

TU Bergakademie Freiberg Institut für Automatisierungstechnik	Praktikum Regelungstechnik
	Versuch Prozessregelung (PR)

Mai 2009

Thematik:

Rechnergekoppelte Inbetriebnahme einer Prozessregelung mit einem industriellen Kompaktregler

Zielstellung:

- Kennen lernen eines industriellen Kompaktreglers und seiner wesentlichen Bedienungselemente sowie eines Programmsystems zur rechnergeführten Regelung
- Praktische rechnergekoppelte Identifikation, Entwurf und Inbetriebnahme einer Regelung an einem Beispiel-Prozess (Füllstand)
- Testen der Füllstandsregelung im Führungsverhalten und im Störverhalten am Prozess und/oder in der MATLAB-Simulation.

Literatur: Allgemeine Grundlagenliteratur zur Regelungstechnik (s. Versuch RK)

Voraussetzung: Erfolgreiche Durchführung des Versuches Regelkreis (RK)

1. Grundlagen zum Versuch

Die Stabilisierung von Prozessgrößen oder ihre vorgeschriebene Änderung in verfahrenstechnischen Anlagen erfordert regelungstechnische Maßnahmen. Für die häufigen Größen Temperatur, Druck, Durchfluss und Füllstand ist der einschleifige Regelkreis mit kontinuierlichem PID-Regler als das "klassische" bewährte Regelkonzept fast ausschließlich in der Praxis anzutreffen.

Die Einstellung der Regelung bei der Inbetriebnahme oder zur Optimierung im laufenden Betrieb wird weitestgehend auf experimentellem Wege durchgeführt. Das heißt, es wird - ausgehend von einer mit z.B. durch Einstellregeln gewonnenen Grundeinstellung - durch gezielte Veränderung der Reglerparameter und Kontrolle des Reglerergebnisses eine optimale Einstellung der Regelung gesucht. Der Einsatz rechen technischer Möglichkeiten erlaubt dabei die Einbeziehung von theoretischen Verfahren der Regelungstechnik. Mit entsprechenden Programmwerkzeugen können in kurzer Zeit optimale Reglereinstellungen gewonnen werden. Darüber hinaus wird die Einstellung und Inbetriebnahme von Regelungen auch dem praktischen Anlageningenieur zugänglich gemacht.

Im vorliegenden Versuch wird die Regelung eines Füllstandes mit dem industriellen Kompaktregler DR20 (universeller Digitalregler) vorgenommen und mit dem Inbetriebnahme- und Optimierungsprogramm SIEPID im Sinne einer übergeordneten Leittechnik bedient. Dieses System ist als industrielle Version der mittleren Ausstattungsebene der Industrieautomatisierung besonders geeignet einerseits die praktische Problematik zu veranschaulichen und andererseits die regelungstechnischen Grundlagen zu üben und zu vertiefen.

1.1 Regelungstechnische Grundlagen

1.1.1 Der technische kontinuierliche PID -Regler

a) Regelverhalten

Der PID-Regler in seiner Grundform besteht aus der Parallelschaltung des P-, I- und D-Gliedes. Die technische Realisierung des D-Gliedes erfordert die Einbeziehung eines Verzögerungsverhaltens 1. Ordnung. Der **technische** PID- Regler hat deshalb die Übertragungsfunktion:

$$G_R(s) = \frac{Y(s)}{X_d(s)} = K_R \left(1 + \frac{1}{T_N s} + \frac{T_V s}{1 + T_1 s} \right) \quad (1)$$

Darin bedeuten:

K_R - Reglerverstärkung, T_N - Nachstellzeit, T_V - Vorhaltzeit, T_1 - Trägheitszeitkonstante des D-Anteiles, $Y(s)$ - Stellgröße, $X_d(s) = W(s) - X(s)$ - Regeldifferenz, s (auch p) – komplexe Frequenz

Die Vorhaltzeit T_V des D-Anteiles ist in der Praxis um das 4 bis 10fache größer als die Zeitkonstante T_1 . Dieser Faktor wird Vorhaltverstärkung genannt und im vorliegenden Programmsystem mit V_V bezeichnet. Es gilt also $T_V = V_V T_1$. Der D-Anteil in der Übertragungsfunktion wird damit oft wie folgt dargestellt:

$$G_R(s) = \frac{Y(s)}{X_d(s)} = K_R \left(1 + \frac{1}{T_N s} + V_V \frac{T_1 s}{1 + T_1 s} \right) \quad (1a)$$

Im Praktikumsversuch wird der Wert $V_V = 5$ verwendet.

Ansprechschwelle A :

Beim praktischen Einsatz des Reglers ist es i. allg. unzweckmäßig, wenn er bereits auf kleine Änderungen der Regelgröße um den Arbeitspunkt (Sollwert), die keine eigentliche Störung im Sinne der Prozess-Stabilisierung darstellen (Messwertauschen), mit einer Stellgrößenänderung reagiert. Mit dem Reglerparameter Ansprechschwelle kann der Regler in der nahen Umgebung des Arbeitspunktes reaktionslos gemacht werden. Die statische Kennlinie des Reglers wird dadurch (geringfügig) nichtlinear.

