# Vorwort

In diesem Leitfaden wird die Programmierung einer Zweipunktregelung bzw. einer PID-Regelung mit der Micro-Control-Demostation (Siemens S7-1200 SPS) unter der Siemens Software STEP 7 Professional TIA V11.0 SP1 beschrieben.

### Inbetriebnahme der Anlage:

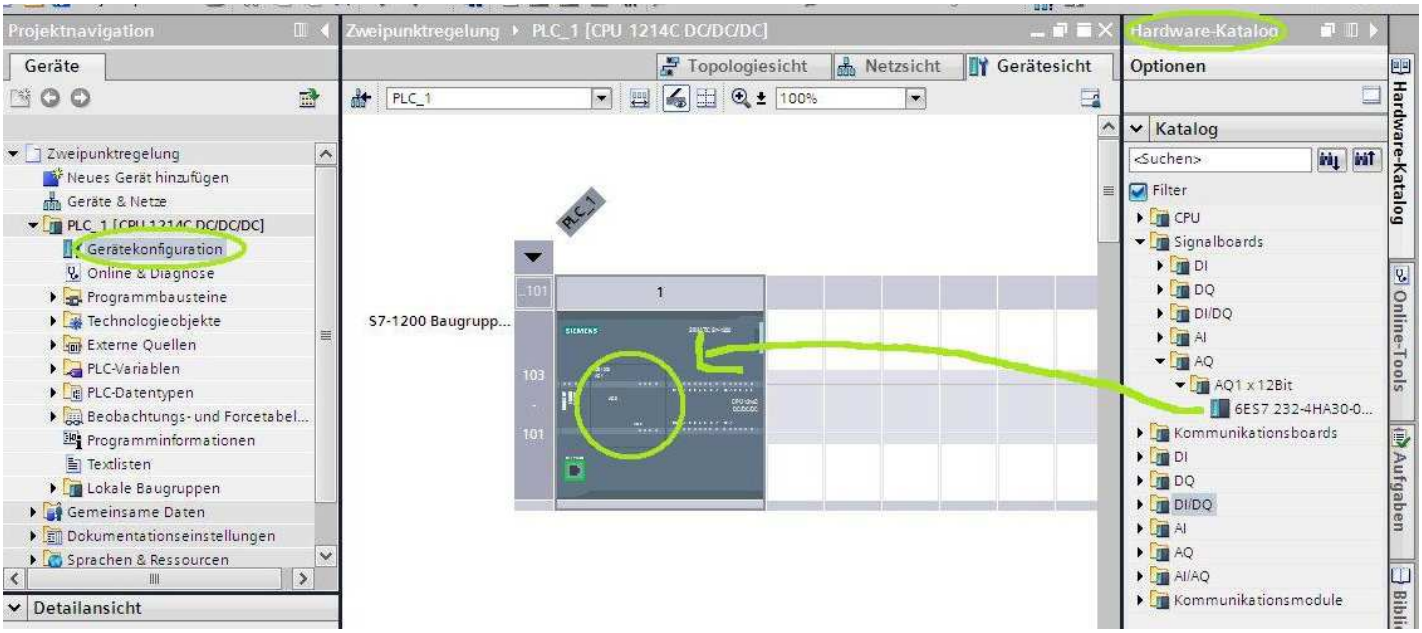
Um die Anlage in Betrieb nehmen zu können, wird zuerst der Würfel mit dem Montageboard verbunden. Dafür wird je ein Bananenstecker in eine Buchse des Würfels gesteckt, dass dazugehörige Ende wird entsprechend der Buchsennummer in diejenige Klemme der Klemmenleiste X4 gesteckt. Es ist unbedingt auf die richtige Reihenfolge zu achten, ansonsten riskiert man Sachschäden an der Anlage! Danach wird der Stecker in eine Steckdose gesteckt, alle Sicherungen werden eingeschaltet und das Netzwerkkabel wird mit dem Profinetanschluss der S7-1200 verbunden. Bei korrektem Anschluss startet die SPS im RUN-Betrieb und der Temperaturmessumformer „B2“ gibt keinen Fehler aus (sonst leuchtet eine rote Lampe unterhalb der weißen Plastikabdeckung). Als letztes muss man kontrollieren, ob die beiden Striche des Potentiometers auf der Platine deckungsgleich sind.

Im folgenden wird davon ausgegangen, dass ein fertig konfiguriertes Projekt nach dem Leitfaden „STEP 7 Basic V10.5“ für die CPU 1214C DC/DC/DC V2.0 erstellt wurde, deshalb wird hier auf die Gerätekonfiguration, die Einbindung der SPS ins Netzwerk und die grundlegende Handhabung der Software nicht weiter eingegangen.

# Vorbereitung

### Schritt 1:

Als erstes fügen wir die analoge Ausgangskarte der Gerätekonfiguration hinzu. Dazu wechseln wir in die *Gerätekonfiguration* und öffnen rechts am Rand den Reiter Hardwarekatalog. Wir öffnen das Untermenü „*Signalboards -> AQ -> AQ1 x 12 Bit*“ und ziehen das Signalboard per „Drag and Drop“ in die Mitte der CPU. Nun ist die Ausgabebaugruppe korrekt eingebunden.




von Nils-Erik Schäfer

### Schritt 2:

Als nächstes ändern wir die Ein- und Ausgabeadressen in der *Geräteübersicht* der CPU wie im Bild dargestellt (vgl. Schritt 7 im Leitfaden zu STEP 7).

Geräteübersicht

| Baugruppe | Steck... | E-Adresse | A-Adresse | Typ | Bestell-Nr. | Firmware |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 103 | | | | | |
| | 102 | | | | | |
| | 101 | | | | | |
| ▼ A0 | 1 | | | CPU 1214C DC/DC/DC | 6ES7 214-1AE30-0XB0 | V2.0 |
| DI14/DQ10_1 | 1 1 | 0...1 | 0...1 | DI14/DQ10 | | |
| AI2_1 | 1 2 | 2...5 | | AI2 | | |
| AQ1 x12Bit_1 | 1 3 | | 2...3 | AQ1 Signalboard | 6ES7 232-4HA30-0XB0 | V1.0 |
| HSC_1 | 1 16 | 1000...10... | | Schneller Zähler (HSC) | | |
| HSC_2 | 1 17 | 1004...10... | | Schneller Zähler (HSC) | | |
| HSC_3 | 1 18 | 1008...10... | | Schneller Zähler (HSC) | | |
| HSC_4 | 1 19 | 1012...10... | | Schneller Zähler (HSC) | | |
| HSC_5 | 1 20 | 1016...10... | | Schneller Zähler (HSC) | | |
| HSC_6 | 1 21 | 1020...10... | | Schneller Zähler (HSC) | | |
| Pulse_1 | 1 32 | | 1000...10... | Impulsgenerator (PTO/P... | | |
| Pulse_2 | 1 33 | | 1002...10... | Impulsgenerator (PTO/P... | | |
| ▶ PROFINET-Schnittstelle_1 | 1 X1 | | | PROFINET-Schnittstelle | | |

Die restlichen Einstellungen belassen wir bei den Standardwerten. Es ist sinnvoll den Netzwerken Namen zu geben und beschreibende Kommentare zu benutzen.

## Zweipunktregelung

### Schritt 1:

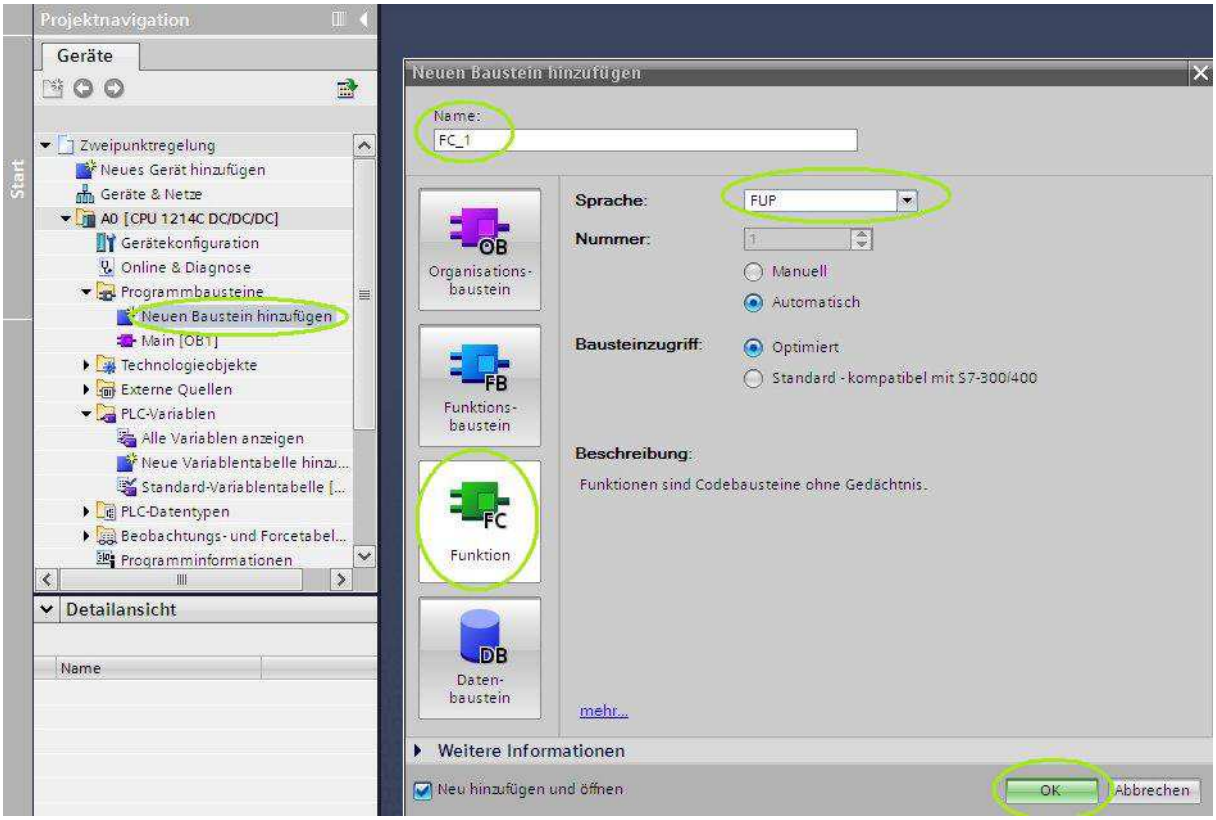
Wir öffnen in der Projektnavigation unter der CPU den Reiter *„PLC-Variablen -> Alle Variablen anzeigen“* und legen folgende Variablen dem Bild entsprechend fest.

