

Ersatzbeschaffung eines PID – Kompaktreglers

Projektarbeit

an der Fachschule für Technik Mühlhausen

Fachlehrer

Herr Gerst

vorgelegt von

Rainer Kaufmann Klasse ET02/T

Heiligenstadt, den 12.05.2006

Inhaltsverzeichnis

1. Was ist ein Klimaschrank?	3
2. Historische Entwicklung	3
3. Funktionsbeschreibung der aktuellen Gerätetechnik	4
4. Elektrisches Prinzip	5
5. Bedarf einer neuen Reglergeneration	7
6. Anpassung	8
6.1 Änderungen des Schaltplanes	9
6.2 Ermittlung der neuen Reglereinstellwerte	9
6.2.1 Parameter des Temperaturreglers	9
6.2.2 Parameter des Feuchtereglers	11
6.2.3 Anpassung des Temperaturreglers mittels Autotuning	12
<i>Kurve des Programmablaufs mit PID – Werten ermittelt mit Autotuning</i>	14
6.2.4 Anpassung des Temperaturreglers anhand einer Berechnung nach Chien, Hrones und Reswick	15
<i>Kurve des Programmablaufs mit berechneten PID – Werten</i>	
6.2.5 Anpassung des Feuchtereglers	19
7. Fazit	20
Anhang 1	21
Anhang 2.....	22
Eidesstattliche Erklärung	23

1. Was ist ein Klimaschrank?

Die Firma mytron, bei der ich beschäftigt bin, ist Hersteller von Laborgeräten wie Brutschränke und Klimaschränke sowie Sondergeräten für den industriellen Einsatz wie Klimakammern und Temperiertechnik allgemein. Dabei bin ich für die elektrische Projektierung, die Endmontage, die Endkontrolle und den Kundenservice zuständig. Dadurch ist es mir möglich Einblick in den betrieblichen Ablauf zu bekommen, als auch Resonanzen aus dem Kundenkreis aufzunehmen. Mein Projekt bezieht sich speziell auf eine Geräteserie, die als Klimaschrank für Konstantklimaprüfungen dient. Diese Prüfungen sind im Laborbereich von Industrie und Forschung gleichermaßen notwendig um z. B. Lagerbedingungen für Produkte zu simulieren oder Umgebungsbedingungen für elektronische Geräte zu schaffen. Die Klimaschränke dieser Baureihe haben sich am Markt etabliert, da sie Normklima zwischen 10°C und 80 °C erzeugen können und trotzdem vergleichsweise preiswert sind.

2. Historische Entwicklung



Klimaprüfschrank mit Holzgehäuse

Klimaschränke haben in unserer Firma eine lange Geschichte. In den sechziger bis neunziger Jahren waren die Geräte anfangs mit Holz, später mit Stahlblechgehäuse und einem Innenbehälter aus eloxiertem Aluminium ausgestattet. Zur Regelung benutzte man Quecksilberkontaktther-

momometer und Haarhygrometer mit Kontakten. Damit wurden Heizung, Kühlung mit Wasser oder Sole, Befeuchtung über ein beheiztes Wasserbad und Trocknung mit Silica-Gel-Filtern gesteuert. In der Wendezeit wurde ein Nachfolgermodell entwickelt. Dieses hatte ebenfalls einen Alu-Behälter, Kühlschlange und Befeuchtung über Wasserbad. Mit einem neuen kapazitiven Feuchtesensor und Digitalanzeigen aus-



KPW1/2 mit Blechgehäuse

gestattet zeigten sich jedoch große Probleme in der Regelbarkeit. Das schnelle Ansprechverhalten des Feuchtesensors in Verbindung mit der Digitalanzeige ließen große Schwankungen erkennen, wie Zusammenbruch der Feuchte durch Kondensation an der Kühlschlange oder Überschreiten der Feuchte durch langes Nachheizen des Wasserbades.



KPK 60, KPK 35 und KPK 120

1994 erfolgte in der Mytron GmbH eine Neukonstruktion eines kleinen Klimaschranks an der ich beteiligt war. Dabei war die Grundidee eine Serie verschiedener Größen anzubieten, die unabhängig von Kühlwasser und mit kompakten Abmessungen Klimaprüfungen im Normklima erlaubten.

3. Funktionsbeschreibung der aktuellen Gerätetechnik

Das Grundkonzept des Klimaschranks war bewusst einfach und preiswert gehalten. Das führte dazu, dass für die Regelung PID - Zweipunktregler eingesetzt wurden. Dieser Reglertyp ist eigentlich nur zur Steuerung einer Heizung vorgesehen. In unserem



Zweipunktregler für Feuchte

Gerät steuert der PID - Regler die Umschaltung der Peltierelemente zwischen Heiz- und Kühlbetrieb. Ein zusätzlicher Alarmkontakt steuert eine zweite Kühleinheit bei Bedarf im Zweipunktbetrieb mit 0,3 °C Hysterese. Außerdem ist noch eine Zusatzheizung vorhanden, weil die Peltierelemente nur bis ca. 50 °C ausreichend Heizleistung liefern. Diese Heizung wird über eine Einschaltverzögerung von 13 sek. bei Bedarf größerer Heizleistung zugeschaltet.

Diese Kompromisslösung ermöglicht das Erreichen der nötigen Genauigkeit und erforderlichen Leistung des Gerätes.

Ähnlich ist auch die Klimatisierung mit dem gleichen Typ Regler ausgestattet. Dabei steuert der PID - Regler die eben angesprochene zweite Kühleinheit zur Erzeugung eines Taupunktes, der sich auf die relative Luftfeuchtigkeit auswirkt.