Soll-Ist-Vergleich:

In der Praxis wird der Soll-Ist-Vergleich in zwei Formen dargestellt: der Regelabweichung $x_w = x - w$ und der Regeldifferenz $x_d = e = w - x$.

b) Funktion und Bedienung des Kompaktreglers (am Beispiel des DR20)

Heutige Kompaktregler arbeiten digital, die zentrale Funktionseinheit ist ein Mikroprozessor mit Programm- und Datenspeicher. Das interne Regler-Programm läuft prinzipiell wie folgt ab:

- Lesen der Daten an Analogeingängen (über A/D-Umsetzer), Binäreingängen, Fronttastern und der seriellen Schnittstelle
- Durchführen von Berechnungen (z.B. Kennlinienkorrektur, Regelalgorithmus)

- Ausgabe der Daten an Analogausgänge (über D/A-Umsetzer), Binärausgänge, Anzeigeelemente und den Sendepuffer der seriellen Schnittstelle.

Die Programm-Zykluszeit des DR20 beträgt ca. 100 ms. Die im Regler integrierte A/D- und D/A-Umsetzung hat eine Auflösung von ca. 0,06 % (A/D) bzw. 0,1 % (D/A). Damit kann die Signalverarbeitung bei verfahrenstechnischen Prozessen als quasikontinuierlich angesehen werden.

Der Einsatz des Reglers ist in 2 Grundausführungen möglich:

"K-Regler"

Die Arbeitsweise ist quasikontinuierlich, das Stellsignal ist (mit genügender Näherung) wert- und zeitkontinuierlich. Es ist ein "analoger, stetiger Regler". Diese Form wird im Praktikum verwendet.

"S-Regler"

Der Regler arbeitet als Dreipunkt-Schrittregler, d.h., diskontinuierlich. Das Stellsignal ist pos./neg. binär (Ein-Aus-Form). Es ist ein "unstetiger Regler".

Die "Bedienstruktur DR20" (Auslage am Versuchsstand) zeigt schematisch die Frontplatte des Reglers und eine Grafik zur Bedienstruktur, sie soll zur Unterstützung von Einstellhandlungen am Regler dienen. Die auf der Frontplatte des Reglers befindlichen Einstelltaster (in "Folientaster-Art") und die numerischen Anzeigedisplays haben infolge der vielfältigen Einstellmöglichkeiten eine funktionelle Mehrfachbelegung.

Bei der Reglerbedienung werden 3 Ebenen unterschieden:

- Strukturierenebene
- Parametrierenebene
- Prozessleitebene / Bedienebene

Der normale Betriebszustand des Reglers ist die Bedienebene. Die Umschaltung auf die beiden anderen stellt ein erhöhtes Betriebsrisiko dar und ist immer in geeigneter Weise gegen fahrlässige und bis zu einem gewissen Grade auch vorsätzliche Falschbedienung gesichert. Ältere elektronische Kompaktregler verwendeten mechanische Verriegelungen, heutige auf Mikroprozessor aufbauende Regler verwenden algorithmische Bediensicherungen (Codeworte, Bedienschrittfolge).

Beim DR20 wird eine zeitlich kontrollierte Mehr Tasten-Folge verwendet, wie sie in der "Bedienstruktur DR20" dargestellt ist.

Die Strukturierenebene

In der Strukturierenebene wird der universell einsetzbare Kompaktregler für den vorgesehenen Einsatzfall spezifisch eingestellt (strukturiert). Die Umschaltung in diese Ebene erfolgt über die Parametrierenebene hinweg mit der Funktionstaste F und der "+W"-Taste in Verbindung mit einem bestimmten Zeitregime.

Die Signalverbindung zwischen Regler und Prozess ist unterbrochen, die Kopplung hat off-line-Status. Alle Anzeigen, auch die Regeldifferenz-Anzeige, sind abgeschaltet.

Unter Struktur wird hier in umfassender Weise die gesamte Variabilität des Reglers bezüglich Reglerart, Übertragungsverhalten, Signalauswahl, Betriebsvarianten, Anzeigearten und Rechnerkopplung verstanden. Sie wird anhand von insgesamt 48 Strukturschaltern festgelegt, die je nach Art 2 bis 32 "Stellungen" einnehmen können. In einem bestimmten Anwendungsfall werden jedoch eine große Zahl der Einstellungen durch das Projekt festgeschrieben, so dass für die Inbetriebnahme und Optimierung nur eine relativ geringe Anzahl in Frage kommen.

Eine Auswahl zeigt die Tabelle unter Punkt "2.2.1 Regler". Für den Praktikumsversuch wird der Regler als K-Regler auf PID-Verhalten festgelegt.

Die Parametrierebene

Die Umschaltung in diese Ebene erfolgt mit der Funktionstaste F und der "+W"-Taste in Verbindung mit einem bestimmten Zeitregime.

Die Signalverbindung zwischen Regler und Prozess ist gegenüber der Prozessleitebene nicht verändert, d.h., die Kopplung hat weiterhin on-line-Status. Es steht nur die Regeldifferenz - Anzeige zur Verfügung.

In dieser Ebene können 29 Parameter eingestellt werden. Die Parameterart wird mit einem Kurzzeichen gekennzeichnet. Eine Auswahl der für den Versuch in Frage kommenden ist im Punkt "2.2.1 Regler" aufgeführt.

Für den Praktikumsversuch sind die drei Reglerparameter des PID-Reglers mit Zahlenwerten zu besetzen (zu parametrieren).

Die Prozessleitebene / Bedienebene

Der Regler befindet sich im Normalzustand, d.h., alle Funktionen der automatischen wie auch manuellen Prozessführung sind verfügbar. Die Kopplung zwischen Regler und Prozess ist im on-line-Status.

Die Anzeige der Regeldifferenz X_d in Form einer LED-Säulenanzeige (bar-Graph), sowie der Stellgröße Y im zweistelligen Display OUT-Y stehen ständig zur Verfügung. Beide Anzeigen erfolgen in Prozent des Einheitssignal-Bereiches. Weiterhin können die Regelgröße X, die Führungsgröße W, sowie der obere und untere Grenzwert A1, A2 in dem 4stelligen Display DISP abgelesen werden. Die entsprechende Anzeigeauswahl erfolgt zyklisch mit dem Funktionstaster F.

