

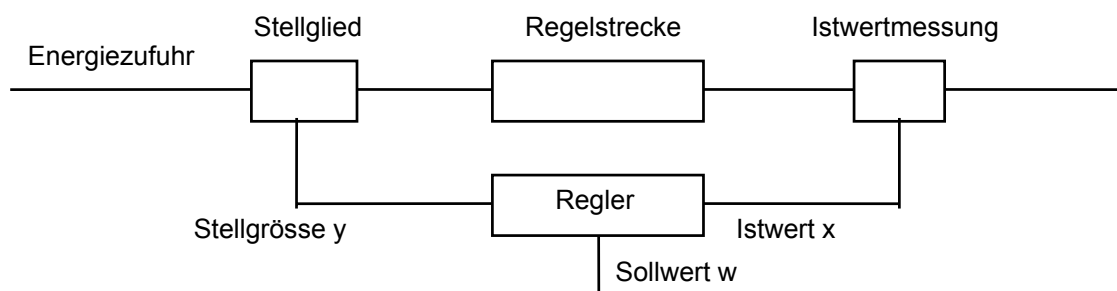
Praktische Regeltheorie

1. EINLEITUNG.....	2
2. ZWEIPUNKT-REGLER.....	2
3. DREIPUNKT-REGLER.....	7
4. STETIGE REGLER.....	7
5. REGELPARAMETER.....	7
6. KASKADEN-REGLER.....	9
7. TEMPERATURPROGRAMME.....	10
8. SICHERHEIT.....	11

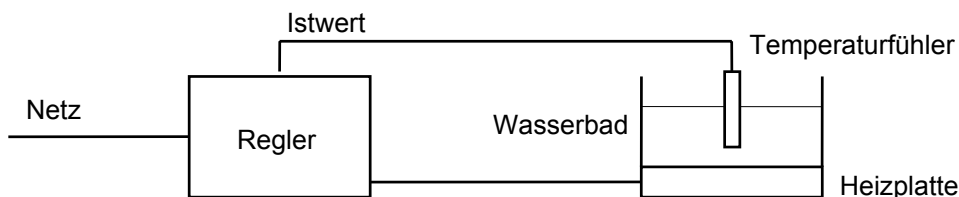
1. Einleitung

Unter Regeln versteht man das Heranführen einer Grösse an einen gegebenen Wert. Die Grösse, die auf einen bestimmten Wert gebracht werden soll, ist in unserem Fall die Temperatur eines Körpers, meistens der Inhalt eines Behälters. Der vorgegebene Wert kann, über die Zeit gesehen, konstant oder variabel sein. Die Regelung geschieht dadurch, dass die Energiezu- oder -abfuhr entsprechend der Abweichung zwischen der vorgegebenen Temperatur, dem Sollwert, und der gemessenen Temperatur, dem Istwert, gesteuert wird. Daraus geht hervor, dass zu einer Regelung immer das Messen von mindestens einer Grösse und die Möglichkeit, eine andere Grösse zu steuern, gehört.

Schema einer Regelung:



Beispiel einer Regelung:



Bezeichnungen in der Regelungstechnik:

Vorgegebener Wert:	Sollwert oder Führungsgrösse
geregelter Wert:	Istwert oder Regelgrösse
Reglerausgang:	Stellgrösse
Steuerorgan:	Stellglied
geregelter Körper:	Regelstrecke

Reglerstruktur: Sie ist gegeben durch die Art und durch die Wirkungsweise des Stellgliedes auf die Regelstrecke und durch die Anordnung der Istwertmessung.

Beispiele: 2-Punkt-Regler, 3-Punkt-Regler, stetiger Regler, Kaskadenregler, Mehrzonen-Regler

Regelverhalten: Die Art, wie der Regler aus den ihm zufließenden Informationen (hauptsächlich Soll- und Istwert), das Stellglied ansteuert.

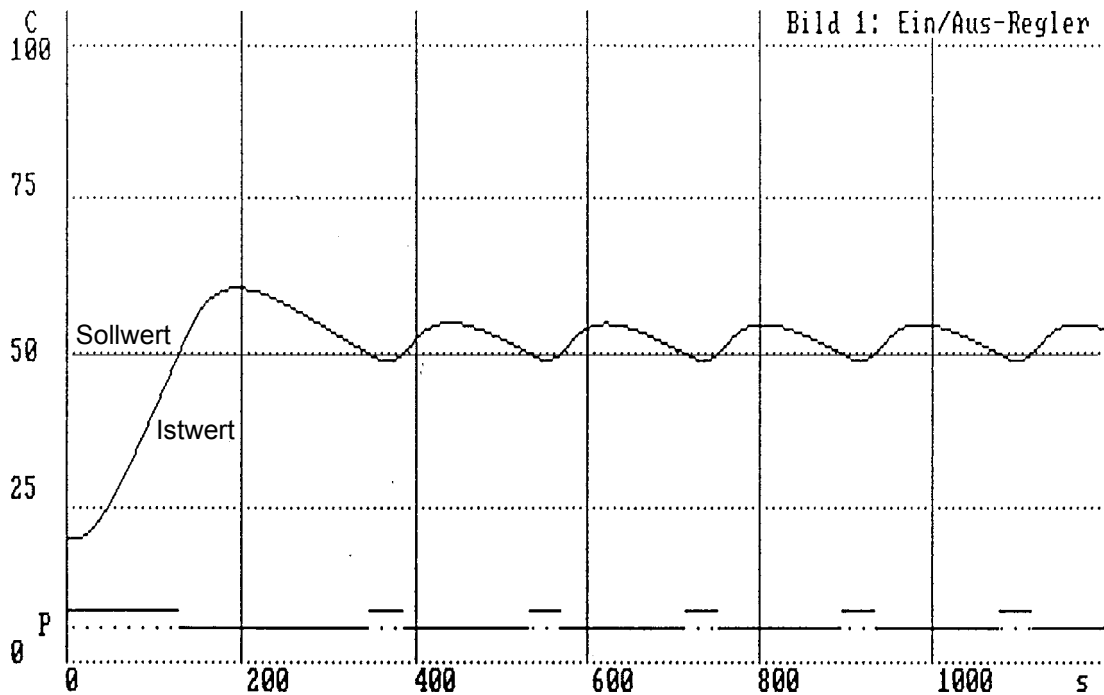
Beispiele: Ein/Aus-Regler, PID-Regler, selbstanpassende Regler