Das Befeuchtungssystem durfte nicht wie bei den Vorgängerbaureihen überschwingen und wurde deshalb grundlegend verändert. Es wird nun destilliertes Wasser über einen Filter in ein Magnetventil geleitet, welches durch kurzzeitiges Öffnen eine sehr geringe Wassermenge in ein Doppelmantelrohrsystem dosiert. Dieses wird von einer PTC - Heizung auf 120°C – 150 °C erhitzt. Dadurch verdampft das Wasser und entweicht in den Prüfraum, wo es die Luftfeuchtigkeit erhöht.

Die Verwendung des PTC- Heizelements ermöglicht einen einfachen Aufbau, da es seine Temperatur selbst regelt. Außerdem ist die Zuverlässigkeit sehr hoch im Gegensatz zum herkömmlichen System.

Die Befeuchtung wird über einen Alarmausgang mit Zweipunktverhalten gesteuert. Hier ist eine zusätzliche Baugruppe nötig, damit das Magnetventil sehr kurze Schaltimpulse für die genaue Dosierung des Wassers erhält.

4. Elektrisches Prinzip

Wie im bisherigen Schaltplan KPK 60 /120 (Anhang 1) sichtbar, besteht die Temperatursteuerung aus dem Kompaktregler mit einem PT100-Sensor und gesteuert von seinem PID - Regelausgang die Umpolschaltung für die Peltierelemente. Diese wiederum besteht aus zwei Printrelais mit Umschaltkontakten sowie einem Power –

MOSFET. Dieser wird von einem HEF4538 gesteuert. Der HEF4538 ist eine CMOS - Schaltung mit zwei Monoflops und bewirkt, dass bei jedem Umschaltvorgang (Heizen auf Kühlen oder umgekehrt) der Laststrom für ca. 1,5 Sekunden unterbrochen wird. Der Grund für diese etwas ungewöhnliche Umpolschaltung liegt in den Eigenschaften des Peltierelementes begründet. Es kann durch Anlegen einer Spannung Wärme von einer Seite zur anderen transportieren. Umgekehrt erzeugt es bei Abkühlung der einen und erwärmen der anderen Seite eine Spannung. Im Moment des Umpolens wird diese Spannung der jetzt angelegten Spannung hinzuaddiert. Dadurch entsteht eine sehr hohe Stromaufnahme. Wird die umgepolte Spannung erst 1,5 Sekunden später angelegt, kann zwischenzeitlich durch den Wärmestrom ein Temperaturengleich stattfinden. Dadurch wird die Stromaufnahme im Einschaltmoment auf normale Betriebswerte begrenzt. Diese Schaltungsart verhindert eine Überlastung des Netzteils und vermindert den Relaisverschleiß beträchtlich, da durch die mechanische Trägheit der Relais der Abschaltvorgang des Power - MOSFET schneller erfolgt. Die Relaiskontakte schalten also stromlos.

Die verzögerte Zuschaltung der Zusatzheizung wird durch ein Monoflop erreicht, welches aus einem NE 555 besteht und eine Einschaltverzögerungsdauer von 13 Sekunden erzeugt.

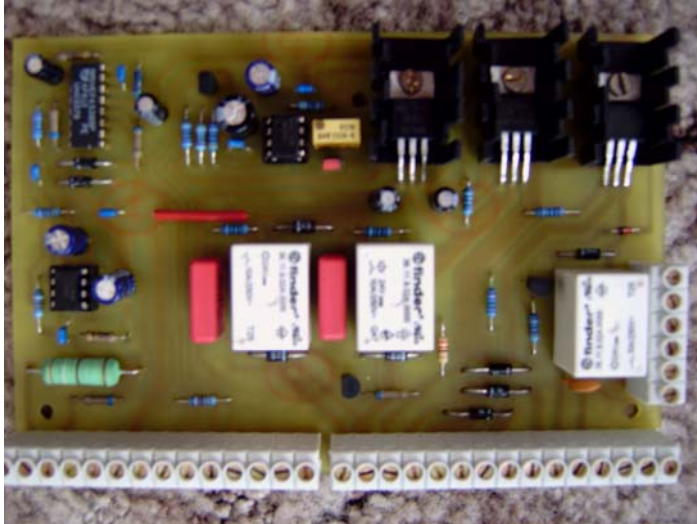
Der Alarmausgang AH (Alarm High) des Temperaturreglers steuert direkt einen zweiten Power – MOSFET. Dieser schaltet kontaktlos das 2. Peltierelement, welches ja wahlweise der Trocknung oder der Zusatzkühlung dienen kann.

Über eine ODER -Verknüpfung wirkt der PID – Regelausgang des Feuchtereglers ebenfalls auf den zweiten Power – MOSFET und dient in diesem Fall der Trocknung. Der Alarmausgang AL (Alarm Low) des Feuchtereglers steuert die schon erwähnte Steuerschaltung für das Befeuchtungsmagnetventil. Die Schaltung ist mit einem NE 555 realisiert, der als astabiler Multivibrator arbeitet und über Reset gesteuert wird. Der NE 555 steuert einen Transistor an, welcher das Magnetventil schaltet. Die Aus - Zeit der Schaltung kann mit dem 250 k Ω Einstellregler verändert werden. Er wird vor Erstinbetriebnahme auf 70 k Ω (Erfahrungswert \approx 7 Sekunden) eingestellt und kann später nachjustiert werden, um den Wasserverbrauch zu optimieren.

