

Druckregelung mit WAGO und WinFACT 7 (BORIS)



1.) Aufrufen des Programms WinFACT 7 (BORIS)

Über die „Start“ Menüleiste gelangen Sie über „Programme“, „WinFACT 7“ und „Blockorientierte Simulation BORIS“ in das Simulationsprogramm.

Nach Betätigung des Buttons „User“ gelangen Sie in die entsprechende Menüleiste, mit der eine Simulation digitaler und analoger Eingangs- und Ausgangssignale möglich ist.

Informationen zum Anschluss des WAGO Feldbuscontrollers an einen PC, Konfiguration der analog Output und analog Input Blöcke in WinFACT 7 sowie die Zuordnung der MODBUS Adressen im WAGO System entnehmen Sie bitte dem Handbuch „**Inbetriebnahme WAGO Controller mit analogen Eingangs- und Ausgangsmodulen**“.

2.) Sprungantwort mit dem WAGO Feldbuscontroller (Betragsoptimum Entwurfsverfahren oder Prozent-Kennwert-Methode)

Zunächst muss das Modell der Druckregelung mit der Reihenklemmleiste des WAGO Feldbuscontrollers verbunden werden.

Da für diese Regelung je ein analoger Eingang (4-20 mA) und ein analoger Ausgang (0-20 mA) des WAGO Systems benötigt werden, wird die Regelgröße x zum Beispiel mit der Klemme 16 (GND mit der Klemme 18) und die Stellgröße y mit der Klemme 10 (GND mit der Klemme 12) verbunden (siehe auch WSCAD Schaltplan und Bild1).

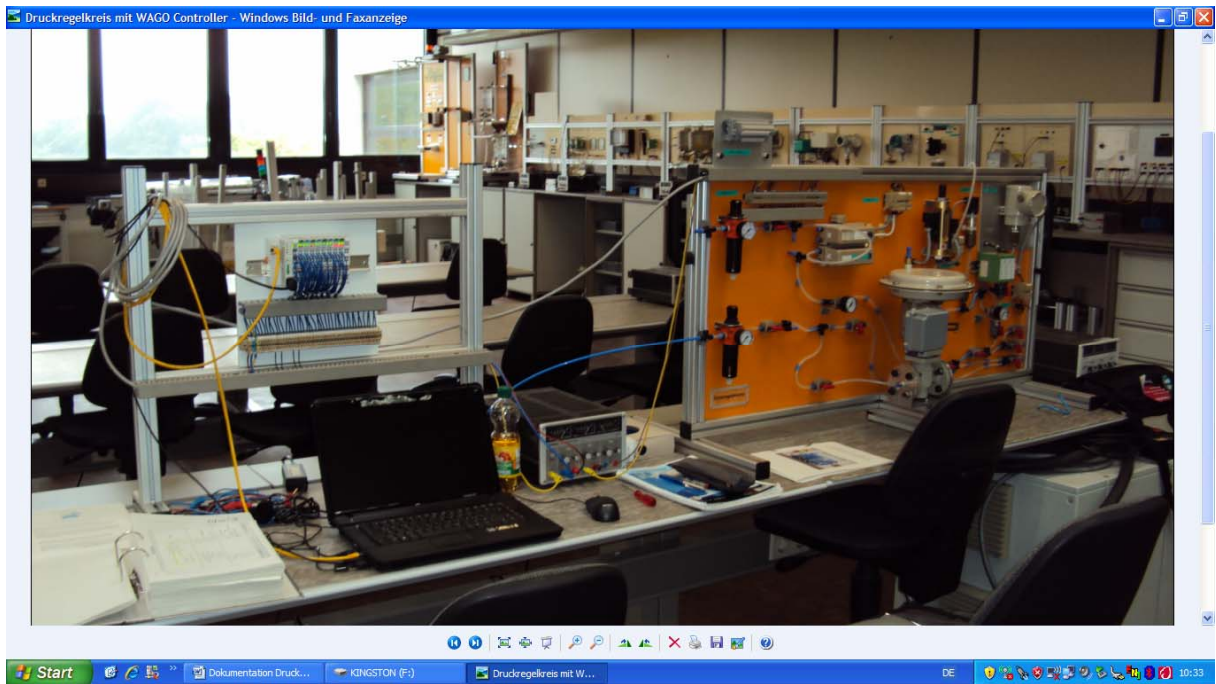


Bild 1: Druckregelung und WAGO Feldbuscontroller

Ist das Programm WinFACT 7 gestartet, können alle für die Ermittlung einer Sprungantwort notwendigen Blöcke wie in Bild 2 dargestellt aufgerufen werden.

