervall keine Probleme. Alternativ könnte auch der Timer des CUx-Daemon verwendet werden.

Mit diesem Programm werden jetzt regelmäßig alle Systemvariablen des Zweipunktreglers aktualisiert. Das Zonenventil selbst wird noch nicht angesteuert. Dazu verwende ich ein separates Programm:

Name	Beschreibung	Bedingung (Wenn...)	Aktivität (Dann..., Sonst...)	Aktion
Heizung EG Zonenventil 2step		Systemzustand: Heizung EG Zentralventil 2step bei on bei Änderung auslösen on	Kanalauswahl: Stellantrieb EG:4 sofort Manu-Modus auf 30.50 °C	<input type="checkbox"/> systemintern
Bedingung: Wenn...				
Systemzustand <input type="checkbox"/> Heizung EG Zentralventil 2step bei on bei Änderung auslösen <input type="checkbox"/>				
ODER <input type="checkbox"/>				
Aktivität: Dann... <input checked="" type="checkbox"/> Vor dem Ausführen alle laufenden Verzögerungen für diese Aktivitäten beenden (z.B. Retrigger).				
Geräteauswahl <input type="checkbox"/> Stellantrieb EG:4 sofort Manu-Modus auf 30.50 °C <input type="checkbox"/>				
Aktivität: Sonst... <input checked="" type="checkbox"/> Vor dem Ausführen alle laufenden Verzögerungen für diese Aktivitäten beenden (z.B. Retrigger).				
Geräteauswahl <input type="checkbox"/> Stellantrieb EG:4 sofort Manu-Modus auf 30.50 °C <input type="checkbox"/>				

Das Programm wird ganz simpel bei Änderung der Systemvariablen für das Zonenventil ausgelöst und setzt den Sollwert für das Zonenventil entsprechend (analog zum Programm aus Schritt 1).

Diese Aktion lässt sich natürlich auch direkt in das Skript einbauen.

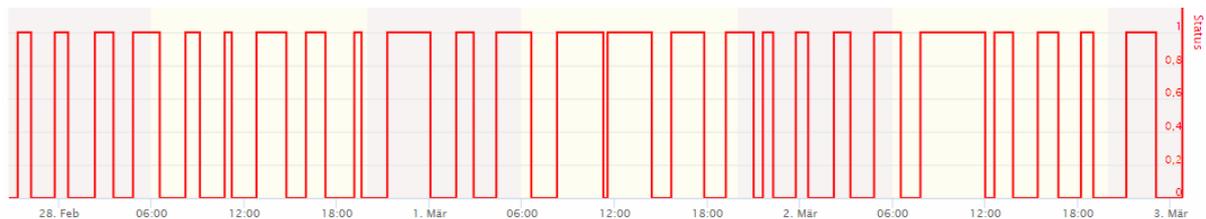
Der Gedanke hinter dem separaten Programm war, dass man so leichter unterschiedliche Aktoren einbinden kann und durch Aktivierung / Deaktivierung von Programmen verschiedene Reglertypen (wie hier Schritt 1 / Schritt 2) ausprobieren kann.

Noch ein Hinweis: Durch die Kombination der oder-verknüpften Zweipunktregler und der internen kontinuierlichen Regler ergibt sich der positive Effekt, dass wenn z.B. nur ein Raum die Anforderung seines Zweipunktreglers erfüllt und das Zonenventil öffnet, alle anderen Heizkörperthermostate in der Lage sind, mit kontinuierlicher Regelung der Ventilstellung ihren Raum optimal zu versorgen.

Das führt in der Praxis zu einer Abmilderung der Temperaturschwankungen und auch dazu, dass das Zonenventil seltener öffnen muss, weil ggf. die Räume asynchron nacheinander Wärme anfordern.

Fazit: Was hat's gebracht?

Das Diagramm unten zeigt die Zustände des Zonenventils mit Zweipunkt-Regelung bei Außentemperaturen zwischen 0°C (Nacht) und 10°C (Tag).



Zustand des Zonenventils mit Zweipunktregelung

Das Zonenventil ist nun fast die Hälfte der Zeit geschlossen. Im Vergleich zum Programm aus Schritt 1 ist das eine deutliche Verbesserung.

Mit einem zweipunkt-geregelten Zonenventil lassen sich also bei einem Einrohr-System die Verluste durch unnötige Zirkulation deutlich reduzieren. Weil dadurch auch die Rückführung von heißem Heizwasser in den Speicher der Heizungsanlage verringert wird, sollte sich dies außerdem positiv auf den Erhalt der Speicherschichtung und die Energieeffizienz der Heizungsanlage auswirken.