2. Zweipunkt-Regler

Ein Zweipunkt-Regler betätigt ein Stellglied, das 2 Zustände hat, z.B. ein/aus, offen/zu etc. Von daher gesehen ist er der einfachste Regler.

2.1 Zweipunkt-Ein/Aus-Regler

Das einfachste Regelverhalten weist der Ein/Aus-Regler auf. Ist der Istwert kleiner als der Sollwert, so schaltet er das Stellglied ein, ist er grösser, so schaltet er es aus. Dieses Verhalten hat an unserem Modell die in Bild 1 gezeigte Wirkung.

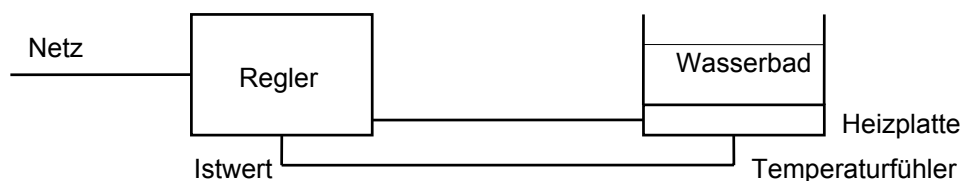


Da die Heizplatte im Zeitpunkt des Erreichens des Sollwertes noch Energie gespeichert hat, steigt die Temperatur auch nach dem Ausschalten der Energiezufuhr weiter an, die Regelung überschwingt.

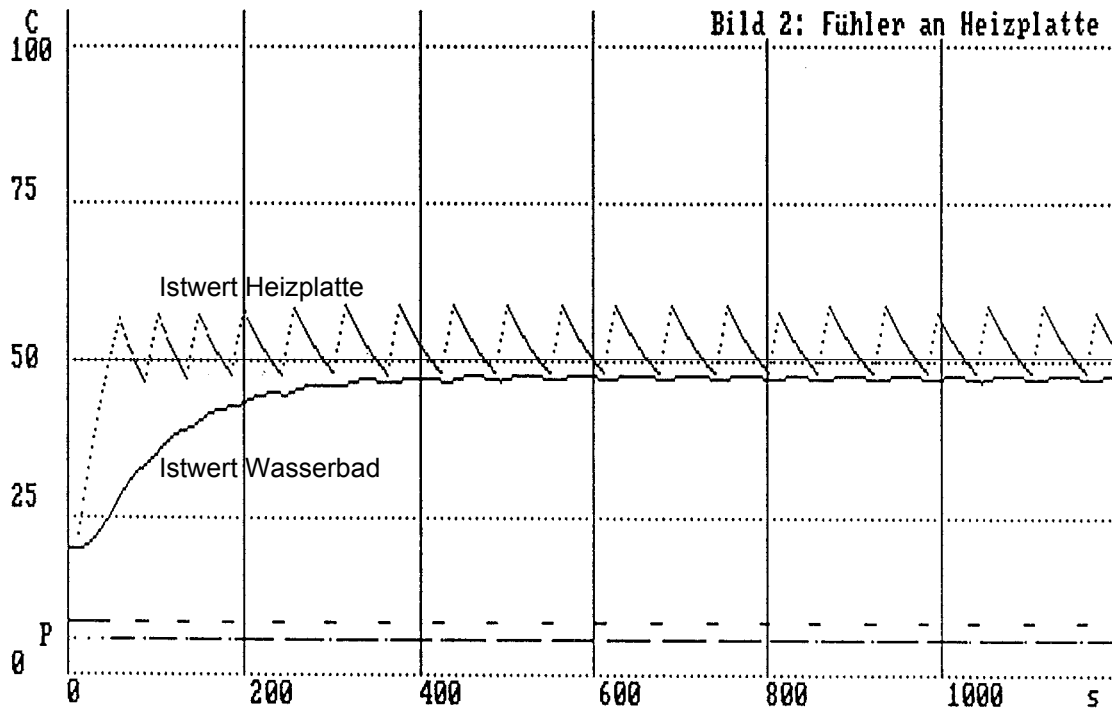
Wir haben 2 Möglichkeiten, dieses Überschwingen zu beseitigen:

1. durch Umplazieren des Fühlers (Ändern der Reglerstruktur)
2. durch Ändern des Regelverhaltens.