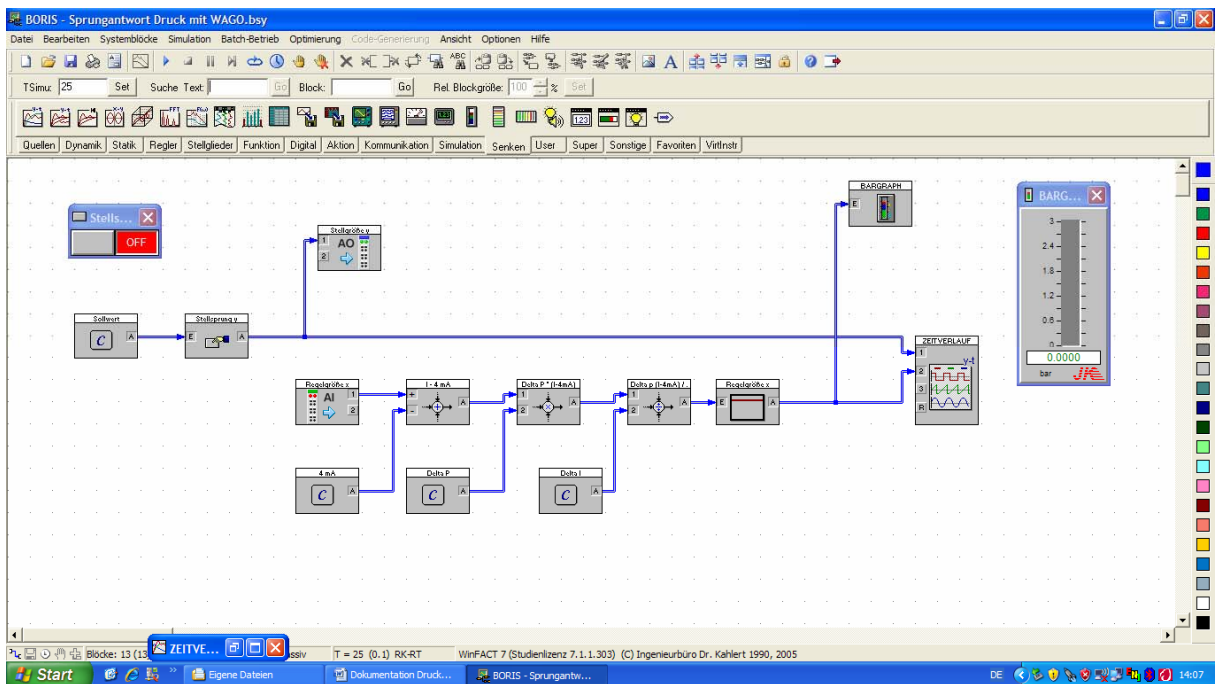


Bild 2: Ermittlung der Sprungantwort (Entwurfsverfahren Betragsoptimum)

Über den Button „User“ können die Blöcke „Analog Output“ (4. Stelle von links) und „Analog Input“ (5. Stelle von links) aufgerufen werden.

Der benötigte „Zeitverlauf“ kann über den Button „Senken“ dargestellt werden (1. Stelle von links).

Durch Betätigung von „Quellen“ kann der Sollwertblock „Konstante“ (5. Stelle von links) angezeigt werden. Diese Blöcke werden auch für die Berechnung der Regelgröße x benötigt. Der Sollwert für den Stellsprung y (Ausgangswert c) beträgt hier 20 mA.

Die für die Berechnung der Regelgröße x benötigten „Verknüpfen“ (1. Stelle von links) finden Sie unter dem Button „Funktion“.

Der Ausgang der Berechnung der Regelgröße x geht über den Button „Dynamik“ auf ein P-Glied (1. Stelle von links).

Der Button „Aktion“ ermöglicht die Darstellung des Stellsprungs y über den Block „Druckschalter“ (1. Stelle von links).

Zur optischen Darstellung der Regelgröße x kann zusätzlich über den Button „Senken“ ein Bargraph (17. Stelle von links) aufgerufen werden.