Die Umschaltung zwischen automatischer Regelung und Handsteuerung ermöglicht der H/A-Taster, sie erfolgt in beiden Richtungen stoßfrei. Im Falle der Handsteuerung wird die Stellgröße Y mit den entsprechenden inkremental wirkenden Tastern "+/- Y" verändert.

Die Bereitstellung der Führungsgröße W (Sollwert) erfolgt i. allg. intern, die Einstellung wird mit den inkrementalen Tastern "+/- W" vorgenommen. Bei der Zusammenarbeit mit einem übergeordneten Leitsystem, wie es die vorliegende Rechnerankopplung mit dem Programm SIEPID darstellt, ist die externe Zuführung des Sollwertes erforderlich. Zur Umschaltung zwischen der internen und externen Sollwertvorgabe dient der Taster "W-int/ext".

1.1.2 Prozessmodellierung

a) Prinzipielle Vorgehensweise

Das Prozessmodell wird durch "Anregung der Strecke im Arbeitspunkt" gewonnen. Anregung bedeutet definiertes Verändern der Stellgröße nach Betrag und Richtung. Im Versuch wird die Sprungfunktion verwendet. Die Sprungantwort der Strecke wird als digitalisiertes Signal im Rechner abgespeichert und graphisch auf dem Bildschirm dargestellt. Damit liegt ein nichtparametrisches Modell der Strecke vor.

Die Bestimmung des zugehörigen parametrischen Modells erfolgt grundsätzlich in zwei Stufen:

1. Vorgabe einer Modellstruktur durch den Bediener.
Das Programm SIEPID stellt 3 bei verfahrenstechnischen Strecken häufige Streckenmodelle zur Verfügung.
2. Ermittlung der Parameter zum vorgegebenen Modell durch das Programm.
Das Programm SIEPID (Teil "Identifikation und Regleroptimierung") berechnet mit einem Approximationsalgorithmus die erforderlichen Parameter und stellt die gemessene und nach Modell berechnete Sprungantwort graphisch am Bildschirm dar, Dadurch ist ein visueller Vergleich möglich.

Bei unbefriedigendem Ergebnis kann die Identifikation mit einem anderen Modellansatz wiederholt werden.

Außer den Modellparametern liefert das Programm die Prozesskenngrößen Verzugszeit T_u und Ausgleichzeit T_g .

b) Prozess-Modelltypen des Programms SIEPID

Für die Ermittlung eines parametrischen Modells stehen im Programm folgende Modelle zur Verfügung:

$$\text{PTn-Modell:} \quad G(s) = \frac{K}{(1+Ts)^n} \quad (2)$$

$$\text{PTnT}_t\text{-Modell:} \quad G(s) = \frac{K}{(1+Ts)^n} e^{-T_t s} \quad (3)$$

$$\text{PT3-Modell:} \quad G(s) = \frac{K}{(1+bTs)(1+2DTs+T^2s^2)} \quad (4)$$

mit den Parametern:

K - Prozessverstärkung, T - Zeitkonstante, T_t - Totzeit, D - Dämpfung, n - Modellordnung, b - Zeitkonstantenfaktor

außerdem bedeuten:

s - Komplexe Frequenz und $G(s)$ - Übertragungsfunktion

Die Modelle PTn und PTnT_t kommen für Strecken mit Ausgleich und aperiodischem Übergangsverhalten in Frage. Dabei ist zu beachten, dass PTn ein Modellansatz für "n gleiche Zeitkonstanten" bedeutet.

Bei einer Identifikation mit dem PT3-Modell berücksichtigt der Approximationsalgorithmus mehrere Modellvarianten, von denen er die günstigste präsentiert:

$$\text{PTn - Modell} \quad G(s) = \frac{K}{(1+Ts)^n} \quad (4a) = (2)$$

(mit $n = 2$ für $D = 1$ und $b = 0$)

(mit $n = 3$ für $D = 1$ und $b = 1$)

$$\text{PT2 - Modell} \quad G(s) = \frac{K}{(1+2DTs+T^2s^2)} = \frac{K}{(1+T_1s)(1+T_2s)} \quad (4b)$$

(mit $D > 1$ und $b = 0$)

$$\curvearrowright \quad 2DT = T_1 + T_2; \quad T^2 = T_1 T_2$$

$$\text{PT3 - Modell} \quad G(s) = \frac{K}{(1+bTs)(1+Ts)^2} \quad (4c)$$

(mit $D = 1$ und $b > 0$ aber $b \neq 1$)

$$\text{PT3 - Modell} \quad G(s) = \frac{K}{(1+bTs)(1+2DTs+T^2s^2)} \quad (4d)$$

(mit $0,1 \leq D > 1$ und $b > 0$)

Dies bedeutet für die praktische Benutzung, dass für die in verfahrenstechnischen Prozessen oft vorkommende PT₂-Strecke mit zwei ungleichen Zeitkonstanten das PT3-Modell zum Ansatz gebracht werden kann, denn dafür ist die in Gl. (4b) dargestellte Variante zutreffend. Die "zwei ungleichen" Zeitkonstanten T_1 und T_2 ergeben sich durch die Zerlegung des Nennerpolynoms $(1+2DTs+T^2s^2)$ der Gl. (4b) in seine Produktform $(1+T_1s)(1+T_2s)$.