2.1.1 Umplazieren des Temperaturfühlers (Änderung der Reglerstruktur)



Die Wirkung dieser Umplazierung zeigt Bild 2.



Das Uberschwingen ist verschwunden, das Erreichen des Sollwertes im Bad dauert aber wesentlich länger.

2.2 Zweipunkt-P-Regler

Anstatt die Reglerstruktur zu verändern, kann das Regelverhalten verbessert werden.

Der Regler schaltet nun nicht erst aus, wenn der Sollwert erreicht ist, er reduziert die Energiezufuhr schon vorher. Das Band, in dem die Energiezufuhr vor dem Sollwert reduziert wird, heisst Proportionalband. Innerhalb dieses Bandes ist die Energiezufuhr proportional zur Abweichung vom Sollwert.

$$\text{Es gilt somit: Heizleistung } P = P_o \cdot \frac{T_w - T_x}{x_p} \quad \text{solange } T_w - T_x < x_p$$

P_o = ungerichtete (maximale) Heizleistung

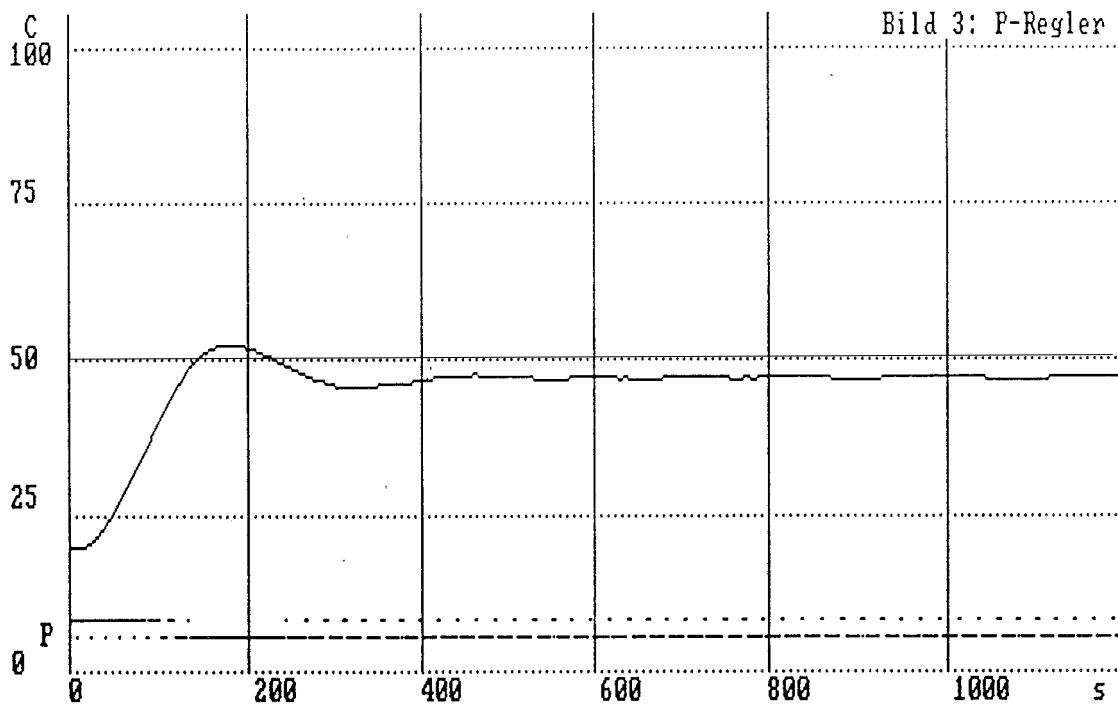
T_w = Sollwert

T_x = Istwert

x_p = Proportionalband

Beispiel: Bei einem Proportionalband von 10°C ist die geregelte Leistung bei einem Istwert der 5°C unter dem Sollwert ist, 50 % der maximalen Leistung.

Um beim 2-Punkt-Regler, der ja nur ein- und ausschalten kann, eine reduzierte Energiezufuhr zu ermöglichen, wird das Stellglied in kurzen Intervallen ein- und ausgeschaltet. Diese Methode heisst quasiproportionale Regelung. Sie benötigt nur einen geringen Geräteaufwand, ist aber nicht unproblematisch. Wird die Intervallzeit zu gross gewählt, so ändert sich der Istwert innerhalb des Intervalles, ist sie zu klein, so wird das Stellglied einem unzulässigen Verschleiss unterworfen. Die Intervallzeit kann deshalb bei TECON-Reglern in einem weiten Bereich eingestellt und damit an die Regelaufgabe angepasst werden.