PLC-Variablen

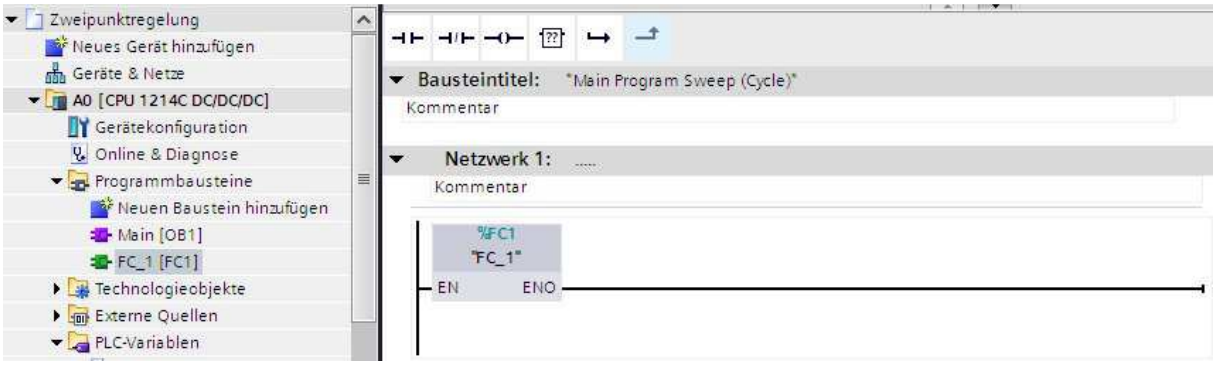
| Name | Datentyp | Adresse | Remanenz | Sichtbar in HMI | Erreichbar aus HMI | Kommentar |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AQ | Word | %QW2 | False | True | True | Ansteuerung Transistor |
| AI0 | Word | %IW2 | False | True | True | Signal vom PT-100-Temperatursensor |
| Lampe EIN | Bool | %I0.0 | False | True | True | Schließer Lampe EIN |
| Lampe AUS | Bool | %I0.1 | False | True | True | Öffner Lampe AUS |
| K1 | Bool | %Q0.0 | False | True | True | Relais K1 Lampe EIN/AUS |
| Sollwert Eingabe | Real | %QD4 | False | True | True | Eingabe des Sollwertes in Grad Celsius |
| Umrechnungsfaktor | Real | %QD8 | False | True | True | Umrechnungsfaktor für die Solltemperatur in Volt |
| Sollwert Volt | Real | %QD12 | False | True | True | Zwischenergebnis Sollwert in Volt |
| Zwischenergebnis 1 | Real | %QD16 | False | True | True | Zwischenergebnis Berechnung Sollwert als INT-Zahl |
| Sollwert Real | Real | %QD20 | False | True | True | Sollwert als REAL-Zahl |
| Sollwert Int | Int | %QW24 | False | True | True | Sollwert als INT-Zahl |
| Merker Ausgang | Bool | %M1.0 | False | True | True | Analoger Ausgang EIN/AUS |

## Schritt 2:

Wir öffnen in der Projektnavigation unter der CPU den Reiter „*Programmbausteine -> Neuen Baustein hinzufügen*“. Wir wählen *Funktion* aus, vergeben einen Namen, ändern die Sprache auf FUP und bestätigen mit OK.



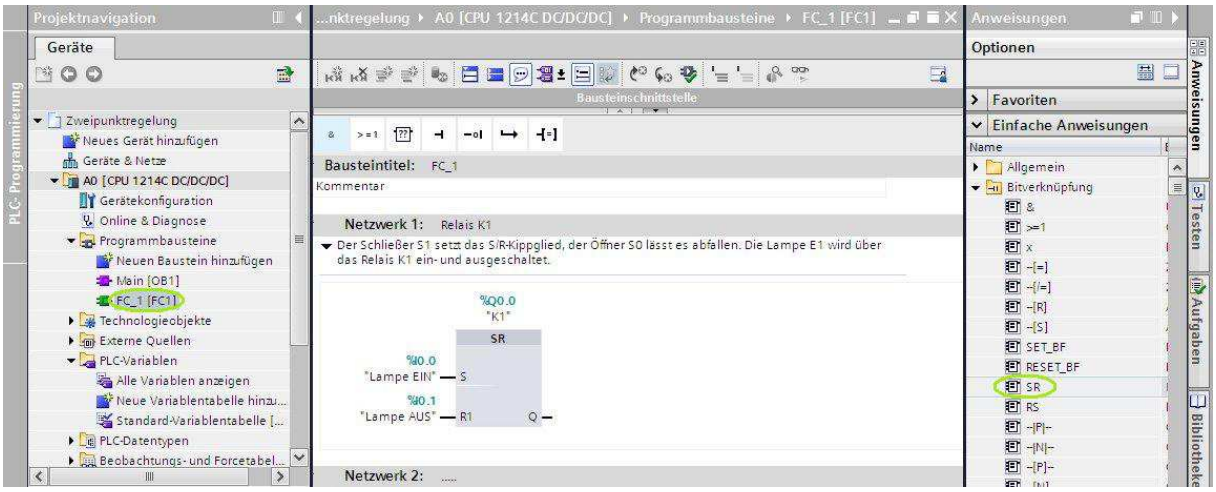

Wir öffnen nun den Baustein „Main [OB1]“ indem wir auf diesen Doppelklicken. Folgend ziehen wir den Baustein FC_1 per „Drag and Drop“ in das Netzwerk 1 des OB1. Das Ergebnis sieht folgendermaßen aus:




Als Effekt wird nun auch der FC_1 im Betrieb der SPS aufgerufen.

## Schritt 3:

Nun programmieren wir das Ein- und Ausschalten der Lampe. Dazu wechseln wir in die Ansicht des FC_1 durch Doppelklick und erstellen im Netzwerk 1 eine S/R-Stufe für die Ansteuerung der Lampe (Doppelklick oder Drag and Drop unter „*Einfache Anweisungen -> Bitverknüpfungen -> SR*“). Gesetzt wird die S/R-Stufe durch den Schließer S1 (I0.0), rückgesetzt durch den Öffner S0 (I0.1). Die S/R-Stufe steuert das Relais K1 an, das die Lampe schaltet.

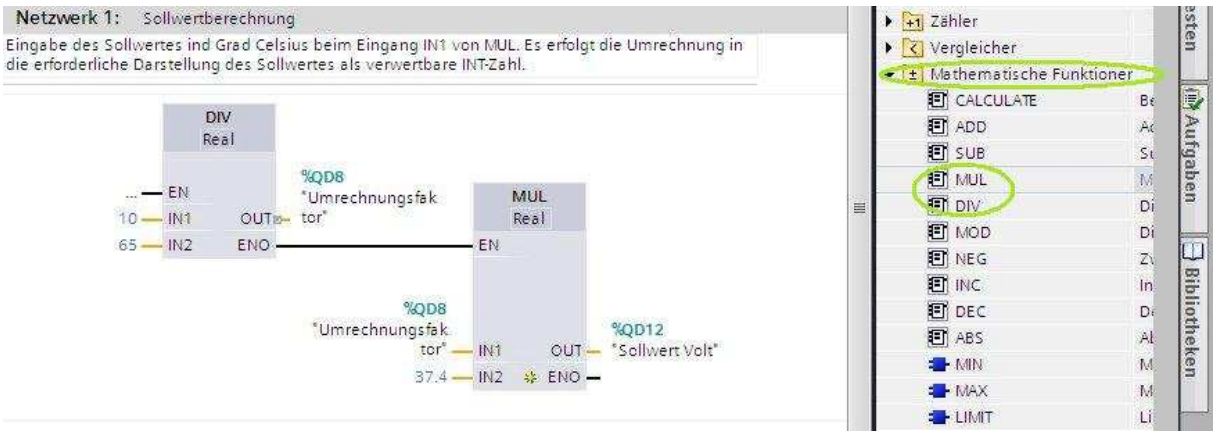



## Schritt 4:

Nun erzeugen wir, wie vorhin, einen FC_2 und binden auch diesen in den OB1 ein.