Die einzelnen Blöcke müssen dann, wie in Bild 2 zu sehen ist, miteinander verbunden werden.

Durch Doppelklicken auf die einzelnen Blöcke öffnen sich Fenster, in denen diese ihrer Verwendung entsprechend konfiguriert werden können. Ferner ist in diesen Fenstern die Vergabe der in Bild 2 gezeigten Blocknamen möglich.

In den „Analog Output“ und „Analog Input“ Blöcken werden zum Beispiel die gewünschten Signalgrößen eingestellt (Button „Dialog“). In diesem Fall sind die erforderlichen Signalgrößen 4-20 mA (750-473) für den Analogeingang und 0-20 mA für den Analogausgang.

Die entsprechende MODBUS Adresse muss hier ebenfalls vergeben werden (siehe auch Handbuch „**Inbetriebnahme WAGO Controller mit analogen Eingangs- und Ausgangsmodulen**“). Hier werden die MODBUS Adressen 2 und 3 (Analog In) sowie 512 und 513 (Analog Out) benötigt.

Wichtig: Die im Fenster sichtbare IP-Adresse muss lauten: 192.168.1.1
Im „Analog Output“ Block (Stellgröße y) muss bei der Auswahl „Output after Simulation Termination“ die „0“ angekreuzt sein.



Um das Einheitssignal 4-20 mA (Analog In) in die physikalische Größe 0-3 bar umzuwandeln, und graphisch als Regelgröße x anzeigen zu können, muss in der Regelstrecke eine Rechenoperation durchgeführt werden.

Hierfür benötigt man die oben erwähnten zusätzlichen drei Blöcke „Konstante“ und die drei Blöcke „Verknüpfen“, die hinter dem „Analog Input“ Block (Regelgröße x) angeordnet werden. Das Ergebnis wird auf den zweiten Eingang des Blocks „Zeitverlauf“ gegeben.

Als Rechengrundlage gilt die Formel für Life Zero:

$$I = ((P \times \Delta I) / \Delta P) + 4mA$$

Stellt man die Formel nach der gesuchten physikalischen Größe P um, so erhält man:

$$P = (\Delta P \times (I - 4mA)) / \Delta I$$

$$\text{hierbei ist } \Delta P = 3 \text{ bar und } \Delta I = 20 \text{ mA} - 4 \text{ mA} = 16 \text{ mA}$$

Die Ausgangsformel enthält insgesamt drei Rechnungen die in WinFACT 7 mit den Blöcken „Verknüpfen“ und „Konstante“ realisiert werden können. Mit drei einzelnen Rechenoperationen kann aus der Regelgröße x (Strom in mA) die physikalische Größe (Druck in bar) ermittelt werden (siehe Bild 2).

1. Rechnung: $I - 4mA$

(Ausgangswert c = 4 mA im Block „Konstante“ und Vorwahl Summation sowie negatives Vorzeichen bei Eingang 2 im Block „Verknüpfen“)

Das Ergebnis wird auf den Eingang 1 des nächsten Verknüpfers gesetzt und dort in der 2. Rechnung weiterverarbeitet. I ist hier die Regelgröße x (4 bis 20 mA).

2. Rechnung: $\Delta P \times (I - 4mA)$

mit $\Delta P = 3$ bar (Ausgangswert c im Block „Konstante“ und Vorwahl Multiplikation im Block „Verknüpfen“)

Das Ergebnis wird auf den Eingang 1 des nächsten Verknüpfers gesetzt und dort in der 3. Rechnung weiterverarbeitet.

3. Rechnung: $(\Delta P \times (I - 4mA)) / \Delta I$

mit $\Delta I = 16$ mA (Ausgangswert c im Block „Konstante“ und Vorwahl Division im Block „Verknüpfen“)

Das Ergebnis wird über das P-Glied als Regelgröße x (Druck in bar) auf den Eingang 2 des Blocks „Zeitverlauf“ gesetzt



Die Simulationsdauer muss nun über den Button „Simulationsparameter“ (Uhr) eingestellt werden (z.B. 25 sec.).

Wichtig: In diesem Fenster muss „Echtzeit“ angewählt sein.



Die Sprungantwort kann nun durch Betätigen von „Simulation starten“ und Betätigen des Drucktasters „Stellsprung y“ ermittelt werden (Bild 3). Hierfür sollte das Hauptventil der Luftzufuhr im Kanal im Innern des Arbeitstisches auf 5 bar und das Ventil V14 (Störgröße z) vor dem Schalldämpfer nur leicht geöffnet sein.