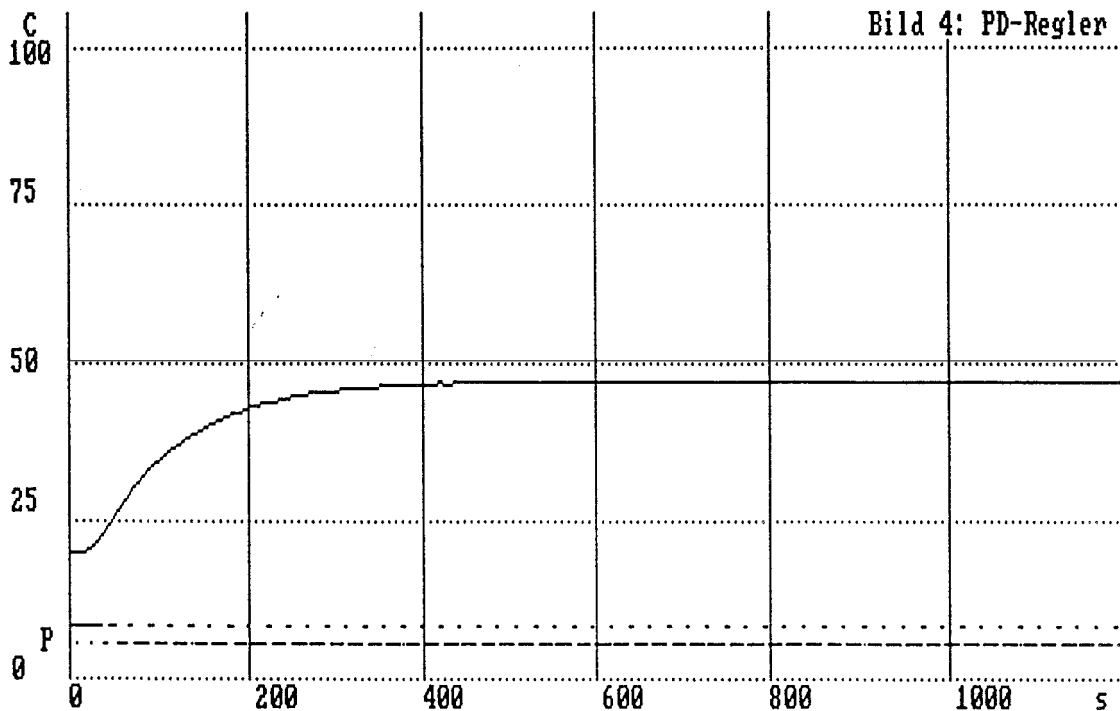
Das Ergebnis des 2-Punkt-P-Reglers zeigt Bild 3. Das Ueberschwingen ist, verglichen mit Bild 1, deutlich geringer, doch befriedigt die P-Regelung in diesem Fall noch nicht.

2.3 Zweipunkt-PD-Regler

Schalten wir mit Vorhalt ab, so können wir das Proportionalband enger und die Regelung dadurch schneller machen. Ein gutes Resultat erzielt man, wenn man den Vorhalt entsprechend der Temperaturänderungs-Geschwindigkeit, d.h. dem Differential nach der Zeit, macht und dann die Vorhaltzeit festlegt, so dass gilt:

$$\text{Vorhalt in } ^\circ\text{C} = tv \cdot \frac{dT}{dt} \quad \text{wobei } tv \text{ die Vorhaltzeit ist.}$$

Beispiel: Steigt die Temperatur mit $60^\circ\text{C}/\text{min.}$ an, so bewirkt das Differentialverhalten bei einer Vorhaltzeit von 10 Sekunden, dass 10°C vor dem Sollwert abgeschaltet wird.



Dieses Regelverhalten erreicht, wie Bild 4 zeigt, den Sollwert nie ganz.

2.4 Zweipunkt-PID-Regler

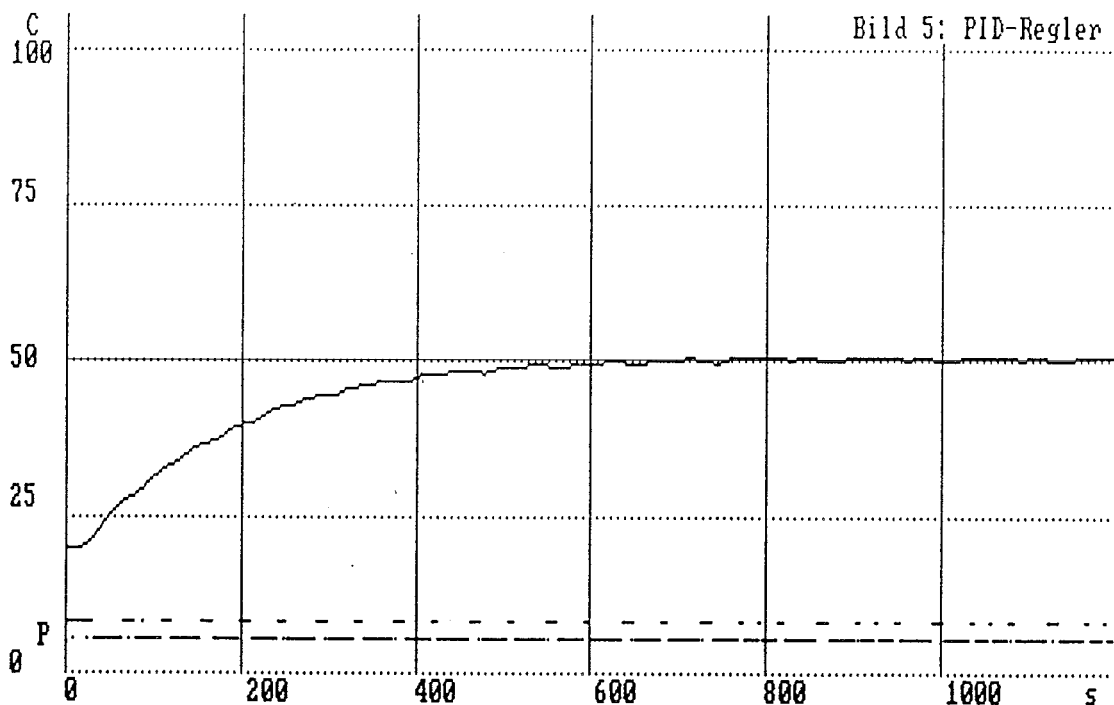
Da die Leistungszufuhr proportional zur Abweichung zwischen Soll- und Istwert ist, wird beim Erreichen des Sollwertes keine Leistung mehr zugeführt. Dies genügt in den wenigsten Fällen, um den Istwert auf dem Sollwert zu halten. Durch das Einführen des Integralverhaltens wird dieser Mangel behoben. Die Abweichung wird über die Zeit integriert und zur Regelabweichung addiert. Die Leistungszufuhr steigt nun an, bis Soll- und Istwert gleich gross sind und sich das Integral somit nicht mehr verändert. Der Integralanteil, der zur Regelabweichung addiert wird, wird wie folgt berechnet:

$$\text{Integralanteil in } ^\circ\text{C} = \frac{1}{t_n} \cdot \int_{t_1}^t (T_w - T_x) \cdot dt$$

wobei t_n die Nachlaufzeit und t_1 die Zeit für den Beginn des Integrierens ist.

Der Zeitpunkt des Beginns des Integrierens ist kritisch, da während dem Aufheizen eine grosse Abweichung zwischen Soll- und Istwert besteht, die nichts mit dem Ausgleichen des Restfehlers zu tun hat. Bei den TECON-Reglern beginnt das Integrieren normalerweise mit dem Erreichen des Proportionalbandes.

Beispiel: Eine Regelung, die eine Restabweichung von 5°C aufweisen würde, da bei einem Proportionalband von 10°C 50% der max. Leistung gebraucht werden, gleicht diese Abweichung mit einer Nachlaufzeit von 100 Sekunden nach etwa 200 Sekunden aus.



Das Resultat des PID-Reglers zeigt Bild 5. Dies ist ein ansprechendes Ergebnis, das mit einer einfachen Regelstruktur erreicht wird.

3. Dreipunkt-Regler

Ein Dreipunkt-Temperaturregler hat neben heizen und ausgeschaltet sein einen dritten Zustand, das Kühlen. Die Wirkungsweise ist grundsätzlich die gleiche wie beim Heizen. Da aber das Öffnen des Stellgliedes für das Kühlen meistens eine andere Wirkung hat als das Heizen, können bei den meisten TECON-Reglern verschiedene Regelverhalten und verschiedene Regeldaten für heizen und kühlen eingestellt werden. Bei ganz unterschiedlichem Verhalten von heizen und kühlen wird oft eine Zone zwischen die beiden Funktionen gelegt, in der weder geheizt noch gekühlt wird, das sogenannte Totband. Man kann damit z.B. ein sehr stark wirkendes Kühlen hinauschieben und zu einer nur im Störfall wirksamen Massnahme machen.