In dem folgenden Abschnitt wird behandelt, wie eine Solltemperatur eingegeben und mit einer Isttemperatur verglichen werden kann. Dementsprechend wird ein Ausgang, der den Lüftermotor steuert, ein- oder ausgeschaltet. Dafür begeben wir uns in die Theorie der Analogwertverarbeitung der Siemens S7-1200. Wir müssen außerdem noch wissen, dass unser PT-100 Signal von einem Messumformer aufbereitet wird. Dieser bildet einen Temperaturbereich von 0 C° bis 65 C° auf einen Spannungsbereich von 0 V- 10 V ab.

Das bedeutet für uns, dass wir unseren Sollwert, den wir in Grad Celsius eingeben möchten, in eine Spannung übersetzen müssen. Wir überprüfen, dass folgende Umrechnungsformel dafür in unserem Fall zum Ziel führt: $Sollwert\ [V] = \frac{10\ [V]}{65\ [C°]} * Sollwert\ [C°]$. Der rot markierte Teil ist unser Umrechnungsfaktor. Wir programmieren also zunächst unseren Umrechnungsfaktor durch Division von 10 durch 65 und multiplizieren das Ergebnis mit unserem Sollwert in C°. Dafür ziehen wir per Drag and Drop aus dem rechten Reiterzusammenschluss *„Anweisungen -> Einfache Anweisungen -> Mathematische Funktionen“* einmal *DIV* und einmal *MUL* in das erste Netzwerk des FC_2. Als Datentyp wählen wir beiden „Real“ aus. Wir geben die Werte entsprechend der obigen Formel ein, dass Ergebnis sieht folgendermaßen aus:



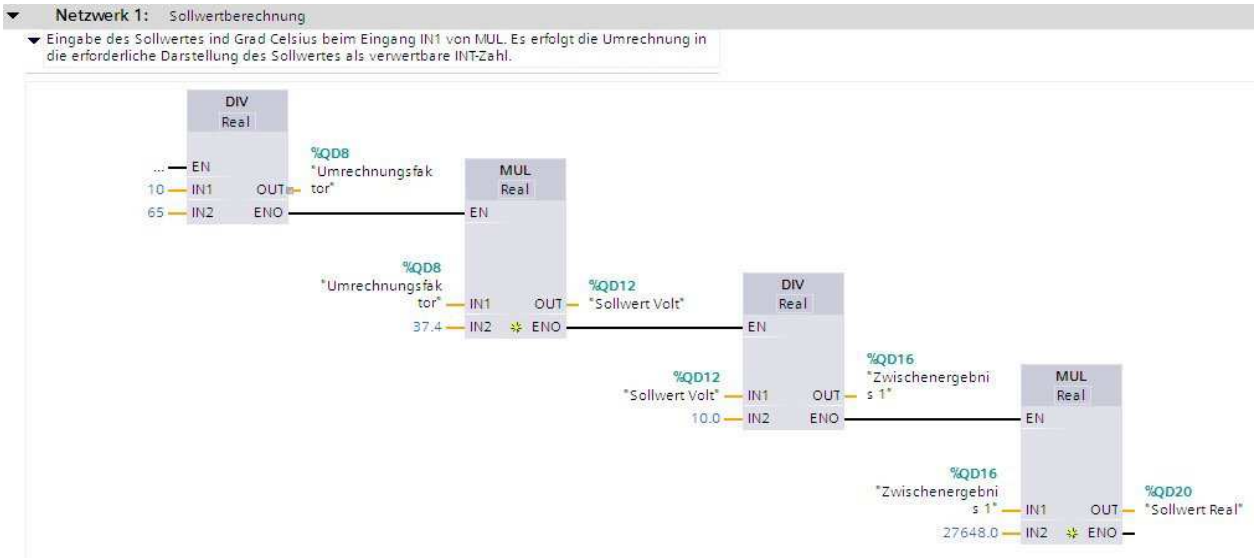

Unseren Sollwert in C° geben wir also beim Eingang IN2 des Multiplikationsbausteins ein.

## Schritt 5:

Die S7-1200 bildet nun generell eine anliegende Spannung an einer analogen Eingangskarte auf eine Integerzahl ab. Diese Abbildung erfolgt von 0 V – 10 V auf einen Integerbereich von 0 bis 27648. Deshalb bilden wir jetzt nach dieser Vorgabe unseren Sollwert in Volt auf seine zugehörige Integerzahl ab, um nachher den Sollwert mit der Isttemperatur vergleichen zu können (die Isttemperatur liegt, wie gesagt, als Integerzahl am analogen Eingangs vor). Wir führen folgende Rechnung durch und programmieren diese wie oben:

$$Sollwert\ [Integerzahl] = \frac{Sollwert\ [V]}{10\ [V]} * 27648$$

Das Ergebnis sieht folgendermaßen aus:




## Schritt 6:

Bis jetzt wurde nur in Real-Zahlen gerechnet, um keine Rundungsfehler zu erhalten. Da unsere Isttemperatur nachher aber als Integerzahl am Eingang vorliegt, müssen wir unseren Sollwert nun noch in eine Integerzahl umwandeln (runden). Wir wählen unter dem Reiter *„Einfache Anweisungen -> Umwandler“* den Befehl *Convert* aus und ziehen diesen per Drag and Drop in das Netzwerk 2 des FC_2. Wir wandeln von Real nach Int und definieren den Ein- bzw. Ausgang noch mit unseren richtigen Variablen.


Jetzt liegt unser eingegebener Sollwert als verwertbare Integerzahl vor.

## Schritt 7:

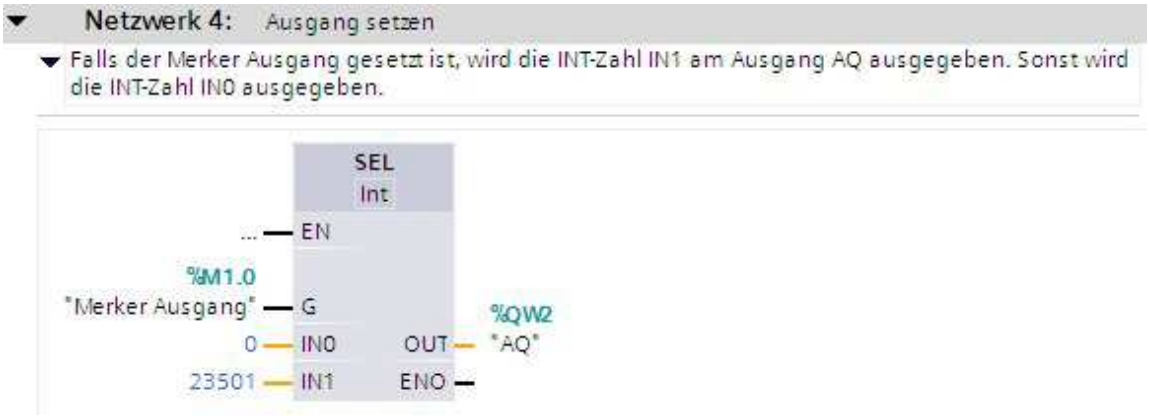
Wir können nun mit dem Vergleichen des Sollwertes und des Istwertes fortfahren. Dafür erstellen wir eine S/R-Stufe. Am Setzeingang fügen wir ein größer als Vergleicher (*CMP >* ) ein, am Rücksetzeingang einen kleiner gleich (*CMP <=* ) Vergleicher. Beide sind im Reiter *„Einfache Anweisungen -> Vergleicher*“ zu finden. Wir vergleichen jeweils die Solltemperatur als Integerzahl mit dem analogen Eingang, an dem unser Messsignal vorliegt.

Als Ergebnis erhalten wir eine S/R-Stufe, die gesetzt ist, falls sich der Istwert oberhalb des Sollwertes bewegt.


## Schritt 8:

Nun müssen wir es schaffen, dass bei gesetzter S/R-Stufe „Merker Ausgang“ aus dem Schritt 7 eine Spannung von 8,5 V an unserem analogen Ausgang anliegt. Sonst soll eine Spannung von 0V ausgegeben werden. Dies hat schaltungstechnische Gründe, die am verwendeten Transistor und seiner Ansteuerung liegen. Wir nehmen diese Tatsache hier als gegeben hin.

Dafür verwenden wir nun aus dem Reiter *„Einfache Anweisungen -> Wortverknüpfungen*“ den Befehl *SEL.* Dieser ermöglicht es uns, einen boolschen Eingang auszuwerten und je nach Zustand dieses Eingangs entweder den Eingang IN0 oder IN1 an einem Ausgang auszugeben. Wir können also jetzt unseren „Merker Ausgang“ am Eingang G auswerten, der Typ unserer beiden Eingänge IN0 und IN1 ist INT, der SEL-Befehl bekommt dementsprechend diesen Typ. Wir möchten jetzt bei nichtgesetzter S/R-Stufe 0 V ausgeben, d.h. bei unserem Eingang IN0 schreiben wir die 0, bei unserem Eingang IN1 schreiben wir die Zahl 23501, da nach unserer Umrechnungsbeziehung von oben gilt $23500{,}8 = \frac{8{,}5\ V}{10\ V} * 27648$ (aufgerundet). Unser Ausgang ist hier logischerweise der analoge Ausgang. Wir erhalten folgendes Ergebnis:



Wir sind fertig mit programmieren und können nach dem Leitfaden „STEP 7 Basic V10.5“ alles auf die S7-1200 übertragen und mit der „Brillenfunktion“ das arbeitende Programm betrachten. Wir haben eine Zweipunktregelung programmiert.