1.1.3 Parameteroptimierung

Zur Ermittlung optimaler Modell-Parameter werden häufig Suchverfahren angewandt. Bei diesen Verfahren wird ausgehend von einem bestimmten Satz der Modell-Parameter ein geeignetes Gütekriterium wiederholt berechnet. Bei jeder Wiederholung wird zunächst die Veränderung des Kriteriums bewertet, dann davon abhängig der Parametersatz variiert mit dem Ziel, das Kriterium zu minimieren. Es wird solange fortgefahren, bis die Veränderung des Kriteriums eine Abbruchgrenze erreicht. Diese Verfahrensweise wird auch als "Modellabgleich" bezeichnet. Im Programm SIEPID wird sie bei der "automatischen" Identifikation zur Ermittlung der Prozessmodell-Parameter verwendet.

Es besteht im Programm auch die Möglichkeit, diese Methode "manuell" zu praktizieren mit dem Ziel, die vom Programm ermittelten Parameterwerte noch zu verbessern. Als "Gütekriterium" muss dabei, der Unterschied von Soll- und Istverlauf der entsprechenden Signalverläufe herangezogen werden, wie er visuell am Bildschirm durch Vergleich der Verläufe bei den einzelnen Wiederholungen festzustellen ist. Die Parameteränderung wird vom Bediener im Dialog vorgenommen.

Die "manuelle Parameteroptimierung" kann im Programm SIEPID (Programm-Teil "Identifikation und Regleroptimierung") an zwei Stellen eingesetzt werden:

- für die manuelle Verbesserung der vom Programm bestimmten Prozessmodell-Parameter im Menü "Nachoptimierung der Modellparameter" und
- für die manuelle Verbesserung der vom Programm ermittelten Reglerparameter, im Menü "Überprüfen der Reglerparameter".

Bemerkung:

Im Versuch ist die Anwendung der manuellen Parameteroptimierung wahlfrei. Sie ist aber besonders geeignet zur Veranschaulichung der Auswirkung von Parameteränderungen auf das Systemverhalten.

1.1.4 Reglerentwurf

Zielstellung des Reglerentwurfes ist, die Parameter des Reglers K_R , T_N und T_V so zu bestimmen, dass der Regelkreis mit der durch das Prozessmodell festgelegten Strecke ein geeignetes Optimalitätskriterium erfüllt. Die Eignung eines Kriteriums ergibt sich aus praktischen Anforderungen an das Regelverhalten aber auch unter Berücksichtigung des Ermittlungsaufwandes.

Der Reglerentwurf wird vom Programm SIEPID nach dem als "Betragsoptimum" bezeichneten Verfahren durchgeführt. Dabei werden die Reglerparameter analytisch berechnet unter der Bedingung, dass der Führungsfrequenzgang $G_F(j\omega) = x(j\omega) / w(j\omega)$ des Regelkreises von der Kreisfrequenz $\omega = 0$ an bis zu möglichst hohen ω - Werten den Betrag "1" aufweist, d.h. $|G(j\omega)| = 1$ gilt. Das bedeutet praktisch, dass die Regelung ein gutes Führungsverhalten besitzt.

1.2 Das Programmsystem SIEPID DR20 (kurz SIEPID)

SIEPID dient zur Inbetriebnahme und Optimierung einschleifiger Standardregelkreise nach der Darstellung im Bild 1. Bei der Behandlung des Regelkreises wird vom Programm zunächst das Führungsverhalten zugrunde gelegt.

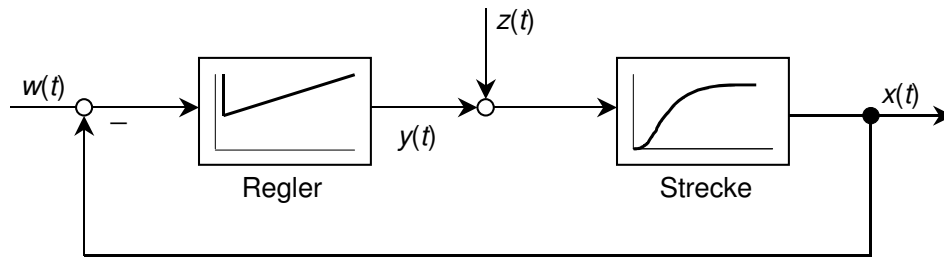


Bild 1

Mit dem Programmsystem SIEPID können drei Problemgruppen bearbeitet werden. Sie sind im Hauptmenü mit den folgenden Menüpunkten anwählbar:

Problemgruppe:

Prozessidentifikation, Reglerentwurf, off-line Simulation des Regelkreises, Leitfunktion für Prozessregelung

Menüpunkt:

Identifikation und Regleroptimierung, Regelkreis-Simulation mit K-Regler, Bedienen und Beobachten

Die Auslage "Bedienstruktur SIEPID" zeigt dazu algorithmische Übersichten. Das Programm enthält außerdem Dokumentationsfunktionen (Regler-Tabelle, Grafik-Ausgabe) und Informationshilfen zur Anwendung.

Im folgenden werden zur Auslage "Bedienstruktur SIEPID" (Teile 1-3) einige Erläuterungen gegeben:

Grundschema

Nach dem Start und der Entscheidung über Nutzeroptionen steht das Hauptmenü an, aus dem nach 6 Teilprogrammen verzweigt werden kann. Die Bedienerführung wird vollständig durch entsprechende Hinweise in der Fußzeile des Bildschirms vom Programm vorgenommen. Erforderlichenfalls führt wiederholtes <ESC> zum Hauptmenü zurück.