Der Feuchtesensor enthält einen Kondensator, dessen Dielektrikum aus einem Polymer besteht, welches hygroskopische Eigenschaften hat. Dadurch entsteht im Bereich zwischen 0 - 100 % relative Feuchte eine Kapazitätsänderung von ca. 3 %.

Diese Änderung wird durch eine Oszillatormessschaltung verstärkt, linearisiert und in

ein der relativen Feuchte proportionales Spannungssignal umgewandelt. Dabei entspricht der Bereich 0 – 100 % relative Feuchte einer Spannung von 0 – 1 Volt. Der Eingangsspannungsbereich des Feuchtereglers verarbeitet einen Signalpegel von 0 – 10 mV. Daher muss der Pegel über einen Spannungsteiler angepasst werden. Der Feuchtesensor beinhaltet ebenfalls in seiner kompakten Stabform das PT 100.



Leiterplatte KPK 60 / 120

Das Verdrahtungskonzept der Geräte ist so ausgelegt, dass eine zentrale Leiterplatte der Verbindung aller vorhandenen elektrischen Komponenten dient und gleichzeitig Relais und Elektronik darauf untergebracht sind. Im Schaltplan kennzeichnet eine punktierte Linie die Abgrenzung der Platine und die Kontaktstellen ihrer Anschlussleiste.

5. Bedarf einer neuen Reglergeneration

In der eben beschriebenen Art wurden die Geräte bis jetzt gebaut und waren nach anfänglichen Schwierigkeiten auch sehr zuverlässig. Dabei war positiv, dass im Falle eines defekten Kompaktreglers dieser vom Kunden selbst getauscht werden konnte. Im letzten Jahr wurde vom Reglerhersteller das Nachfolgemodell angekündigt. Dieses war wegen Sicherheitsfragen und Spritzwasserschutz nicht mehr ohne Werkzeug zu tauschen. Daher unternahm ich die Suche nach anderen Kompaktreglern. Es galt abzuwägen ein vergleichbares Gerät mit ähnlicher Ausstattung und hoher Zuverlässigkeit sowie passendem Design zu finden. Der Preis spielte ebenfalls eine entscheidende Rolle. Da die Rohstoff- und Energiepreise ständig steigen, der bisherige Reglerhersteller ebenfalls kontinuierliche Preiserhöhungen vornahm und demgegenüber der Kundenanspruch nach preiswerten Geräten stand, sollte der neue Regler möglichst günstiger sein. Ich holte bei den namhaften Reglerherstellern Angebote ein, forderte Muster an und verglich alles miteinander.

Auf der Hannovermesse lernte ich dann den Hersteller EMKO kennen und forderte ebenfalls Angebot und Muster an. EMKO stellt einen gleichwertigen Kompaktregler zu sehr günstigen Konditionen her. Außerdem hat die Firma einen Kompaktregler im

Programm, der ein echter PID - Dreipunktregler mit Leistungssteuerung und Zyklussteuerung zur Anpassung von Wasserdosierung und Schaltheufigkeit (Relaisverschleiß) aufweist. Außerdem hat er eine Programmfunktion und PC-Schnittstelle. Diese Leistungsfähigkeit entspricht der eines vergleichsweise sehr viel teureren Konkurrenzmodells. Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass die Austauschbarkeit,



Dreipunktprozessregler

welche ja Auslöser der Überarbeitung war, bei diesem Modell ebenfalls schwieriger als beim Vorgängergerät ist. Durch günstige Verhandlungen konnte ich ein Preisangebot für diesen Regler erzielen, welches deutlich unter dem bisherigen Reglertyp lag. Damit wurde es nötig den Klimaschrank komplett zu überarbeiten um die Vorzüge dieses Reglers für den Kunden und unsere Firma nutzbar zu machen.

6. Anpassung

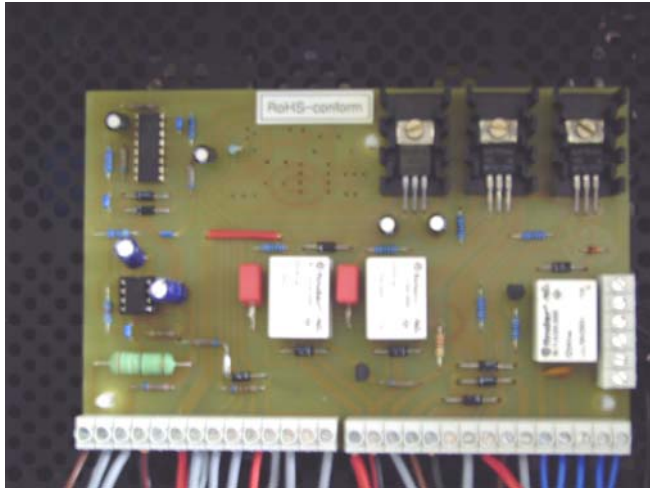
Da die Klimaschränke in der bisherigen Weise schon mehr als 10 Jahre gebaut werden, ist man sich in unserer Firma einig, dass auf längere Sicht das Design dieser Serie grundlegend überarbeitet werden muss. Das betrifft das äußere Erscheinungsbild, welches zwar funktionell aber nicht sehr gefällig wirkt. Ebenfalls Verbesserungen sind auf konstruktiver Ebene geplant, wie besseres Isolationsvermögen der Innenbehälteraufhängung im Außengehäuse und gleichzeitig bessere Montierbarkeit der Einzelteile. Für diese Ideen sind schon Prototypen konstruiert worden, deren Entwicklungsstand jedoch noch nicht der Serienreife entspricht.