# PID-Regelung:

## Schritt 1:

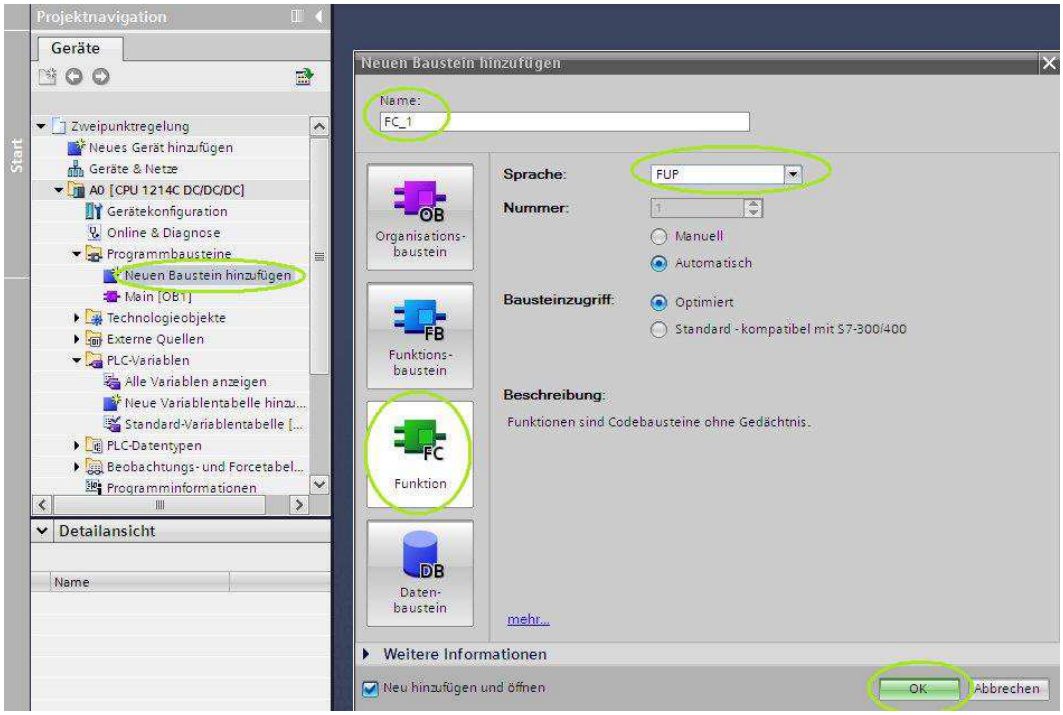
Wir öffnen in der Projektnavigation unter der CPU den Reiter „*PLC-Variablen -> Alle Variablen anzeigen*“ und legen folgende Variablen dem Bild entsprechend fest.

PLC-Variablen

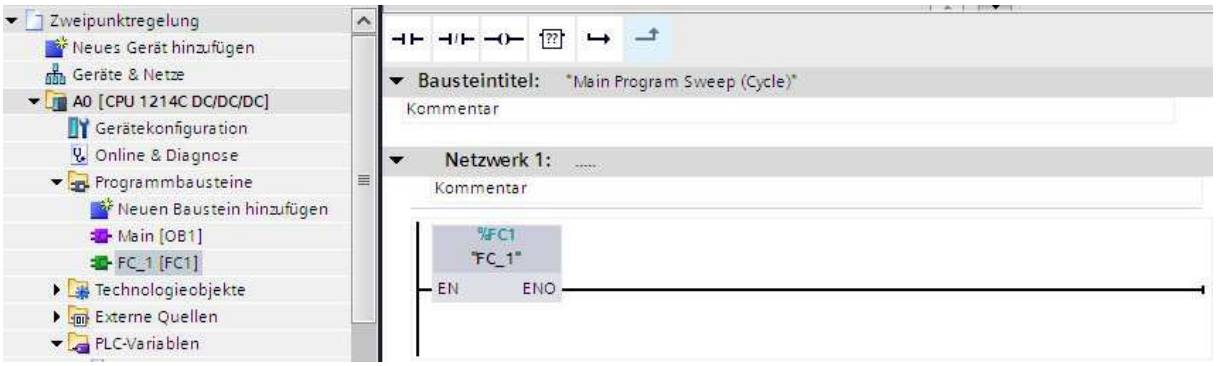
| | Name | Datentyp | Adresse | Rema-nenz | Sicht-bar in HMI | Er-reich-bar aus HMI | Kommentar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K1 | Bool | %Q0.0 | False | True | True | Relais K1 zur Ansteuerung der Lampe E1 |
| | Lampe AUS | Bool | %I0.1 | False | True | True | Öffner S0 Lampe AUS |
| | AQ | Word | %QW2 | False | True | True | Analoger Ausgang zur Ansteuerung des Transistors T2 |
| | AI0 | Word | %IW2 | False | True | True | Analoger Eingang zur Erfassung der Temperatur über den Messumwandler |
| | Sollwert PID | Real | %ID4 | False | True | True | Sollwert für die PID-Regelung |

## Schritt 2:

Wir öffnen in der Projektnavigation unter der CPU den Reiter „*Programmbausteine -> Neuen Baustein hinzufügen*“. Wir wählen *Funktion* aus, vergeben einen Namen, ändern die Sprache auf FUP und bestätigen mit OK.



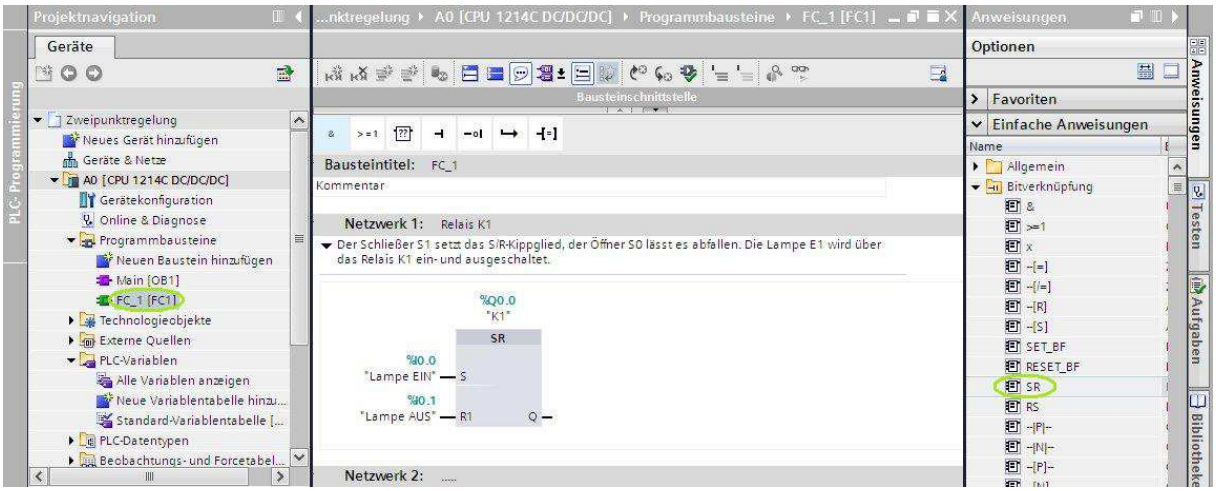

Wir öffnen nun den Baustein „Main [OB1]“ indem wir auf diesen Doppelklicken. Folgend ziehen wir den Baustein FC_1 per „Drag and Drop“ in das Netzwerk 1 des OB1. Das Ergebnis sieht folgendermaßen aus:




Als Effekt wird nun auch der FC_1 im Betrieb der SPS aufgerufen.