Prozessmodellierung und Reglerentwurf

Das Teilprogramm "1 : Identifikation und Regleroptimierung", Menüpunkt "Einlesen vom Kompaktregler DR20", beinhaltet die folgenden Abschnitte:

Aufbau und Test der Kopplung zum DR20

Hier ist durch Bedienereingabe die softwareseitige Kopplung zum Regler herzustellen. Die Einstellung der Strukturschalter wird dargestellt. Folgende Schalterstellungen sind zu überprüfen: $S1 = 5$; $S2 = S26 = S28 = S31 = 0$; $S42 = 2$

Bedienbild des kontinuierlichen Reglers

Auf dem Bildschirm werden wesentliche Reglerfunktionen visualisiert. Durch Vergleich des Monitorbildes mit der Reglerfrontplatte kann die Kopplung Rechner-Regler veranschaulicht werden.

Identifikation und Reglerentwurf

Die Identifikation wird mit Anregung der Strecke durchgeführt, was nach der SIEPID-Programmkonvention als "Identifikation im offenen Regelkreis" bezeichnet wird. Der Reglerentwurf (im Programm mit "Optimierung" bezeichnet) schließt sich unmittelbar an die Identifikation an.

Dieser Teil "Identifikation und Reglerentwurf" beinhaltet folgende Schritte:

* Identifikationsvorbereitung:

Für die Steuerung der Streckenanregung mit der Stellgröße vom Programm aus ist die Reglerbetriebsart "**hand**" und "**W-extern**" erforderlich.

Das Programm übernimmt es, die Messung der Sprungantwort zu beenden, wenn der neue Beharrungszustand der Strecke eingetreten ist. Diese automatische Endwerterkennung wird im Versuch nicht verwendet.

Die Maßstabsanpassung kann den Darstellungsbereich der Ordinate spreizen. Im Versuch wird in der Mitte des Einheitssignal-Bereiches gearbeitet, so dass eine Skalierung von 20% bis 80 % zweckmäßig ist.

* Identifikationslauf:

Die Messwertaufnahme wird nach der Eingabe der Stellgrößenänderung gestartet, wenn diese den (eingebbaren) Programmparameter "MinAend" übersteigt. Die Sprungantwort der Strecke kann auf dem Bildschirm verfolgt werden. Beim Erreichen des Beharrungszustandes muss die Aufnahme durch den Bediener, d.h. durch "Bedienerabbruch" beendet werden.

* Sichern der Signalwerte:

Eine aufgenommene Sprungantwort sollte als Messwertdatei abgespeichert werden. Die Extension *.SMD wird vom Programm automatisch angehängt.

Die Messwerte sind als Textstrings gespeichert. Der erste Datensatz entspricht dem stationären Zustand vor dem Aufschalten der Anregung. Die Datei enthält immer maximal 101 Datensätze.

* Auswertung der Sprungantwort:

Sie erfolgt unter der Voraussetzung idealer *Stellgrößensprung*. Darunter wird im Programm die einmalige sprungförmige Y-Änderung verstanden. (Das Programmsystem erlaubt auch eine Identifikation mit Anregung durch beliebigen Stellgrößenverlauf, allerdings bei Beschränkung auf das PTn-Modell.)

Die als Ergebnis der Identifikation vorliegenden Prozess- und Modellparameter der Strecke und die als Ergebnis des unmittelbar anschließenden Reglerentwurfes bestimmten Reglerparameter können in der "Regler-Tabelle" abgespeichert werden.

Die *Regler-Tabelle* dient zur Verwaltung der Daten von maximal 99 Regelkreisen. Die zugehörige Datei heißt REGTAB.DAT und enthält folgende Regelkreisdaten:

Regler-Nummer (1-99),
Regler-Name (technologische Bezeichnung aus max. 50 Zeichen),
Regler-Typ (P-, PI-, PD-, PID-Regler),
Regler-Parameter (A , K_R , T_N , T_V , V_V),
Streckenparameter (je nach Modelltyp n , K , T , T_t , b , D).

* Verbesserung der Modell- und Entwurfparameter:

Sie ist möglich durch eine "manuelle Parameteroptimierung" (s. Pkt. 1.1.3) für die beiden folgenden Fälle.

Nachoptimierung der Modellparameter:

Durch Veränderung der Modellparameter per Bildschirmdialog kann versucht werden, eine bessere Übereinstimmung zwischen gemessener und nach Modell berechneter Sprungantwort zu erreichen. Die Beurteilung erfolgt visuell an den entsprechenden grafischen Verläufen.

Überprüfung der Reglerparameter:

Der Regelkreis mit der Modell-Strecke und dem entworfenen Regler kann bezüglich seines Führungs- und Störverhaltens mit dem Programmteil "Regelkreis-Simulation mit K-Regler" simuliert werden. Durch Beurteilung der Sprungantworten des Kreises und Veränderung der Reglerparameter kann versucht werden, eine Verbesserung des Regelverhaltens zu erreichen.

(Diese Simulation ist eine wahlfreie Aufgabe. Anleitung dazu gibt die Auslage "Bedienstruktur SIEPID (3)".)

* Parameter in den Regler DR20 übertragen:

Die Werte der ermittelten Reglereinstellung können per Bedieneranweisung vom Rechner in den Regler übertragen werden.