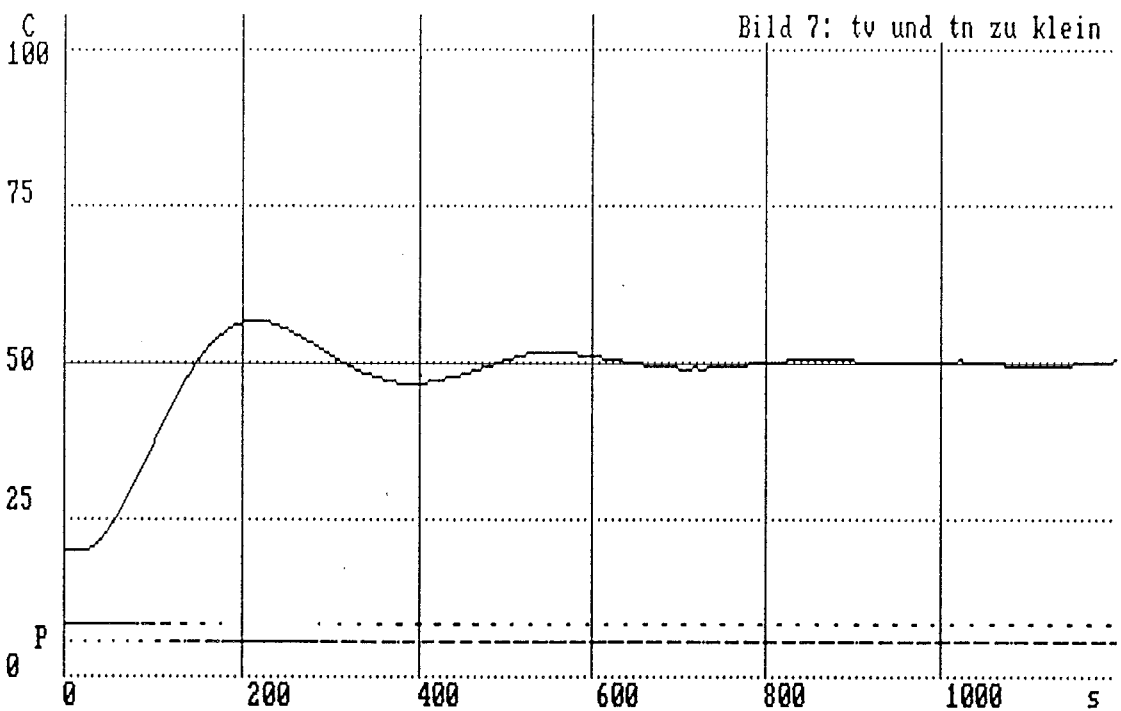
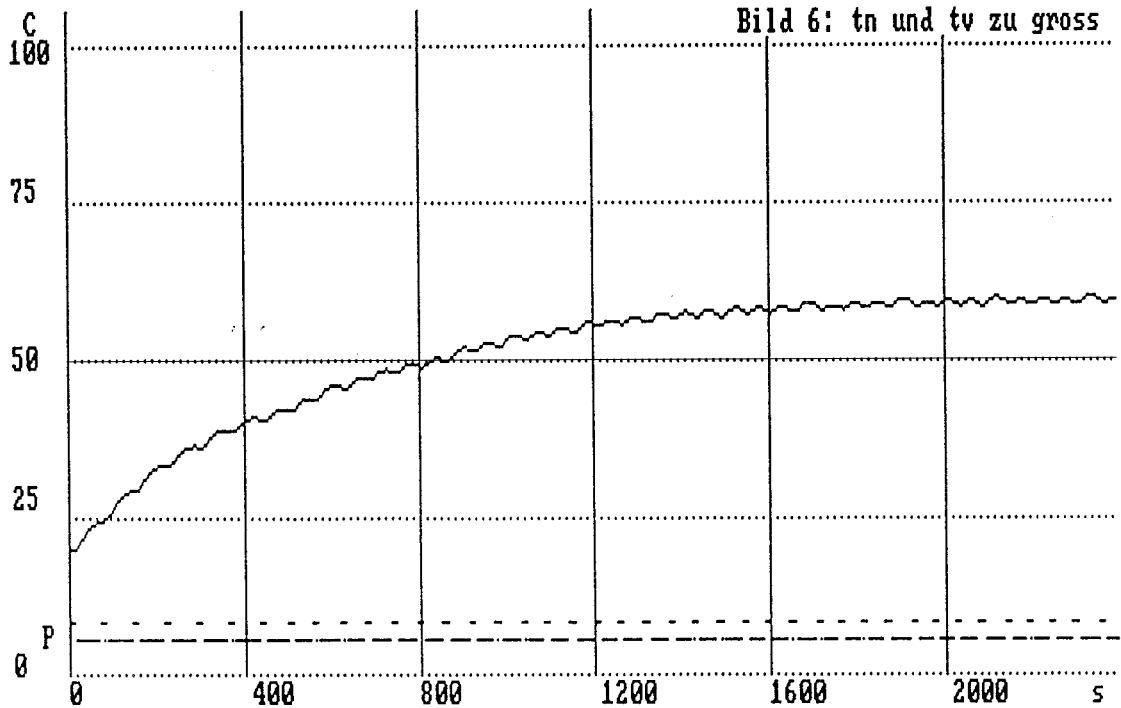
4. Stetige Regler

Für viele Regelaufgaben genügen Ein/Aus- und quasi-stetige Regler nicht, da ein feineres Einwirken auf die Regelstrecke notwendig ist. Stetige Regler erlauben ein stufenloses Verstellen des Stellgliedes und damit eine feinere Dosierung der Energiezu- und -abfuhr. Üblicherweise liefert der stetige Regler je einen Strom von 4 - 20 mA im Proportionalband für heizen und kühlen. Möglich ist aber auch 4 mA bei 100% kühlen, 12 mA bei geschlossenem Stellglied und 20 mA bei 100% heizen. Beispiele für stetig wirkende Stellglieder sind Ventile, Phasenanschnitt-Steuerungen und Frequenzwandler.

5. Regelparameter

Jeder Regler muss an die zu regelnde Strecke angepasst werden. Die Werte, mit denen diese Anpassung durchgeführt wird, heissen Regelparameter. Bei einem Ein/Aus-Regler ist nur die Leistung anzupassen, weitere Parameter sind nicht vorhanden. Hingegen sind bei den leistungsfähigen PID-Reglern drei Werte und meistens noch die Intervallzeit für das quasi-stetige Verhalten einzugeben.

Für die Bestimmung dieser Werte sind verschiedene Methoden bekannt, die noch beschrieben werden. An dieser Stelle wollen wir nur betrachten, wie sich ungeeignete Parameter beim PID-Regler auswirken können. Die Bilder 6 und 7 zeigen unzweckmässige Vergrösserungen resp. Verkleinerungen von Vorhalt- und Nachlaufzeit um jeweils den Faktor 4. Zu grosse Zeiten bewirken eine träge Regelung, während zu kurze Schwingungen verursachen.