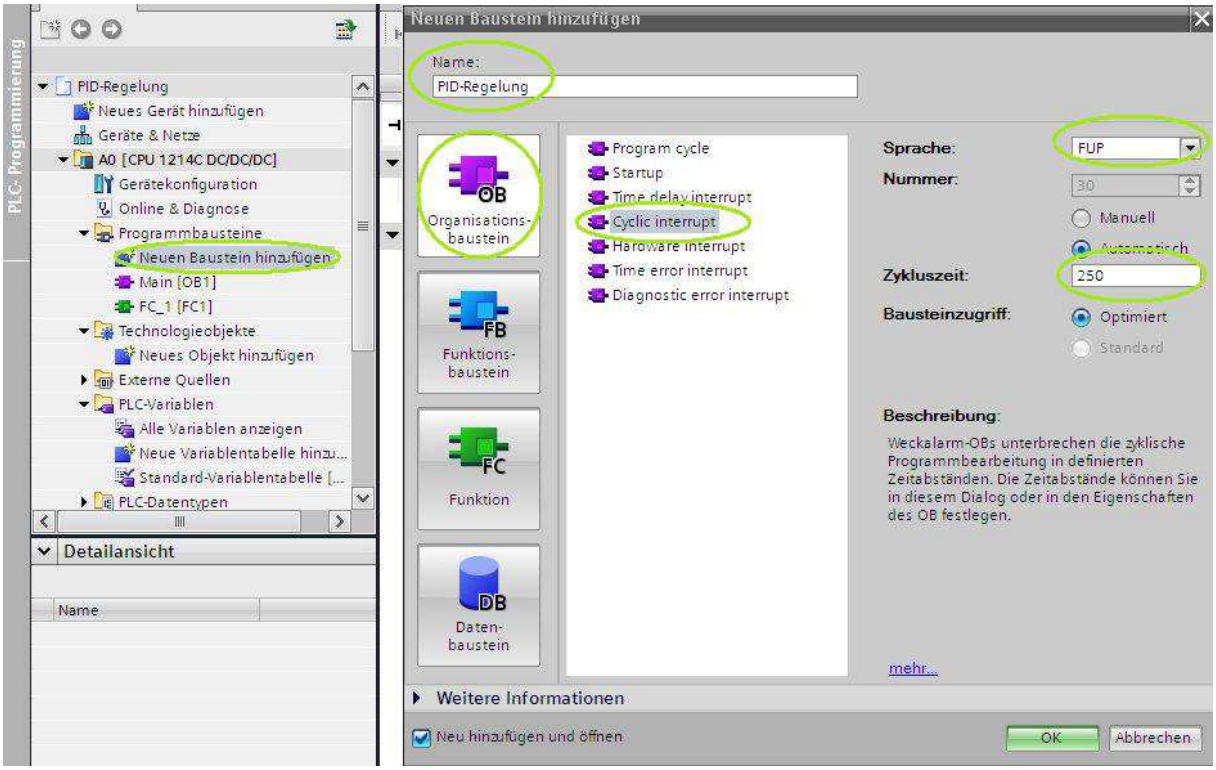
## Schritt 3:

Nun programmieren wir das Ein- und Ausschalten der Lampe. Dazu wechseln wir in die Ansicht des FC_1 durch Doppelklick und erstellen im Netzwerk 1 eine S/R-Stufe für die Ansteuerung der Lampe (Doppelklick oder Drag and Drop unter „*Einfache Anweisungen -> Bitverknüpfungen -> SR*“). Gesetzt wird die S/R-Stufe durch den Schließer S1 (I0.0), rückgesetzt durch den Öffner S0 (I0.1). Die S/R-Stufe steuert das Relais K1 an, das die Lampe schaltet.



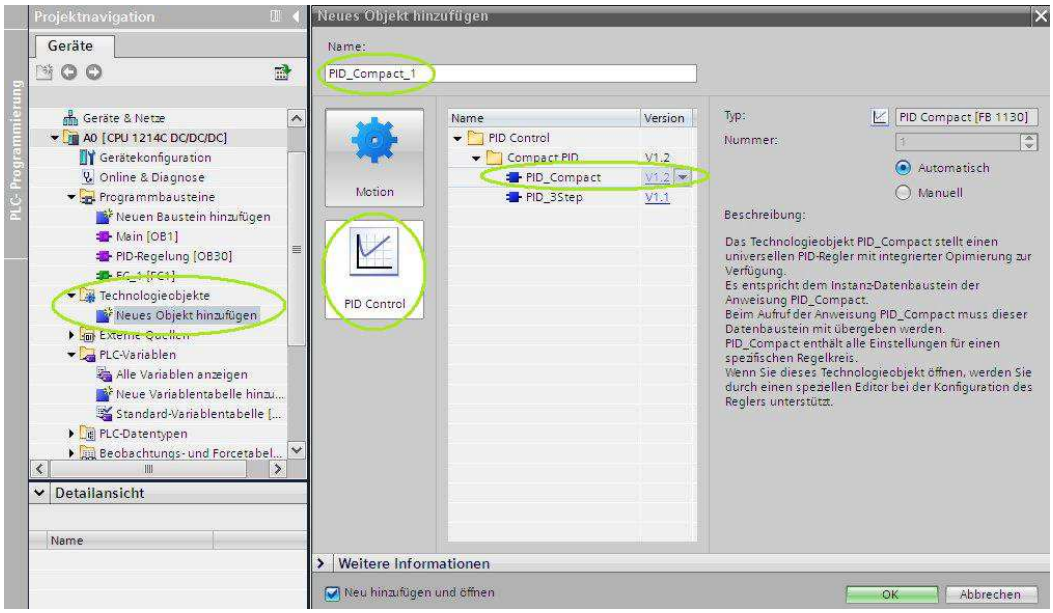
## Schritt 4:

Wir öffnen in der Projektnavigation unter der CPU den Reiter *„Programmbausteine -> Neuen Baustein hinzufügen“*. Wir wählen *„Organisationsbaustein -> Cyclic interrupt“ (Weckalarm-OB)* aus, vergeben einen Namen, ändern die Sprache auf FUP, setzten die Zykluszeit auf 250 ms und bestätigen mit OK. Dies ermöglicht dem OB später eine gewisse Zeit, um die Rechnung ausführen zu können. Ansonsten könnte es passieren, dass der PID-Regler noch rechnet, zu keinem Ergebnis gekommen ist, die CPU aber schon wieder in ihrer Zykluszeit von vorne anfängt. Dieses Phänomen müssen wir hierdurch verhindern.



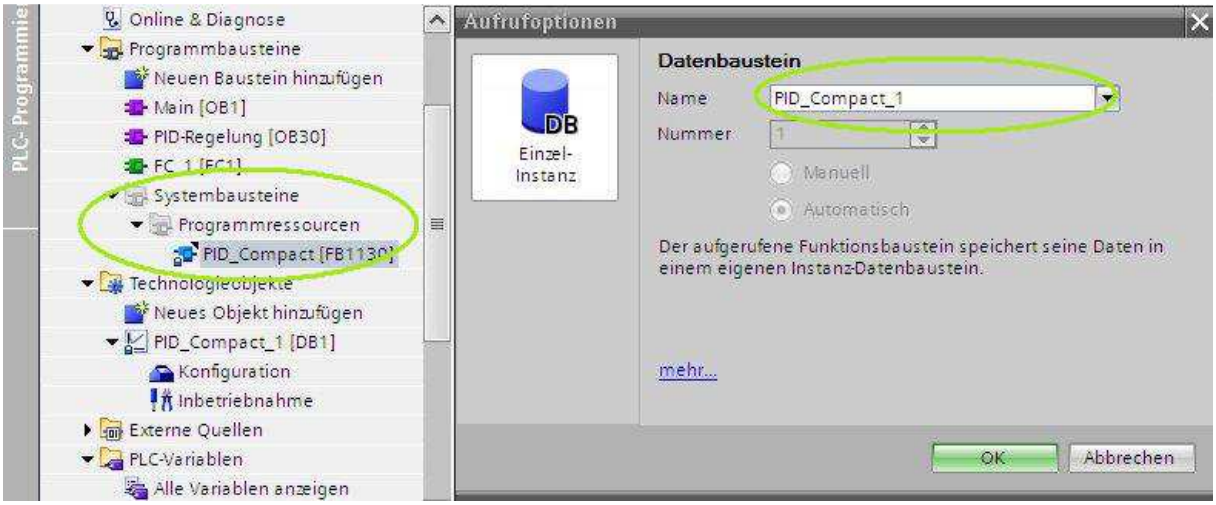

## Schritt 5:

Wir öffnen in der Projektnavigation unter der CPU den Reiter *„Technologieobjekte -> Neuen Baustein hinzufügen“*. Wir wählen *„PID-Control -> PID_Compact“* aus und belassen den Namen.

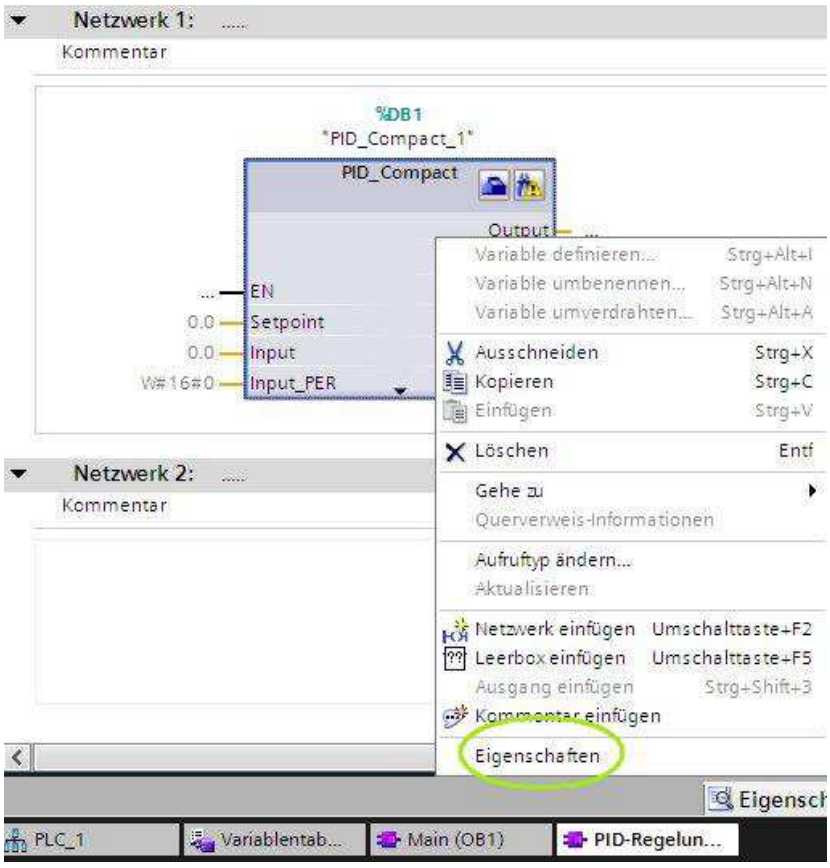


### Schritt 6:

Wir schließen das sich öffnende Fenster und öffnen den Baustein PID-Regelung [OB30]. Wir navigieren dann in der Projektnavigation unter der CPU zu „*Programmbausteine -> Systembausteine -> Programmressourcen*“ zu PID_Compact [FB1130] und ziehen diesen per Drag and Drop in das Netzwerk 1 des OB30. Wir wählen, wie unten dargestellt, in dem auftretenden Fenster als Name des Datenbausteins den vorher erstellten PID-Compact_1 aus und bestätigen mit OK.