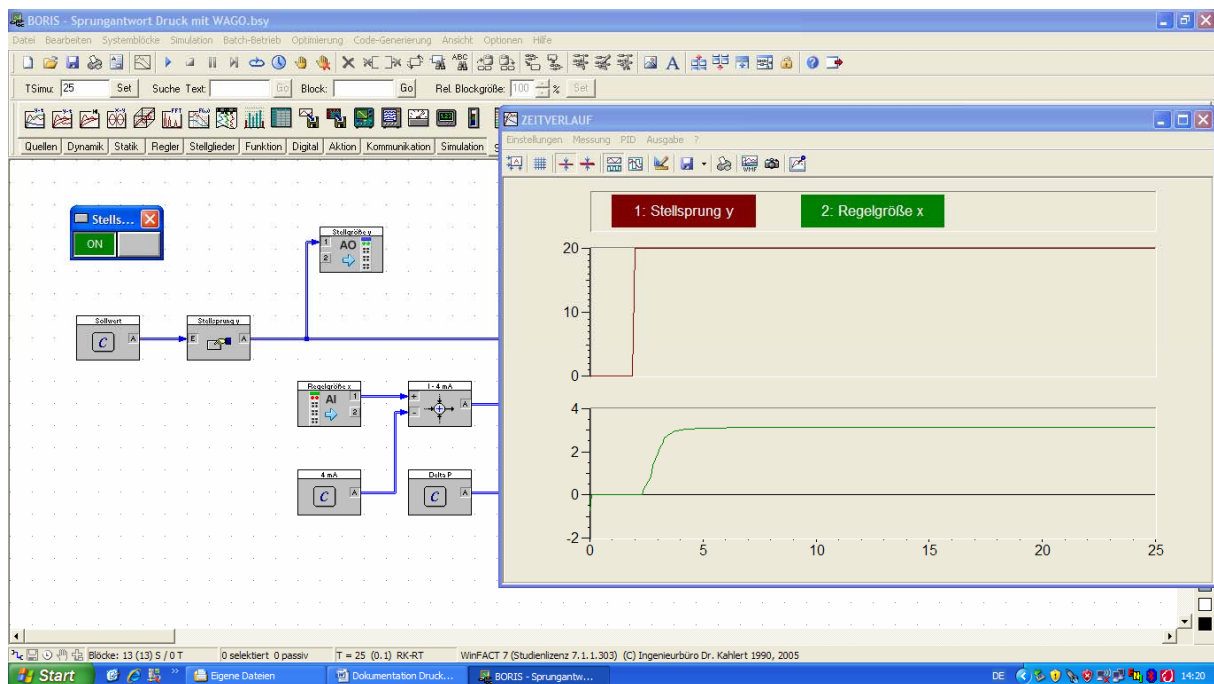


Bild 3: Stellsprung y und Sprungantwort x

Im Zeitverlauf kann der Stellsprung y und die Sprungantwort x durch mehrmaliges Drücken des Button „Automatisch skalieren“ (1. Stelle von links) sichtbar gemacht werden.

Ist die Simulation beendet, können nun mittels des Entwurfsverfahrens Betragsoptimum alle notwendigen Reglerparameter zeichnerisch und rechnerisch ermittelt werden.

Zu bestimmen sind:

K_{ps} , $T(10\%)$, $T(50\%)$, $T(90\%)$, T_1 , n , K_r , und T_n (PI-Regler)

K_{ps} , $T(10\%)$, $T(50\%)$, $T(90\%)$, T_1 , n , K_r , T_n und T_v (PID-Regler)

Das Entwurfverfahren Betragsoptimum wird im Unterricht durch Herrn Gondecki ausführlich besprochen.



3.) Sprungantwort mit dem PID Design Center in WinFACT 7 (Betragsoptimum Entwurfverfahren oder Prozent-Kennwert-Methode)

Auch hier muss zunächst das Modell der Druckregelung mit der Reihenklemmleiste des WAGO Feldbuscontrollers verbunden werden.

Da für die Druckregelung je ein analoger Eingang (4-20 mA) und ein analoger Ausgang (0-20 mA) des WAGO Systems benötigt werden, wird die Regelgröße x zum Beispiel mit der Klemme 16 (GND mit der Klemme 18) und die Stellgröße y mit der Klemme 10 (GND mit der Klemme 12) verbunden (siehe auch WSCAD Schaltplan und Bild 1).