Rechnergeführter Betrieb der Prozessregelung

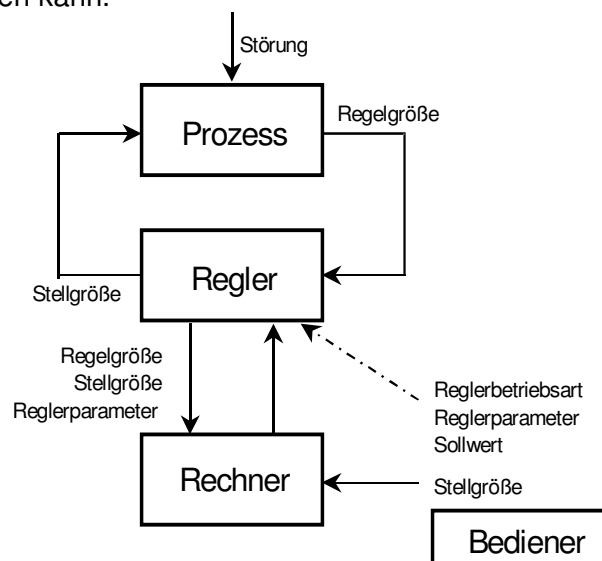
Diese Funktion wird vom Programmteil "4: Bedienen und Beobachten" ausgeführt. Es handelt sich dabei um die in der Praxis als SPC-Betrieb bezeichnete Art der Prozessregelung (SPC : Set Point Control). Es ist dafür auch die Bezeichnung RGR-Betrieb (Rechner-Geführte-Regelung) gebräuchlich.

Bild 2 zeigt schematisch die Struktur einer SPC-Prozessregelung.

Im Programmteil "Bedienen und Beobachten" sind zur Vorbereitung in gleicher Weise wie im Programmteil "Identifikation und Regleroptimierung" die softwareseitige Kopplung zum Regler herzustellen und die Strukturschalter entsprechend zu prüfen. Als Regler-Betriebsart ist "**automatik**" und "**W-extern**" erforderlich.

Das "Bedienen und Beobachten" erfolgt anhand einer Echtzeit-Signaldarstellung der zeitlichen Verläufe von Sollwert, Regelgröße und Stellgröße. Vom Rechner aus ist eine Veränderung des Sollwertes und der Reglerparameter möglich. Es ist zweckmäßig, die Zeitachse um etwa den Faktor 15 zu raffen, damit ein weiter in die Vergangenheit reichender Zeitabschnitt betrachtet werden kann.

Bild 2



2. Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist schematisch in Bild 3 dargestellt. Er besteht aus den folgenden Hauptteilen:

2.1 Füllstand-Strecke

Der Wasserstand in einem zylindrischen Behälter (\varnothing 150 mm) wird durch das mittels Kreiselpumpe MP geförderte Wasser aufrechterhalten. Die Fördermenge ist mit dem Motorregelventil MV einstellbar. Der Arbeitspunkt des Systems ist mit den Handventilen V1 und V2 sowie dem Behälter-Bypass V3 einstellbar. Das Stellglied wird vom Motorregelventil, das Messglied für den Füllstand von einem Druckmessumformer P für den Bodendruck gebildet.

2.1.1 Stellglied

Das Motorregelventil ist ein motorbetätigtes Ventil, dessen Öffnung durch eine in das Gerät integrierte Lageregelung eingestellt und stabilisiert wird. Es wird durch das Einheits-Stromsignal 0-20 mA angesteuert. Dieses Signal bildet die aufgabengemäße Stellgröße Y . Abhängig davon ergibt sich eine proportionale Ventilstellung. Bei einer Anregung des Stellgliedes durch ein sprungförmiges Stellsignal folgt die Ventilstellung nicht ideal sprungförmig sondern in Form einer Rampe. Die maximale Positionierzeit, die zur Verstellung bei 100 % Anregung erforderlich ist, beträgt hier ca. 10 s. Der Volumenstrom (0 bis ca. 20 l/min) ist annähernd proportional der Ventilstellung und damit dem Stellsignal.

2.1.2 Messglied

Die Messung des Füllstandes erfolgt indirekt über den Bodendruck im Behälter. Der Druckaufnehmer liefert das Einheits-Stromsignal 0-20 mA. Das verwendete Gerät hat einen Druckmessbereich von 0 - 250 mbar, was etwa dem Bodendruck einer Wassersäule von 0 - 2548 mm entspricht. Bei einem Füllstand von max. 1000 mm wird der Messbereich nur zu ca. 39 % ausgenutzt. Die entsprechende Verstärkung zur möglichst vollen Aussteuerung des Einheits-Signalebereich 0 - 100 % am Regler übernimmt die anschließende Signalaufbereitung der Versuchsanordnung.

2.2 Regeleinrichtung

Die Regeleinrichtung wird im Versuch gebildet von dem Digitalregler DR20, der zur Gruppe der verfahrenstechnischen Kompaktregler gehört. Er ist konstruktiv integriert in das universelle Regelmodell SITRAIN, von dem im Versuch Bausteine zur Signalaufbereitung (s. Punkt 2.2.2) genutzt werden. (SITRAIN stellt einen sogenannten Modellregelkreis dar.)

2.2.1 Regler

Der Regler hat eine standardmäßige Frontabmessung für Kompaktregler, die (72 x 144) mm² (BxH) beträgt. Seine Einbautiefe ist 152 mm. Eine geschlossene Frontplatte mit integrierter Folientastatur erlaubt die Anwendung unter rauen Betriebsbedingungen (Schutzart IP 64, DIN 40050). Im folgenden werden die versuchsrelevanten Daten aufgeführt. Über weitere technische Daten informieren Originalunterlagen am Versuchsplatz.