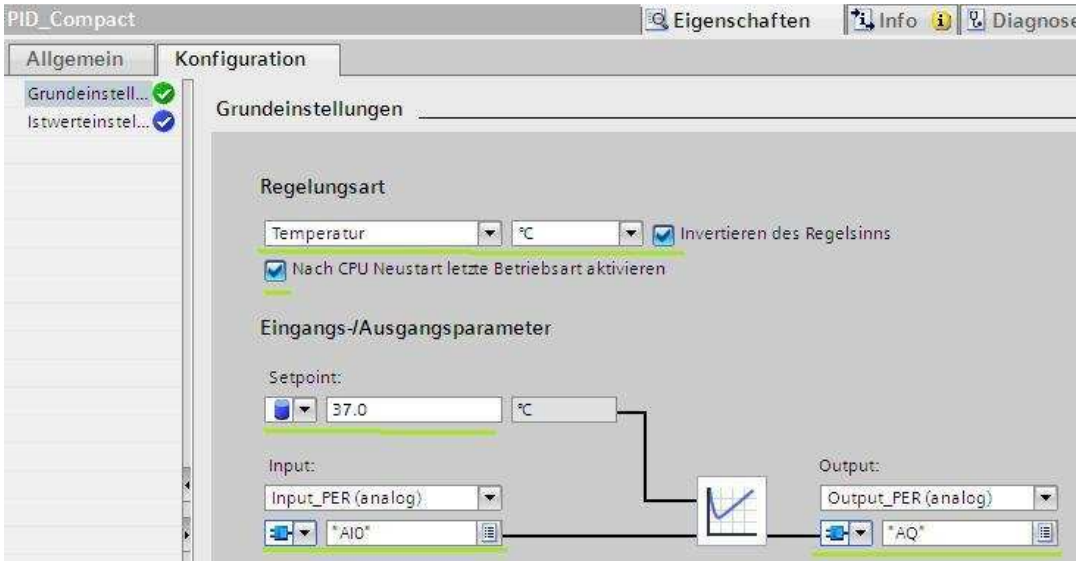



Danach klicken wir mit einem Rechtsklick auf den Baustein im Netzwerk 1 des OB30 und wählen Eigenschaften aus.

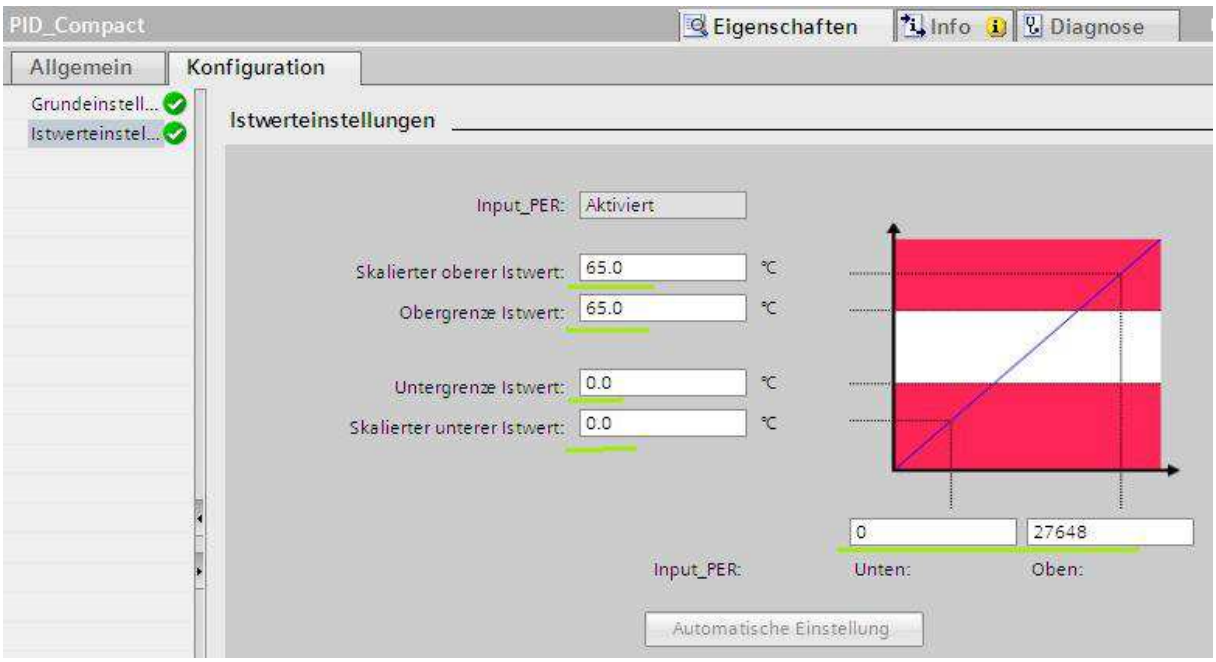


### Schritt 7:

In dem sich öffnenden Fenster konfigurieren wir die *Grundeinstellungen* wie gezeigt. Wir wählen als *Regelungsart Temperatur* in *Grad Celsius* aus und invertieren den Regelsinn, da bei uns eine höhere Kühlleistung eine niedrigere Temperatur verursacht. Unseren Sollwert („*Setpoint*“) setzen wir auf 37 C°, den Eingang („*Input*“) auf Input_PER (analog) mit unserem analogen Eingang AI0 und den Ausgang („*Output*“) auf Output_PER (analog) mit unserem analogen Ausgang AQ.




Wir klicken links auf *Istwerteinstellungen* und konfigurieren auch hier wie angezeigt. Der *obere Istwert* ist hier beides mal 65 C°, der *untere Istwert* 0 C°, weil der Messumformer diese Temperaturspanne auf 0 V bis 10 V abbildet.

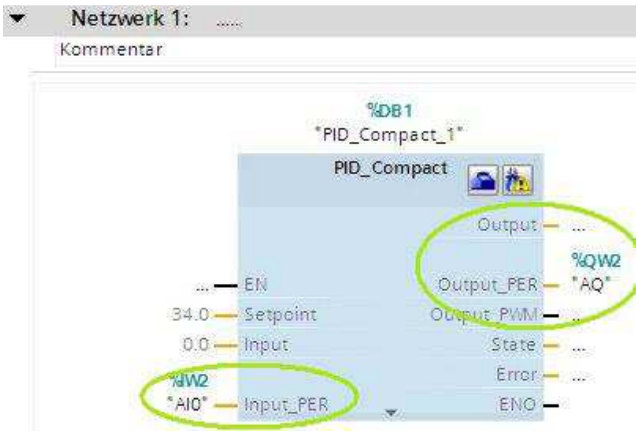



!Achtung!

Wer jetzt nochmal auf Grundeinstellungen zurückklickt, wird merken, dass der In- und Output eventuell wieder auf dem Standardwert steht. Dies ist leider so, weil das Programm eine Macke hat. Wir werden es jetzt „zwingen“ unseren richtigen Ein- und Ausgang zu verwenden.