Ist das Programm WinFACT 7 gestartet, können alle für die Ermittlung einer Sprungantwort notwendigen Blöcke wie in Bild 4 dargestellt aufgerufen werden. Mit dem PID Design Center kann die Regelstrecke automatisch ermittelt und analysiert werden. Nach erfolgter Streckenanalyse kann der eigentliche Reglerentwurf erfolgen. Eine umständliche zeichnerische und rechnerische Ermittlung der Parameter entfällt. Das PID Design Center berechnet die optimalen Werte für die Reglereinstellung selbstständig.

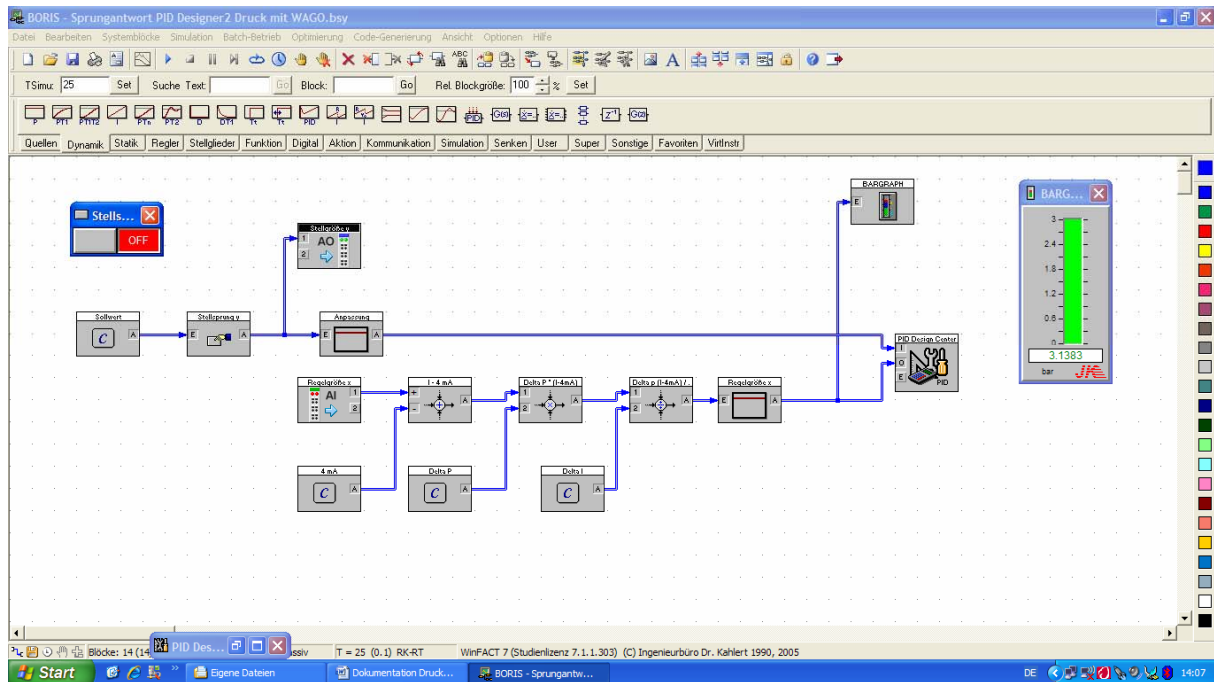


Bild 4: Ermittlung der Sprungantwort mit dem PID Design Center

Über den Button „User“ können die Blöcke „Analog Output“ (4. Stelle von links) und „Analog Input“ (5. Stelle von links) aufgerufen werden.

Der benötigte „PID Design Center“ kann ebenfalls über den Button „User“ dargestellt werden (8. Stelle von links).

Durch Betätigung von „Quellen“ kann der Sollwertblock „Konstante“ (5. Stelle von links) angezeigt werden. Diese Blöcke werden auch für die Berechnung der Regelgröße x benötigt. Der Sollwert für den Stellsprung y (Ausgangswert c) beträgt hier 20 mA.

Die für die Berechnung der Regelgröße x benötigten „Verknüpfer“ (1. Stelle von links) finden Sie unter dem Button „Funktion“.