Daher werden die neuen Kompaktregler in die konventionellen Geräte mit möglichst geringen Änderungen integriert. Das ermöglicht es auch mit den neuen Reglern Erfahrungen zu machen, die dann ebenfalls in die geplante neue Generation einfließen können.

Die Anpassung bezieht sich also auf die Überarbeitung der Bedienungsanleitung, die Änderung des Schaltplanes und die Erprobung und Ermittlung der optimalen Reglereinstellwerte. Die Überarbeitung der Bedienungsanleitung wurde durch einen Kollegen durchgeführt und beschränkt sich auf die Veränderung der Sollwerteinstellung und eine Beschreibung der Reglerfront.

6.1 Änderungen des Schaltplanes

Durch die Möglichkeiten des EMKO – Reglers vereinfacht sich die Anschaltung des Feuchtesensors. Sein weiter Eingangsspannungsbereich (gewählt 0 – 5Volt) erlaubt die direkte Verbindung ohne Spannungsteiler. Ebenso entfällt eine Verdrahtung der



KPK Platine mit vereinfachter Bestückung

Spannungsversorgung des Feuchtesensors von der Leiterplatte aus. Der EMKO – Regler stellt am Anschluss 4 eine Spannung von 12 Volt bereit, die auf die Messeingangsmasse bezogen und mit 40 mA belastbar ist. Da der Feuchtesensor nur 4 mA benötigt und sein Betriebsspannungsbereich zwischen 5 und 24 Volt liegt, wird der Einfachheit halber diese

Spannung zur Versorgung des Sensors benutzt. Auf der Platine kann die Ansteuerung des Befeuchtungsmagnetventils komplett entfallen. Nur ein Schutzwiderstand von 10 Ω wird bestückt, der den Kontaktverschleiß im EMKO – Regler entgegenwirkt und dem Magnetventil masseseitig einen entsprechenden Anschlusspunkt bietet. Siehe auch Anhang 2.

6.2 Ermittlung der neuen Reglereinstellwerte

Im Folgenden möchte ich die von mir gewählten Parameter des EMKO – Reglers vorstellen und bei Bedarf kommentieren. Sie sind in der Reihenfolge aufgelistet, wie sie im Konfigurationsmenü stehen. Parameter die nicht geändert werden müssen, oder für die Regelaufgabe nicht relevant sind, wurden ausgelassen. Die PID – Parameter wurden von den zuvor eingesetzten Kompaktreglern übernommen.

6.2.1 Parameter des Temperaturreglers

PinP/ConF Parametrierung des Eingangs:

- iSSL/1 Temperaturmessung mit Widerstandsthermometer
- rtdS/1 Sensor ist ein PT100/ Anzeige mit einer Kommastelle
- unit/°C Einheit Celsius

LoL/0	Temperaturmessbereichsanfang
uPL/100	Temperaturmessbereichsende <i>Über- bzw. Unterschreitung führt zur Anzeige Fühlerbruch. Alle Ausgänge werden inaktiv. Der eingegrenzte Bereich ist der Bezug des Proportionalbereiches.</i>
PvoF/0	Sensorkorrektur für Kalibrierung
iFiLt/2,0	Zeitkonstante des Eingangsfilters <i>Der Filter vermindert Störungen die z. B. durch Wasserdampfstöße verursacht werden und den Regler sonst zum Schwingen bringen.</i>
Pid/ConF	PID Parametereinstellung:
P-Ht/2,0	Proportionalbereich des Heizungsreglers in %
i-Ht/500	Integralzeit des Heizungsreglers in Sekunden
d-Ht/150	Vorhaltezeit des Heizungsreglers in Sekunden
Ct-Ht/20	Zykluszeit des Heizungsreglers in Sekunden <i>Optimum in Verbindung mit 13 Sekunden Einschaltverzögerung der Zusatzheizung. So arbeitet diese erst über ca. 45 °C mit. Ständiges mitheizen im Heizzyklus würde dazu führen, dass die Oberflächentemperatur des Peltierelementes viel niedriger als die Schranktemperatur wird. Das hätte eine Taupunktunterschreitung zur Folge und würde das Erreichen einer hohen Luftfeuchtigkeit verhindern.</i>
oLLH/0,0	untere Begrenzung der Ausgangsleistung in %
ouLH/100,0	obere Begrenzung der Ausgangsleistung in %
oLth/1,0	minimale Einschaltdauer des Heizungsausgangs <i>Verhindert unnötigen Relaisverschleiß.</i>
P-CL/2,0	Proportionalbereich des Kühlreglers in %
i-CL/500	Integralzeit des Kühlreglers in Sekunden
d-CL/150	Vorhaltezeit des Kühlreglers in Sekunden <i>Solange die Heiz- und Kühlleistung ähnlich sind, werden gleiche PID - Parameter eingesetzt.</i>
Ct-C/50	Zykluszeit des Kühlreglers in Sekunden <i>Die große thermische Masse des Kühlkörpers der Peltierelemente lässt diese große Zeit zur Schonung der Relaiskontakte zu. Dabei ändert sich die Kühlkörpertemperatur weniger als 0,2 °C.</i>
oLLC/0,0	untere Begrenzung der Ausgangsleistung in %

ouLC/100,0 obere Begrenzung der Ausgangsleistung in %
oLtC5,0 minimale Einschaltdauer des Heizungsausgangs

ioP1/ConF Konfiguration des ersten Modulsteckplatzes

out1/cool Relaisausgang mit Kühlfunktion

Con1/Pid Regelcharakteristik PID- Verhalten

Der zweite Modulsteckplatz ist in dieser Konfiguration nicht belegt.

out3/ConF Konfiguration des fest eingebauten Relais

out3/HEAt Relaisausgang mit Heizfunktion

Con3/Pid Regelcharakteristik PID- Verhalten

Genn/ConF Konfiguration der Sollwertgrenzen

SU-L/0,0 untere Sollwertgrenze 0 °C

SU-u/80,0 obere Sollwertgrenze 80 °C

Begrenzt die Eingabe des Sollwertes auf den zulässigen Betrag.