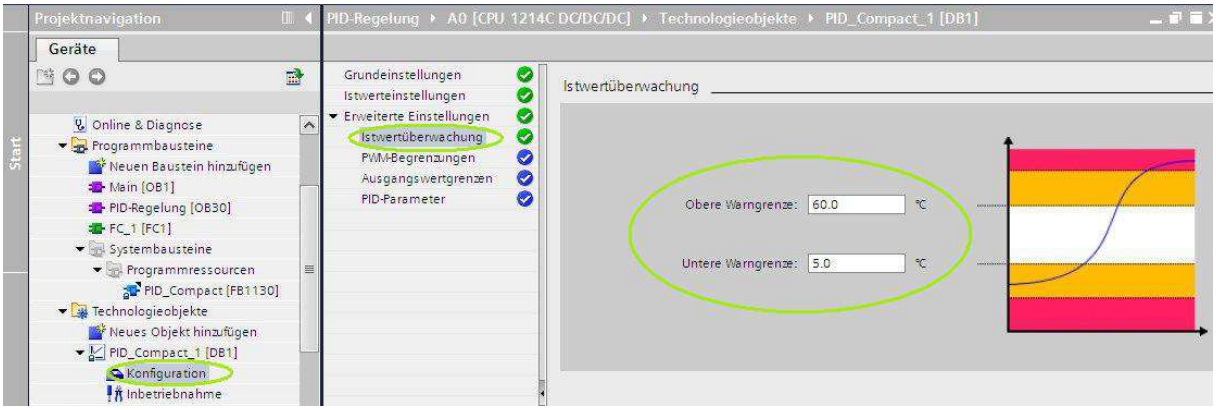
von Nils-Erik Schäfer

Dazu schließen wir das Fenster und öffnen nun nochmal den OB30 und sehen den Baustein PID_Compact_1 im Netzwerk 1. Wir tragen jetzt hier bei *Input_Per* unseren analogen Eingang AI0 ein, genauso wie bei *Output_Per* unseren Ausgang AQ.



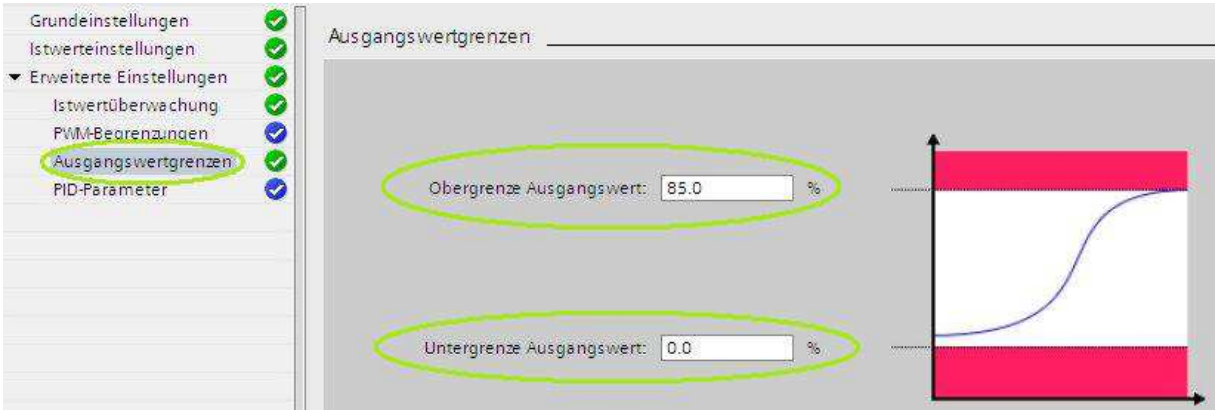

## Schritt 8:

Wir navigieren in der Projektnavigation unter der CPU zum Reiter „*Technologieobjekte -> PID_Compact_1*“ und öffnen die Konfiguration durch einen Doppelklick. Dort wechseln wir zum Reiter „*Erweiterte Einstellungen -> Istwertüberwachung*“ und tragen eine *obere Warngrenze* von 60 C° ein. Diese Temperatur ist hoch genug für den Würfel, als *untere Warngrenze* wählen wir 5 C°.



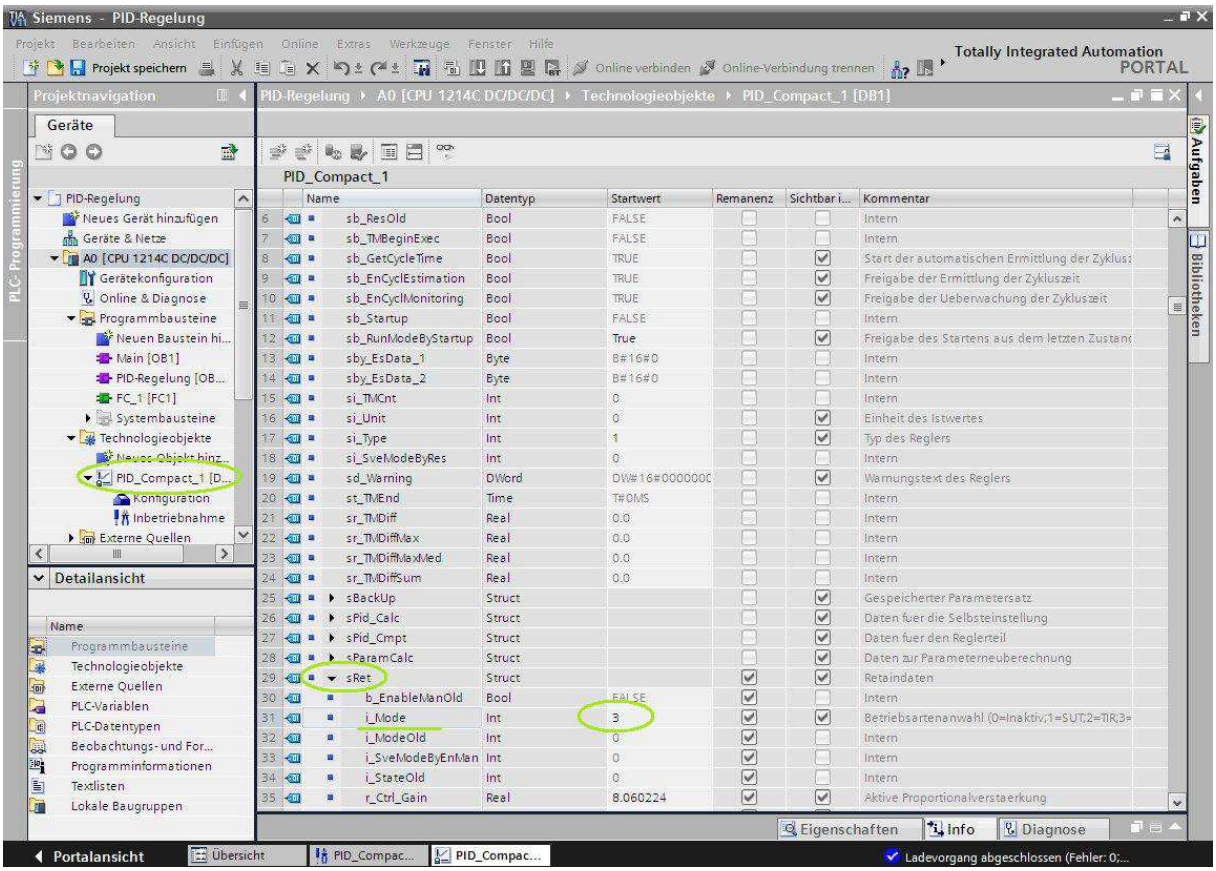
## Schritt 9:

Wir navigieren noch zum Reiter *Ausgangswertgrenzen* in der Konfiguration. Unser *Obere Ausganswert* beträgt 85 % (durch die automatische Skalierung entspricht dies später 8,5 V am Ausgang), der *untere Ausgangswert* 0 % (entspricht also 0 V). Diese Grenzen hängen mit der Ansteuerung des Transistors zusammen, wir nehmen es hier als gegeben hin (der Lüfter wird so mit voller Leistung betrieben).




## Schritt:10

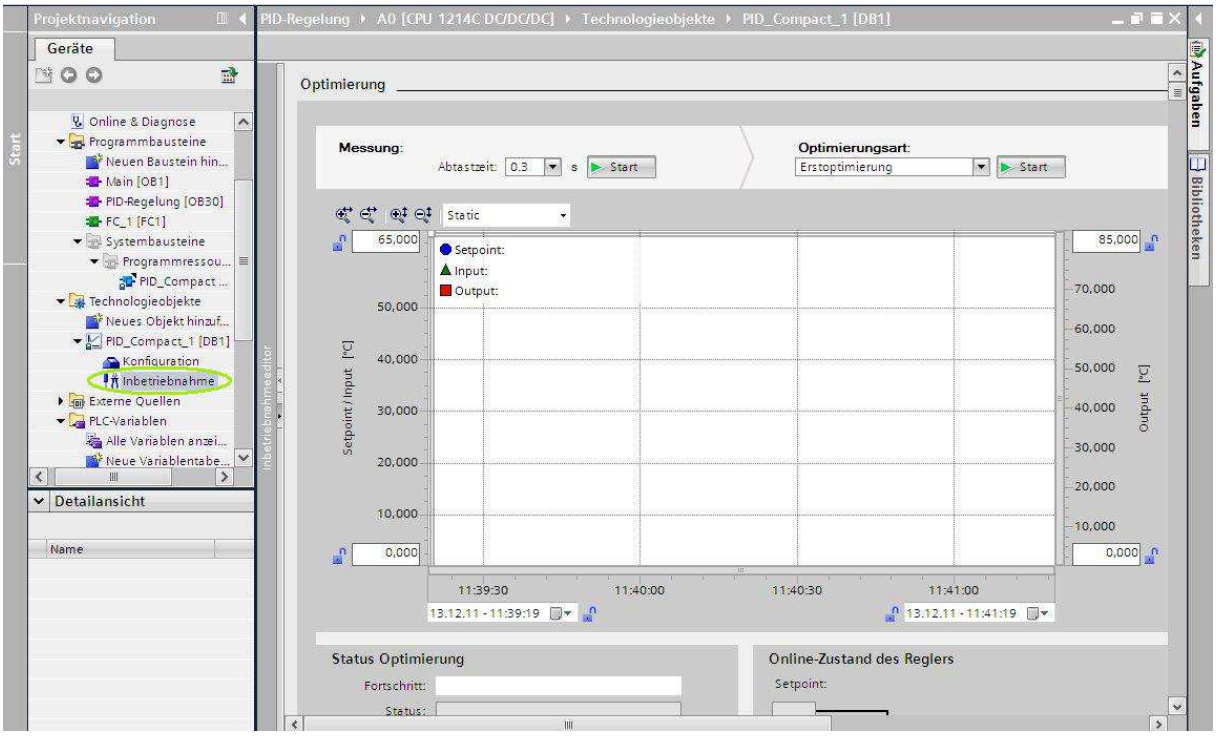
Wir schließen das Fenster der *Konfiguration* und navigieren in der Projektnavigation unter der CPU zum Reiter „*Technologieobjekte -> PID_Compact_1*“. Wir öffnen durch Rechtsklick auf den PID-Compact_1 das Menü und klicken dann auf „DB-Editor öffnen“. Wir sehen folgendes Bild:



Unter „*sRet -> i_Mode*“ setzen wir den Startwert auf 3 (Automatikmodus), damit die SPS immer sofort in diesem Modus startet.