Der Ausgang der Berechnung der Regelgröße x geht über den Button „Dynamik“ auf ein P-Glied (1. Stelle von links). Ein weiteres P-Glied wird zur „Anpassung“ hinter dem Stellsprung y benötigt. Hier wird das elektrische Einheitssignal 0-20 mA in die physikalische Größe 0-3 bar umgewandelt. Die Verstärkung in dem P-Glied beträgt 0,15 (3 bar / 20 mA).

Der Button „Aktion“ ermöglicht die Darstellung des Stellsprungs y über den Block „Druckschalter“ (1. Stelle von links).

Zur optischen Darstellung der Regelgröße x kann zusätzlich über den Button „Senken“ ein Bargraph (17. Stelle von links) aufgerufen werden.

Die einzelnen Blöcke müssen dann, wie in Bild 4 zu sehen ist, miteinander verbunden werden.

Durch Doppelklicken auf die einzelnen Blöcke öffnen sich Fenster, in denen diese ihrer Verwendung entsprechend konfiguriert werden können. Ferner ist in diesen Fenstern die Vergabe der in Bild 4 gezeigten Blocknamen möglich.

In den „Analog Output“ und „Analog Input“ Blöcken werden zum Beispiel die gewünschten Signalgrößen eingestellt (Button „Dialog“). In diesem Fall sind die erforderlichen Signalgrößen 4-20 mA (750-473) für den Analogeingang und 0-20 mA für den Analogausgang.

Die entsprechende MODBUS Adresse muss hier ebenfalls vergeben werden (siehe auch Handbuch „**Inbetriebnahme WAGO Controller mit analogen Eingangs- und Ausgangsmodulen**“). Hier werden die MODBUS Adressen 2 und 3 (Analog In) sowie 512 und 513 (Analog Out) benötigt.

**Wichtig: Die im Fenster sichtbare IP-Adresse muss lauten: 192.168.1.1
Im „Analog Output“ Block (Stellgröße y) muss bei der Auswahl „Output after Simulation Termination“ die „0“ angekreuzt sein.**



Um das Einheitssignal 4-20 mA (Analog In) in die physikalische Größe 0-3 bar umzuwandeln, und graphisch als Regelgröße x anzeigen zu können, muss in der Regelstrecke eine Rechenoperation durchgeführt werden.

Hierfür benötigt man die oben erwähnten zusätzlichen drei Blöcke „Konstante“ und die drei Blöcke „Verknüpfen“, die hinter dem „Analog Input“ Block (Regelgröße x) angeordnet werden. Das Ergebnis wird auf den zweiten Eingang des PID Design Centers gegeben.

Als Rechengrundlage gilt die Formel für Life Zero:

$$I = ((P \times \Delta I) / \Delta P) + 4mA$$

Stellt man die Formel nach der gesuchten physikalischen Größe P um, so erhält man:

$$P = (\Delta P \times (I - 4mA)) / \Delta I$$

hierbei ist $\Delta P = 3 \text{ bar}$ und $\Delta I = 20 \text{ mA} - 4 \text{ mA} = 16 \text{ mA}$

Die Ausgangsformel enthält insgesamt drei Rechnungen die in WinFACT 7 mit den Blöcken „Verknüpfen“ und „Konstante“ realisiert werden können. Mit drei einzelnen Rechenoperationen kann aus der Regelgröße x (Strom in mA) die physikalische Größe (Druck in bar) ermittelt werden (siehe Bild 4).

1. Rechnung: $I - 4\text{mA}$

(Ausgangswert $c = 4 \text{ mA}$ im Block „Konstante“ und Vorwahl Summation sowie negatives Vorzeichen bei Eingang 2 im Block „Verknüpfen“)

Das Ergebnis wird auf den Eingang 1 des nächsten Verknüpfers gesetzt und dort in der 2. Rechnung weiterverarbeitet. I ist hier die Regelgröße x (4 bis 20 mA).

2. Rechnung: $\Delta P \times (I - 4\text{mA})$

mit $\Delta P = 3 \text{ bar}$ (Ausgangswert c im Block „Konstante“ und Vorwahl Multiplikation im Block „Verknüpfen“)

Das Ergebnis wird auf den Eingang 1 des nächsten Verknüpfers gesetzt und dort in der 3. Rechnung weiterverarbeitet.