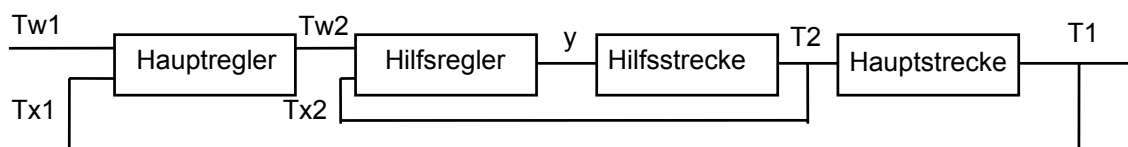


6. Kaskaden-Regler

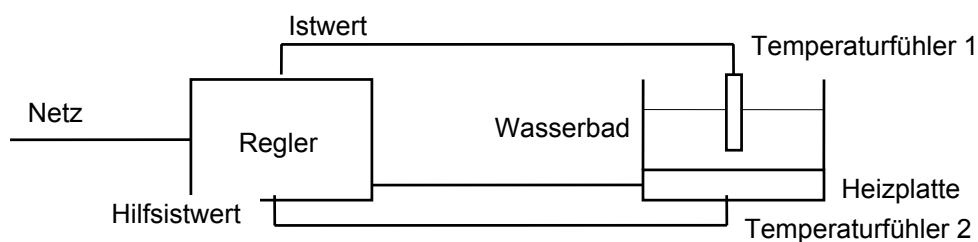
Unser Wasserbad liess sich mit einem PID-Regler gut regeln. Wenn aber einmal mehr, einmal weniger Wasser im Bad ist, so muss für jeden Füllstand mit anderen Parametern gearbeitet werden.

Wie wir gesehen haben, wird die Regelung durch Umlazieren des Fühlers einfacher. Eine gebräuchliche Regelstruktur, die Kaskaden-Regelung, verwendet beide Fühlerorte, um ein gutes Regelverhalten zu erreichen.

Schema der Kaskadenregelung:



Anordnung der Kaskaden-Regelung:

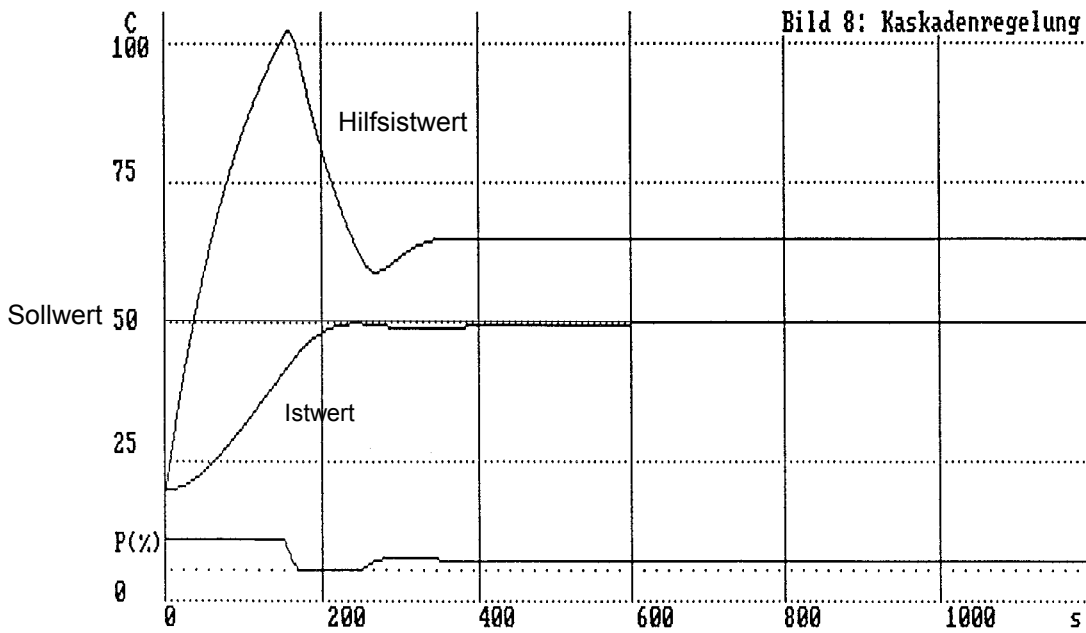


T_{w1} = Sollwert
 T_{x1} = Istwert
 T_{w2} = Hilfssollwert
 T_{x2} = Hilfsistwert

Funktion der Regelung: Aus Soll- und Istwert bildet der Hauptregler den Hilfssollwert im wesentlichen wie folgt:

$$T_{w2} = T_{w1} + v \cdot (T_{w1} - T_{w2}), \text{ wobei } v \text{ die Verstärkung ist.}$$