Signalschnittstellen:

Analogeingang: Einheits-Spannungssignal, 0 - 10 V

Analogausgang: Einheits-Stromsignal, 0 - 20 mA

Rechnerkopplung: Serielle Schnittstelle SES, V24 in End-End-Verbindung

Aufbau der Frontplatte:

Die Frontplatte ist in der Auslage "Bedienstruktur DR20" dargestellt. Sie enthält:

- Anzeigen:
 - Regeldifferenz mit 21 Leuchtdioden als vertikales LED-Band
 - Grenzwertmelder mit je einer Leuchtdiode A1 und A2
 - Regelgröße X , Sollwert W , A1-, A2-Grenzwert wahlweise in DISP
 - Stellgröße Y (in %) in OUT-Y
- Funktions-Taster:
 - W-Taste zur Umschaltung **intern** / **extern** für die Sollwertvorgabe
 - H-/A-Taste zur Umschaltung der Reglerbetriebsart **hand** / **automatik**
 - F-Taste zur Funktionsumschaltung
- Werte-Einsteller:
 - Die Einstellung von Werten erfolgt grundsätzlich inkremental. Dazu stehen jeweils "+" - und "-" -Tasten zur Verfügung. Bei festgehaltener Taste nimmt die Schrittweite zwischen den Inkrementen zu, ausgenommen bei der manuellen Betätigung der Stellgröße.

Strukturschalter (Auswahl für Aufgabe 3.1 b):

Nummer	Funktion	Ziffer	Bedeutung der gewählten Stellung:
S 1	Gerätetyp	5	Regler im SPC-Betrieb mit w-int/ext-Umsch.
S 2	Ausgangsstruktur	0	K-Regler, kont.-analoges Signal, 0/4 – 20 mA
S 8	Auswahl A.-Eingang	1	Eingang AE3, Spannung, 0 –10 V
S 20	Anzeige in DISP	0	Dezimalpunkt in XXX.X-Form [Anzeige] = %
S 21	Art der Digitalanzeige	-1	Wiederholrate 0,5 s
S 25	Säulenanzeige-Bereich	0	+/- 10% von x_d
S 26	Wirksinn des Reglers	0	normal, $K_R > 0$
S 27	Wirkung des D-Gliedes	0	$x_d(t)$ wird differenziert
S 28	Regelalgorithmus	0	PI(D) (d.h.: D-Anteil mit T_V geschaltet)
S 31	Blockierung H/A-Ums.	0	nein
S 37	Stromausg. K-Regler	0	Bereich 0 – 20 mA
S 42	Datenübertragung	2	Senden aller Größen, Empf. Param. u. Strukt.
S 47	Regler-Stat.-nummer	1	Nummer 1

Parametereinstellungen (Auswahl für Aufgabe 3.1 c):

Bedeutung	Zeichen: Text	DISP	Werte: Min.	Max.	Dim.	Bedingung
Proportionalbeiwert	$K_P = K_R$	cP	0,1	100		
Nachstellzeit	T_N	tn	1	9984	s	
Vorhaltzeit	T_V	tu	off, 1	1000	s	
Vorhaltverstärkung	V_V	uu	1	10		
unterer Grenzwert	A2	A2	-1999	9999		
oberer Grenzwert	A1	A1	-1999	9999		A2 < A1

2.2.2 Signalaufbereitung

Diese Baugruppe ist versuchsspezifisch. Sie hat die Aufgabe, die vom Messglied kommende Regelgröße X_M von einem Strom- in ein Spannungssignal zu wandeln und einstellbar zu verstärken. Außerdem kann in einem Tiefpass-Filter 1. Ordnung mit einstellbarer Zeitkon-

stante eine Glättung des Messsignales vorgenommen werden. Es finden dazu die Bausteine P-Glied und VZ1-Glied des Gerätes SITRAIN Verwendung. Aus konzeptionellen Gründen wird beim Versuch das VZ1-Glied auf $T_1 = 18 \text{ s}$ eingestellt.

2.3 Rechner

Als Rechner wird ein IBM-kompatibler AT 486DX 33 mit Co-Prozessor eingesetzt. Für die Dokumentation steht ein Nadeldrucker zur Verfügung, der an die Schnittstelle LPT1 angeschlossen ist.

Der Anschluss des Reglers DR20 erfolgt an der Schnittstelle COM1.

Das Programm läuft unter MS-DOS, es wird mit SIEPID <ENTER> gestartet.

2.4 Signalverbindungen

Die V24-Verbindung zwischen Regler und Rechner beinhaltet 3 Leitungen:

TxD	(transmitter data)	Sendedaten-Leitung
RxD	(receive data)	Empfangsdaten-Leitung
GND	(ground)	Rückleitung

Die Signalverbindungen zwischen Regler und Prozessmodell sind gemäß Versuchsaufbau im **Bild 3** durch entsprechende Laborleitungen im Versuch herzustellen.