6.2.2 Parameter des Feuchtereglers

PinP/ConF Parametrierung des Eingangs:

iSSL/2 Eingangssignal Spannung

uASL/1 Eingangsspannungsbereich 0 – 5 V

dPnt/1 eine Kommastelle

uCAL/1 Möglichkeit Zweipunktkalibrierung

TpoL/0 Zweipunktkalibrierung Nullpunkt

TpoH/500 Zweipunktkalibrierung Endwert

LoL/0 Messbereichsanfang

LoH/500 Messbereichsende

500 bewirkt bei Eingangsspannungsbereich 0 – 5 V, das die Anzeige bei 1 V auf 100,0 % geht. Die Auflösung AD – Wandler ist dabei völlig ausreichend.

Pid/ConF PID Parametereinstellung:

P-Ht/5,0 Proportionalbereich des Heizungsreglers in %

i-Ht/1000 Integralzeit des Heizungsreglers in Sekunden

d-Ht/25 Vorhaltezeit des Heizungsreglers in Sekunden

Ct-Ht/7 Zykluszeit des Heizungsreglers in Sekunden

Entspricht der Auszeit des Befeuchtungsmagnetventils.

oLLH/0,0 untere Begrenzung der Ausgangsleistung in %

ouLH/0,5	obere Begrenzung der Ausgangsleistung in % <i>Erzeugt eine Einzeit des Befeuchtungsmagnetventils von ca. 0,4 sek. Dieser Wert kann zur Optimierung des Wasserverbrauches verändert werden.</i>
oLH/0	minimale Einschaltdauer des Heizungsausgangs
P-CL/5,0	Proportionalbereich des Kühlreglers in %
i-CL/1000	Integralzeit des Kühlreglers in Sekunden
d-CL/25	Vorhaltezeit des Kühlreglers in Sekunden
Ct-C/50	Zykluszeit des Kühlreglers in Sekunden
oLLC/0,0	untere Begrenzung der Ausgangsleistung in %
ouLC/100,0	obere Begrenzung der Ausgangsleistung in %
oLTC5,0	minimale Einschaltdauer des Heizungsausgangs <i>Der Trocknungsregler steuert mit den selben Steuerzeiten des Kühlreglers (gleicher Aktor).</i>
ioP1/ConF	Konfiguration des ersten Modulsteckplatzes
out1/cool	Relaisausgang mit Kühlfunktion
Con1/Pid	Regelcharakteristik PID- Verhalten <i>Der zweite Modulsteckplatz ist in dieser Konfiguration nicht belegt.</i>
out3/ConF	Konfiguration des fest eingebauten Relais
out3/HEAt	Relaisausgang mit Heizfunktion
Con3/Pid	Regelcharakteristik PID- Verhalten
Genn/ConF	Konfiguration der Sollwertgrenzen
SV-L/0,0	untere Sollwertgrenze 0 % relative Feuchte
SV-u/98,0	obere Sollwertgrenze 98 % relative Feuchte

6.2.3 Anpassung des Temperaturreglers mittels Autotuning

Die Schwierigkeit der Anpassung liegt in der Regelaufgabe. Eine „normale“ elektrische Heizung hat eine konstante Heizleistung über einen weiten Temperaturbereich hinweg. Die Heiz- bzw. Kühlleistung eines Peltierelementes ist dagegen sehr stark von den Temperaturverhältnissen abhängig. Die ersten Versuche mit den PID – Werten der früheren Regler ergaben große Überschwinger und lange Einschwingzeiten. Daher verfolgte ich als erste Optimierungsmethode die Nutzung der Autotuningfunktion. Diese ist bei jeder Reglertypen auf die speziellen Eigenschaften abgestimmt. Die

Prozedur wird bei niedriger, mittlerer und hoher Temperatur durchgeführt. Die sich ergebenden PID – Werte werden gemittelt und in den Regler eingegeben. Auf diese Weise sind folgende Werte entstanden:

	P	I	D
Temperatur	4,5	700	115

Dann benutzte ich die Programmfunktion um einen Versuch mit mehreren Temperaturen aufzunehmen. Folgendes Programm wurde gewählt:

20 ° C	10 ° C	20 ° C	30 ° C	50 ° C	80 ° C	20 ° C
2 h	2 h	1 h	1 h	1 h	2,5 h	6,5 h

Auf die Menüstruktur übertragen ergibt sich folgende Programmierung:

rSTY/2 Schritte 1 – 8 in einem Programm verwenden

PV-1/ 20,0 Zielsollwert des Programmschrittes 1

tr-1/0,00 Zeit der Rampe vom letzten Sollwert zum Zielsollwert. Format: hh,mm

ts-1/2,00 Haltezeit des Zielsollwertes

PV-2/ 10,0

PV-4/ 30,0

PV-6/ 80,0

PV-8/ 20,0

tr-2/0,00

tr-4/0,00

tr-6/0,00

tr-8/0,00

ts-2/2,00

ts-4/1,00

ts-6/2,30

ts-8/2,00

PV-3/ 20,0

PV-5/ 50,0

PV-7/ 20,0

tr-3/0,00

tr-5/0,00

tr-7/0,00

ts-3/1,00

ts-5/1,00

ts-7/4,30

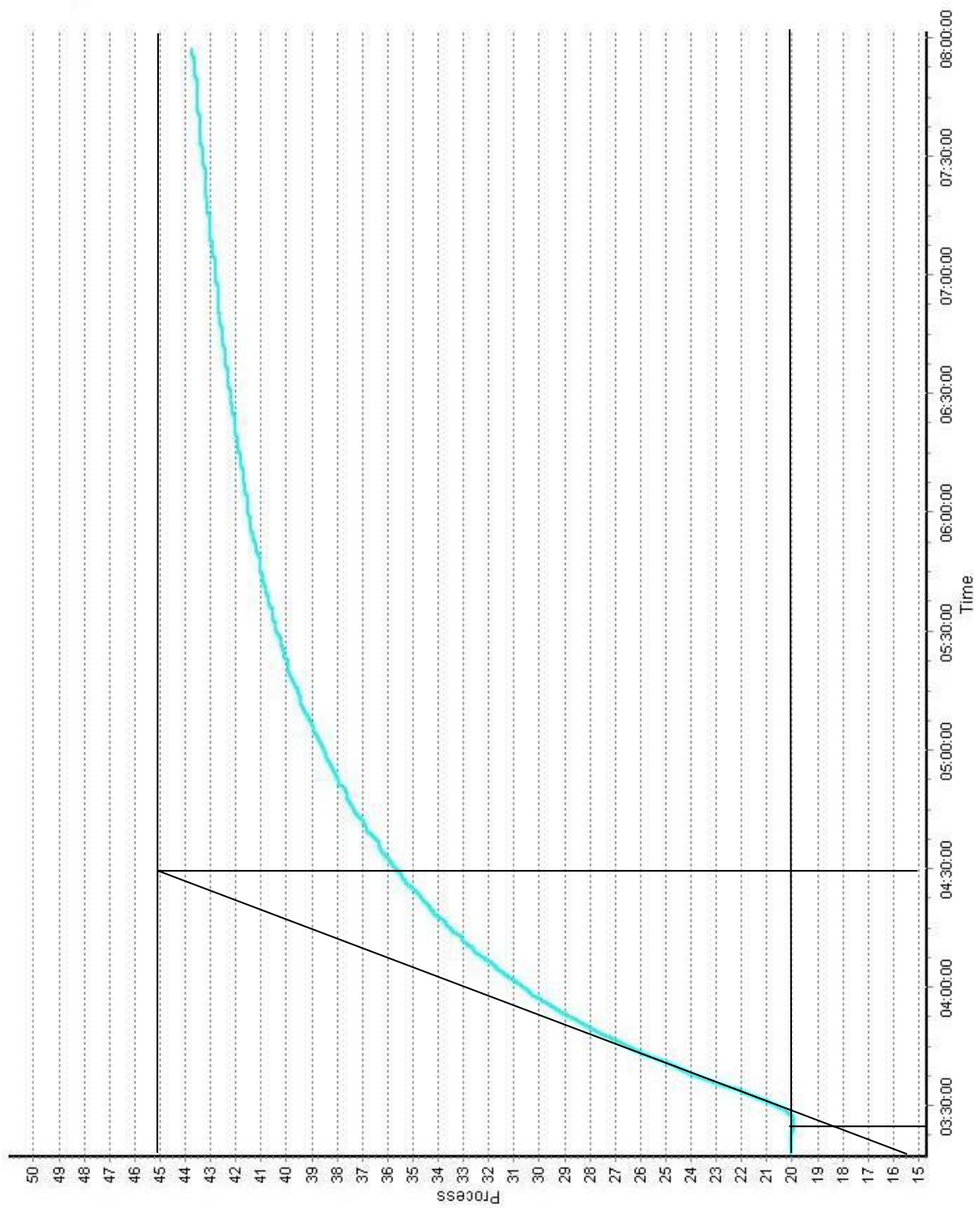


Kurve des Programmablaufs mit PID – Werten ermittelt mit Autotuning

Auf der letzten Seite ist die Kurve des Programmablaufs mit den ermittelten PID – Werten zu sehen. Dabei kann festgestellt werden, dass ein gleichmäßiges Überschwingen bei fast allen Temperaturen eintritt. Außer bei 10 °C und 80 °C sind die Überschwinger durchweg kleiner als 1 K. Die lange Einschwingzeit bei 80 °C und sichtbaren bleibenden Regelschwankungen fallen negativ auf. Trotzdem ein brauchbares Ergebnis.

6.2.4 Anpassung des Temperaturreglers anhand einer Berechnung nach Chien, Hrones und Reswick

Um die Werte t_u und t_g zu ermitteln, habe ich einen Aufheizversuch mit 50 % Heizleistung und einer Kennlinienaufzeichnung gestartet. Dazu verwendete ich die PC-Schnittstelle und die Aufzeichnungssoftware von EMKO. 50 % Heizleistung bedeutet in diesem Fall eine manuelle Steuerung des Heizausgangs auf 70 %. Dieser Wert errechnet sich aus der Grundlast von 20 % Ausgangsleistung, die sich als Gleichgewicht von Raumtemperatur und Prüfraumtemperatur im automatischen Regelbetrieb einstellt und der Addition von 50 %.