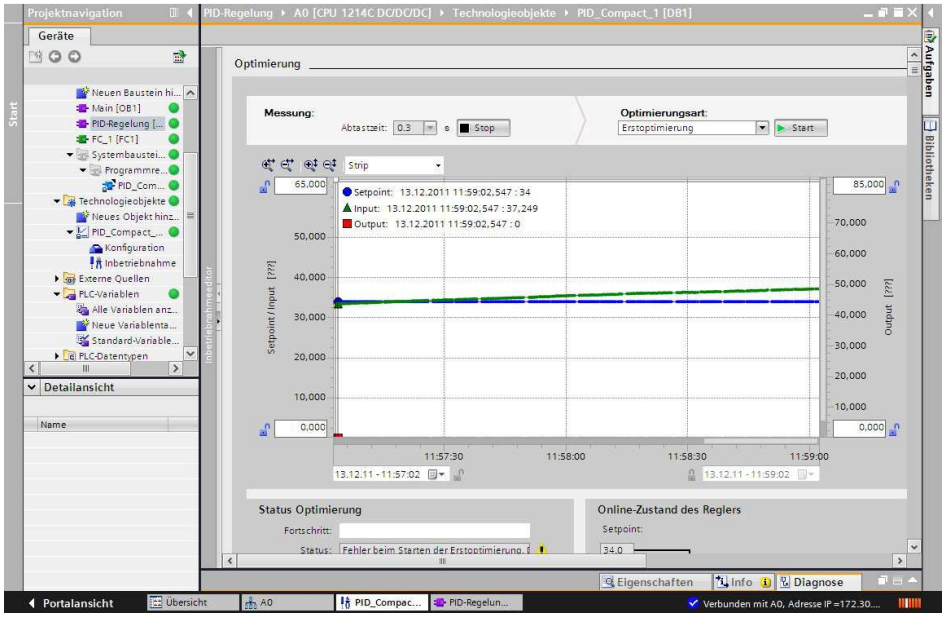
## Schritt 11:

Wir schließen das Fenster des *DB-Editors* und navigieren in der Projektnavigation unter der CPU zum Reiter „*Technologieobjekte -> PID_Compact_1*“ und öffnen die *Inbetriebnahme* durch einen Doppelklick. Wir sehen folgendes Bild:




## Schritt 12:

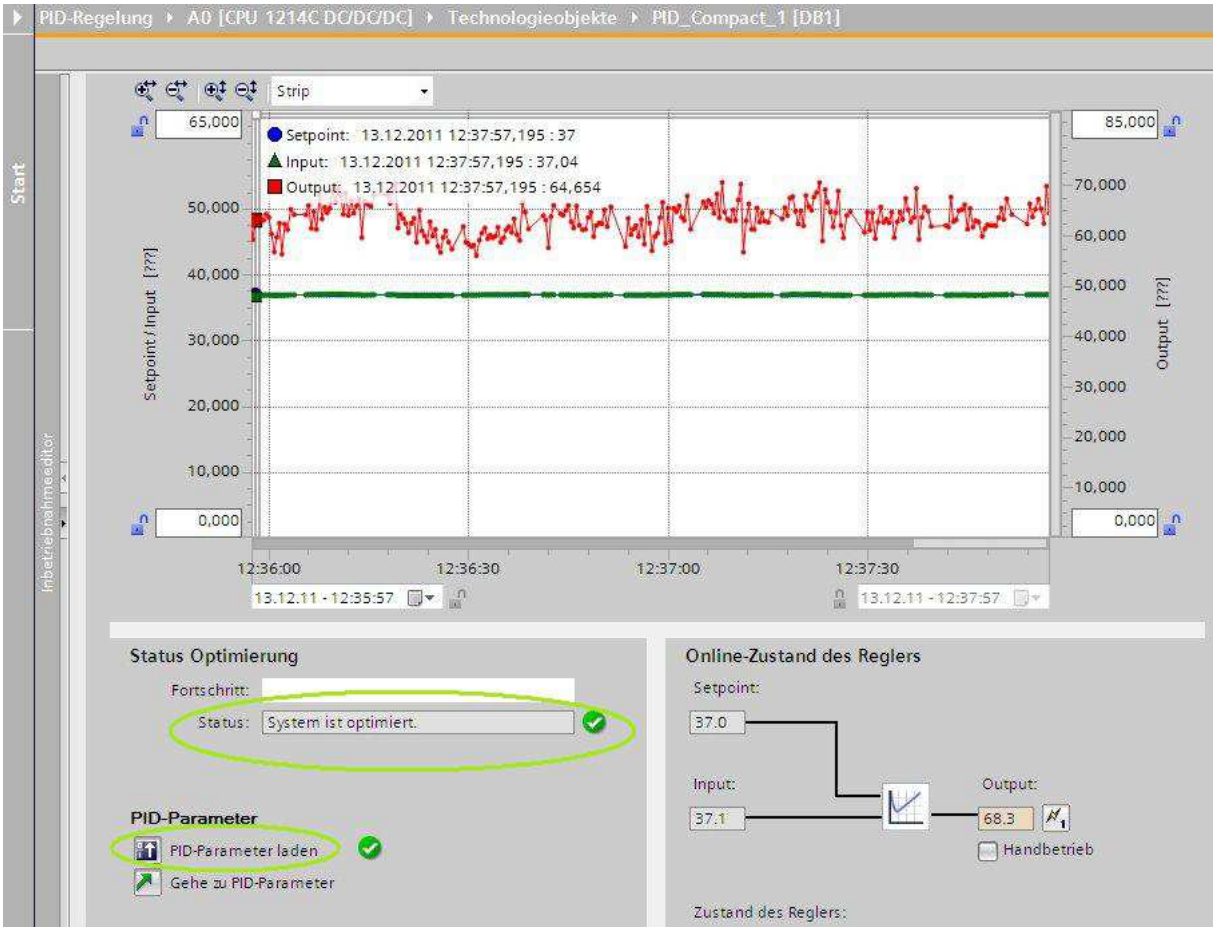
Jetzt laden wir das gesamte Projekt in die SPS und schalten danach die Lampe durch S0 ein. Wir drücken im *Inbetriebnahmefenster* bei der *Erstoptimierung* auf *Start*. Es erscheint ein Fehler, weil unsere Isttemperatur nicht 50% größer als die Solltemperatur ist. Deswegen warten wir nun bis die Isttemperatur bei ca. 47 C° angelangt ist. Wir können den Verlauf mit dem Graphen verfolgen.



### Schritt 12:

Auch beim *Online Zustand des Reglers* können wir Ist- und Solltemperatur beobachten. Bei einer Isttemperatur von ca. 47 C° wählen wir nun oben die *Optimierungsart „Nachoptimierung*“ aus und drücken auf *Start*. Wir überspringen die Erstoptimierung, da die Nachoptimierung nachher viel genauer und besser arbeitet (die Erstoptimierung ist sozusagen eine schnelle Inbetriebnahme). Der Automatikmodus fängt nun an die Regelstrecke auszutesten und berechnet sich daraus selbstständig optimale Werte für den P-, D- und I-Anteil der Regelung. Im optimalen Fall steht nach einiger Zeit im Statusfenster „System ist optimiert.“ Ansonsten wiederholen wir die Nachoptimierung.

War die Nachoptimierung erfolgreich klicken wir noch „*PID-Parameter laden*“ an, um die berechneten Werte aus der CPU in unser Projekt auf dem Rechner zu laden. Wird dies nicht gemacht, sind die P-, I- und D-Parameter nicht im Projekt gesichert!




Wir haben erfolgreich eine PID-Regelung programmiert, konfiguriert und in Betrieb genommen. Beobachten sie den Graphen, wie der Ausgang ständig an die Differenz zwischen Soll- und Istwert angepasst wird und wie genau der PID-Regler die Temperatur ausregelt. Es sind nur Differenzen von ± 0,2 C° zu beobachten.