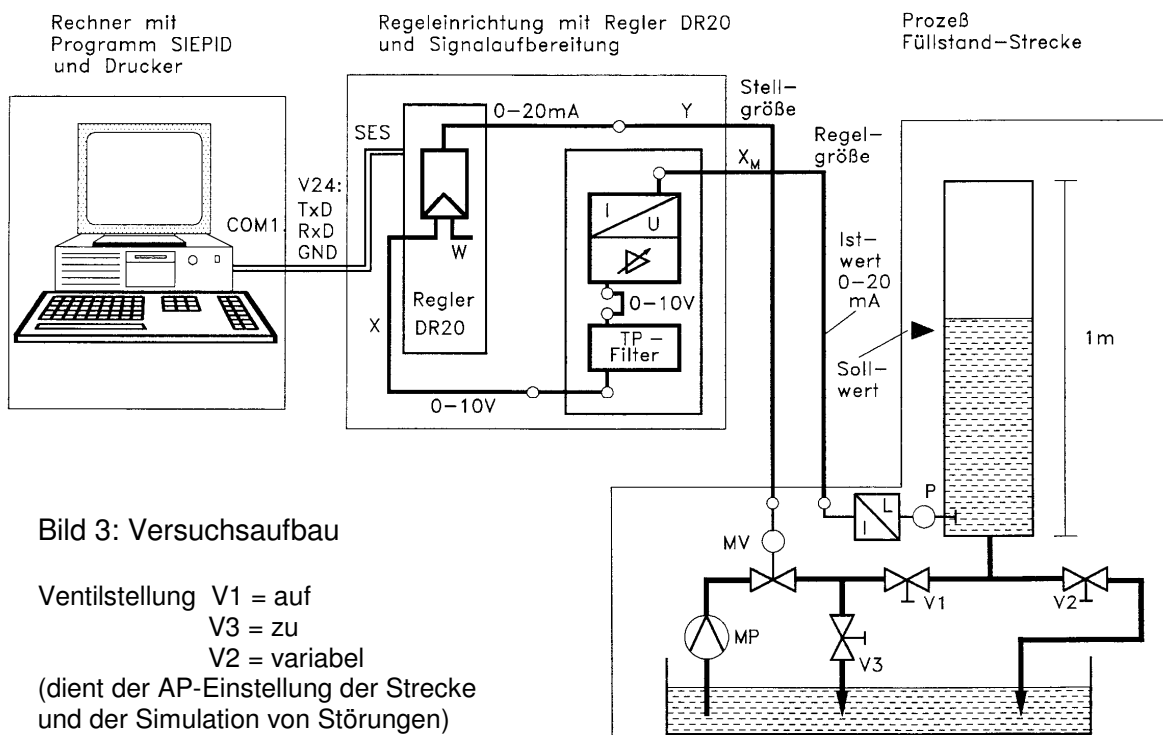


Bild 3: Versuchsaufbau

Ventilstellung V1 = auf
V3 = zu
V2 = variabel
(dient der AP-Einstellung der Strecke
und der Simulation von Störungen)

Aufgabenstellungen

3.1 Einstellung des Reglers DR20

- a) Stellen Sie die Betriebsart auf Hand und den Sollwert auf 50 %.
- b) Stellen Sie die Struktur an der Frontplatte ein.
Struktur: PI(D)-Verhalten, X_d -Anzeige +/-10 %
S20 = 0 (für Dezimalpunkt der Anzeige)
- c) Stellen sie die Parameter an der Frontplatte ein.
Parameter: $K_R = 0,1$; $T_N = 500$ s, D-Anteil ausschalten, $V_V = 5$
Grenzwert unten auf -5 %, oben auf +5 %

3.2 Inbetriebnahme der Füllstandsanlage mit Handsteuerung und Starten von SIEPID

- a) Stellen Sie mit Handsteuerung vom Regler aus einen mittleren Füllstand ein.
- b) Starten Sie das Programm SIEPID, Programmteil „Identifikation und Regleroptimierung“ und stellen Sie das Bedienbild „Kontinuierlicher PID-Regler“ ein.
Versuchsprotokoll: Ausdruck eines aussagefähigen Bedienbildes (mit „Druck“ von der Rechnerastatur aus)

3.3 Kalibrieren des Arbeitspunktes und Aufnehmen von Kennlinien (Programmteil: "Identifikation und Regleropt.", Bild: "kontinuierlicher PID-Regler")

- a) Stellen Sie im Beharrungszustand für den Füllstand (z.B. 50 cm) die Signalanzeige des Istwertes X auf den zugehörigen Wert (z.B. 50 %) ein.
- b) Nehmen Sie die folgenden statischen Kennlinien auf:
Messeinrichtung $X = f(L)$, X Signal der Regelgröße in %
Strecke $X = f(Y)$, Y Signal der Stellgröße in %
 L Füllstand in cm

Versuchsprotokoll: Diagramm der Kennlinien

- c) Bestimmen Sie aus der Streckenkennlinie den Streckenparameter K_S im Arbeitspunkt $X = 50$ %.

3.4 Aufnahme der Stell-Sprungantwort der Strecke im Arbeitspunkt und Ermittlung der Streckenkennwerte und Reglereinstellung. Die Anregung soll $\Delta Y = 6$ % betragen. (Programmteil: "Identifikation und Regleroptimierung")

Versuchsprotokoll:

- Ausdruck des Monitorbildes "Ausgabe von gemessener Stell- und Regelgröße" (Hardcopy vom Programm aus)
- Ausdruck des "Ergebnis"-Bildes mit Prozessmodell und Reglerparametern (über "Druck" von der Rechnerastatur aus)

3.5 Testen des Verhaltens der Füllstandsregelung (Programmteil "Bedienen und Beobachten", Bild: "kontinuierlicher PID-Regler")

- a) Führungsverhalten:
Die Sollwertänderung erfolgt sprunghaft und wird vom Programm aus vorgenommen. Die Sprunghöhe beträgt $\Delta W = 16$ %.
- b) Störverhalten:
Die Störung wird durch Verstellung des Handventils V2 erzeugt.
Versuchsprotokoll: - Ausdrucke der entsprechenden Monitorbilder, die die Verläufe von Führungs-, Stell- und Regelgröße vollständig zeigen. (Hardcopy vom Programm aus)

3.6 Darstellung des Regelverhaltens bei manueller Regelung

Der Bediener soll dabei die Information über die Verläufe von Regel- und Stellgröße dem Prozessleitbild auf dem Monitor entnehmen.

Aufgabe 3.3: Meß- und Stellkennlinie zum Versuch "Prozeßregelung"