50% -Versuch zur Ermittlung t_u / t_g

aus Grafik ermittelt

$t_u = 3,5$ mm entspricht 268 Sek.

$t_g = 47$ mm entspricht 3600 Sek.

$$G = \frac{t_g}{t_u} = \frac{47\text{mm}}{3,5\text{mm}} = 13,4$$

Gütefaktor größer als 10 und damit sehr gut regelbar.

$$K_s \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{25\text{K}}{50\%} = 0,5$$

$$K_p = \frac{0,95 * t_g}{K_s * t_u} = \frac{0,95 * 3600\text{s}}{0,5 * 268\text{s}} = 25,5$$

$$x_p\% = \frac{100}{K_p} = \frac{100}{25,5} = 3,92\%$$

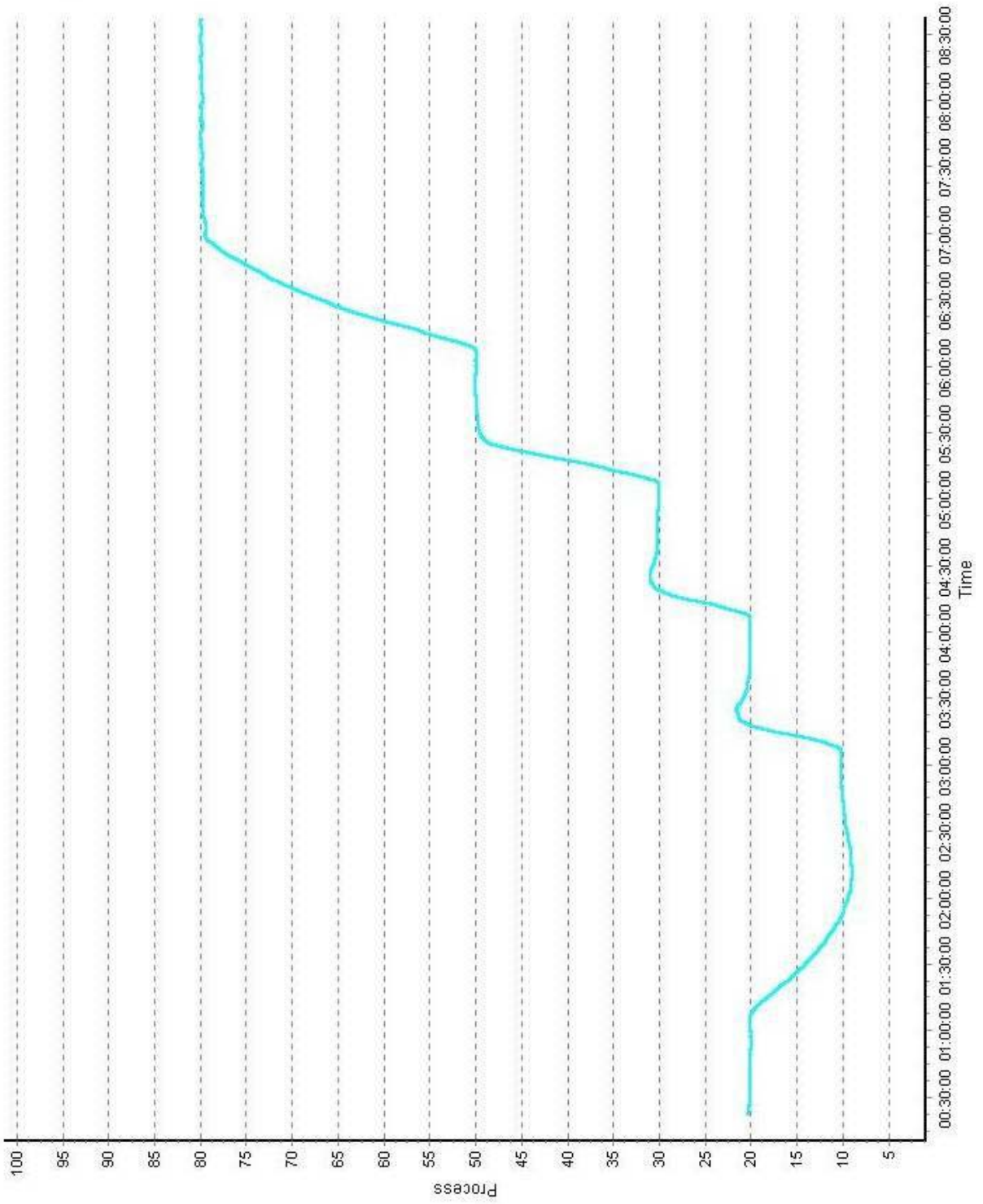
$$t_n = 2,4 * t_u = 2,4 * 268\text{s} = 643,2\text{s}$$

$$t_v = 0,42 * t_u = 0,42 * 268\text{s} = 112,56\text{s}$$

gerundete Einstellwerte für den Temperaturregler:

	P	I	D
Temperatur	3,9	643 s	113 s

Mit diesen Werten wurde mit dem selben Programmablauf wie unter 6.2.3 ein Versuch gefahren. Das Ergebnis folgt auf der nächsten Seite.



Kurve des Programmablaufs mit berechneten PID - Werten

6.2.5 Anpassung des Feuchtereglers

Die Optimierung des Feuchtereglers erfolgte durch ausprobieren. Der Grund hierfür liegt in der Komplexität der Regelcharakteristik und der Querverbeeinflussung durch den Temperaturregler. Die wichtigste Voraussetzung für eine gute Regelbarkeit der Feuchte ist eine sehr konstante Temperatur. Denn eine kleine Temperaturänderung erzeugt in einem abgeschlossenen Luftvolumen eine vergleichsweise hohe Änderung der relativen Luftfeuchtigkeit.