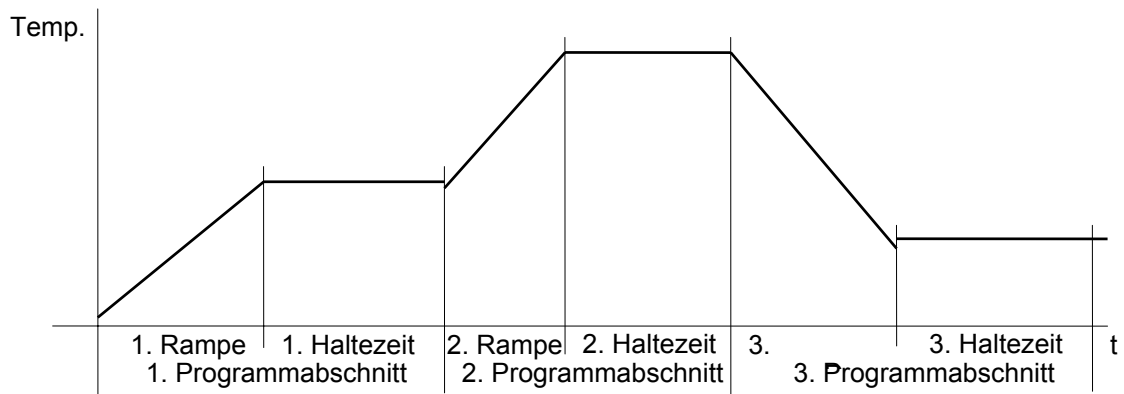
Der Hilfsregler wird möglichst gut an die Hilfsstrecke angepasst, so dass der Hauptregler über den ganzen Arbeitsbereich das gleiche Verhalten auf seine Vorgabe findet. Haupt- und Hilfsregler können verschiedene Regelverhalten aufweisen. Meistens genügt für den Hilfsregler ein P-Verhalten, in schwierigen Fällen eventuell PD. Ein Integralverhalten ist nicht nötig, da eine Restabweichung des Hilfsreglers nicht stört. Der Hauptregler hat meistens PI-Verhalten, da er keine Restabweichung zulassen darf, infolge des Kaskadenverhaltens ein Differentialanteil jedoch nicht erforderlich ist. Bild 8 zeigt den Verlauf der beiden Temperaturen bei Kaskadenregelung.



7. Temperaturprogramme

Oft verlangt ein Prozess zeitlich variable Temperaturen. Dieses Temperaturprofil kann mit TECON-Reglern mit geraden, d.h. mit Rampen und Haltezeiten, angenähert werden. Dabei besteht ein Programm-Abschnitt aus einer Rampe und einer Haltezeit. Programmiert werden die Endtemperatur der Rampe, die zugleich die Haltetemperatur ist, die Steilheit der Rampe und die Haltezeit. Ob die Rampe steigend oder fallend ist, muss nicht eingegeben werden, da die Rampe immer bei der momentanen Temperatur beginnt und auf die programmierte Endtemperatur zu geht. Für den Beginn der Haltezeit werden je nach Prozess verschiedene Bedingungen verlangt. Üblich sind Beginn der Haltezeit, wenn der Sollwert den Endwert erreicht hat, oder wenn der Istwert den Endwert auf 2 °C genau erreicht hat.

Beispiel Temperaturprogramm:



Die Anzahl der programmierbaren Abschnitte sowie die Programmiermethode sind bei den verschiedenen Reglertypen unterschiedlich. Ebenso unterschiedlich ist die Art, wie die Programmabschnitte aneinander gereiht werden. Bei Reglern mit wenigen Abschnitten laufen diese in einer festgelegten Reihenfolge ab. Bei Reglern mit mehr Abschnitten kann der Folgeabschnitt vom Anwender festgelegt und somit eine beliebige Organisation des Programmspeichers angewendet werden.

Auf dem Markt sind Programmgeber erhältlich, die nur das Sollwert-Profil liefern und denen ein Regler nachgeschaltet werden muss. Wir liefern auch solche Pro-

grammgeber, die den Sollwert als Spannung oder als Strom (4 - 20 mA) liefern. Uns scheint die Kombination von Sollwertgeber und Regler praktisch zu sein, vielleicht ist sie nicht immer sehr übersichtlich. Wir haben die Integration jedoch noch weiter getrieben: Wir liefern auch Regler die zu dem Programmgeber auch noch eine Wochen-
uhr eingebaut haben. Dadurch kann der Regler an jedem Tag individuell gestartet und so ein Ofen z.B. vorgeheizt werden.

8. Sicherheit

Bei den meisten TECON-Reglern kann eine Maximaltemperatur einprogrammiert werden. Diese verhindert, dass irrtümlich ein zu hoher Sollwert eingestellt werden kann. Sie kann auch, falls der Istwert zu hoch ansteigt, Alarm auslösen.

Die Maximaltemperatur darf niemals als Mittel zum Schutz einer Anlage vor zu hohen Temperaturen eingesetzt werden. Dazu sind unabhängig vom Regler wirksame Mittel einzusetzen

TECON bietet dazu verschiedene Geräte an. Bei einigen kann die Temperatur des Sicherheitsfühlers mit derjenigen des Temperaturreglers verglichen und bei einer einstellbaren Abweichung Alarm gegeben und ausgeschaltet werden. Dadurch kann, neben der Überwachung einer Höchsttemperatur auch die Funktion des Reglers weitgehend überwacht werden. Solche Sicherheitsabschalter, die nach dem Ansprechen manuell zurückgesetzt werden müssen, bieten einen guten Schutz gegen Fehlmanipulationen und Fehlverhalten einer Anlage.