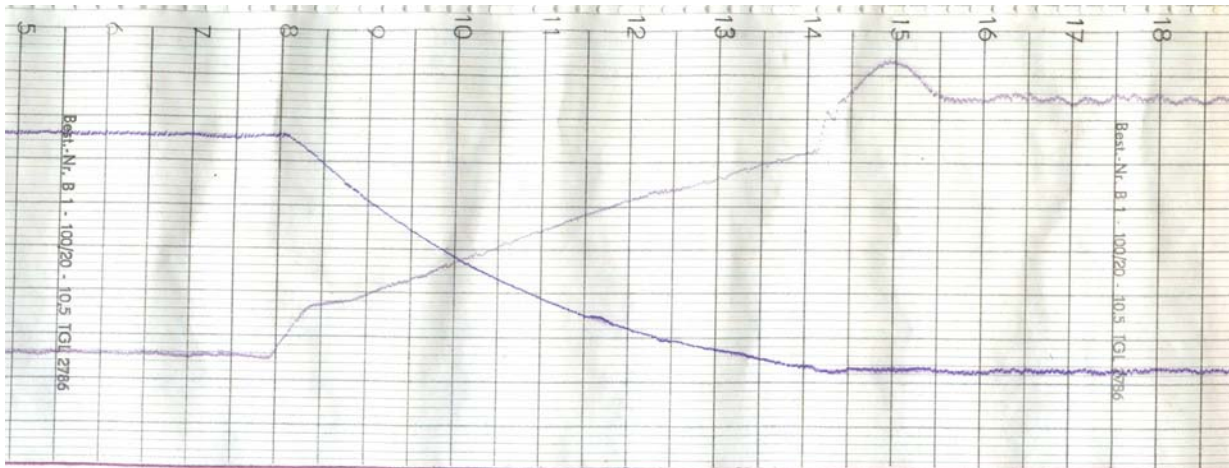
Die Reihenfolge des Ausprobierens beginnt ebenfalls mit einem Autotuning –Versuch bei verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten. Kritisch sind erfahrungsgemäß tiefe Temperaturen und Luftfeuchtigkeitswerte zwischen 50 % und 80 %. Dann erfolgt eine Anpassung der unterschiedlichen Eigenschaften der Befeuchtungseinrichtung (schnelle Reaktionszeit, hohe Gefahr von Überschwingen durch Ähnlichkeit mit einer Regelstrecke ohne Ausgleich) und der Entfeuchtung (sehr langsame Reaktionszeit durch hohe thermische Masse, großer Einfluss auf Temperatursteuerung, Entfeuchtungsleistung relativ gering). Auf Grund dieser Eigenschaften wird nun mit Erfahrung und Gefühl eine Anpassung der ermittelten Werte vorgenommen. Das Ergebnis sind folgende Werte:

	P	I	D
befeuchten	2	130	20
entfeuchten	3	1300	20

Mit diesen Werten wurde die Regelgenauigkeit bei allen relevanten Standardanwendungen des Klimaschranks mit den Spezifikationen verglichen. Dabei war die zeitliche Abweichung, die +/-2,5% Toleranz nicht überschreiten darf, durchweg besser als bei einem Gerät mit herkömmlichen Zweipunktreglern.

7. Fazit

Nach den Tests des neuen Reglers ist eine allgemeine Verbesserung der Regelcharakteristik bei Temperatur und Feuchtigkeit eingetreten. Dadurch konnten schwierig erreichbare Werte sicher geregelt werden. Zum Vergleich noch einmal ein Schreibstreifen eines Klimaschranks mit Zweipunktreglern.



Abkühlkurve von 80 °C / 30 % rF auf 23 °C / 85 % rF (mit Zweipunktregler)

Die Regeleigenschaften der durch Autotuning ermittelten Werte, konnten schon überzeugen. Die Regeleigenschaften der durch Berechnung nach Chien, Hrones und Reswick ermittelten Werte hatten zwar größeres Überschwingen zur Folge, kürzten aber andererseits die Einschwingzeit besonders bei hohen Temperaturen. Durch die höhere Temperaturkonstanz konnte auch die Feuchteregulierung an Qualität gewinnen. Daher werden diese Werte favorisiert.

Die Programmfunktion muss nun noch für den Kunden als Anwendungsmöglichkeit in der Bedienungsanleitung erschlossen werden.

Die Software zur Konfiguration erleichtert bei der Serienfertigung die umfangreiche Programmierung.

Die Aufzeichnungssoftware kann in der derzeitigen Version jedoch nicht überzeugen. Daher werden wir sie auch nicht unseren Kunden anbieten. Es sind jedoch Bemühungen der Firma EMKO vorhanden auf unsere Wünsche einzugehen und die Software nachzubessern. Auch eine Zweipunktkalibrierbarkeit des Temperaturreglers ist derzeit nicht möglich – soll aber noch folgen.

Verglichen mit der Aufgabenstellung zeichnet sich ab, dass die positiven Eigenschaften, der höhere Gebrauchswert und der günstigere Preis einen Einsatz in unseren Geräten einen deutlichen Vorteil bringt.

Anhang 1

Anhang 2

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe.

Heiligenstadt, 12.05.2006

Rainer Kaufmann