3. Rechnung: $(\Delta P \times (I - 4\text{mA})) / \Delta I$

mit $\Delta I = 16 \text{ mA}$ (Ausgangswert c im Block „Konstante“ und Vorwahl Division im Block „Verknüpfen“)

Das Ergebnis wird über das P-Glied als Regelgröße x (Druck in bar) auf den Eingang 2 (0) des PID Design Centers gesetzt.



Die Simulationsdauer muss nun über den Button „Simulationsparameter“ (Uhr) eingestellt werden (z.B. 25 sec.).

Wichtig: In diesem Fenster muss „Echtzeit“ angewählt sein.

Die Sprungantwort kann nun durch Betätigen von „Simulation starten“ und Betätigen des Drucktasters „Stellsprung y“ ermittelt werden (Bild 5). Hierfür sollte das Hauptventil der Luftzufuhr im Kanal im Innern des Arbeitstisches auf 5 bar und das Ventil V14 (Störgröße z) vor dem Schalldämpfer nur leicht geöffnet sein.

Im PID Design Center kann der Stellsprung y und die Sprungantwort x durch mehrmaliges Drücken des Button „Gemeinsame Ordinate für Original-Signale“ (1. Stelle von links) im Fenster „Signale original“ sichtbar gemacht werden (Bild 5).

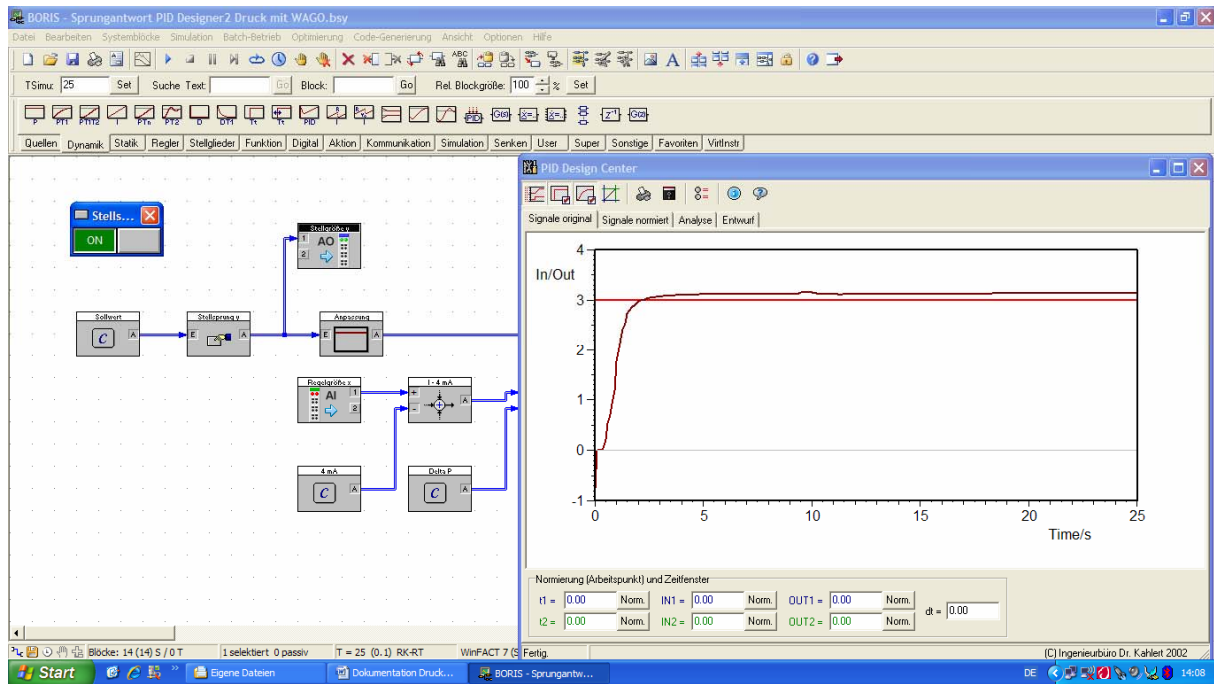


Bild 5: Stellsprung y und Sprungantwort x im PID Design Center

Ist die Simulation beendet und die Regelstrecke ermittelt (Stellsprung y und Sprungantwort x), können nach Betätigung des Buttons „Analyse“ alle benötigten Strecken-Kennwerte automatisch ermittelt werden (Bild 6).

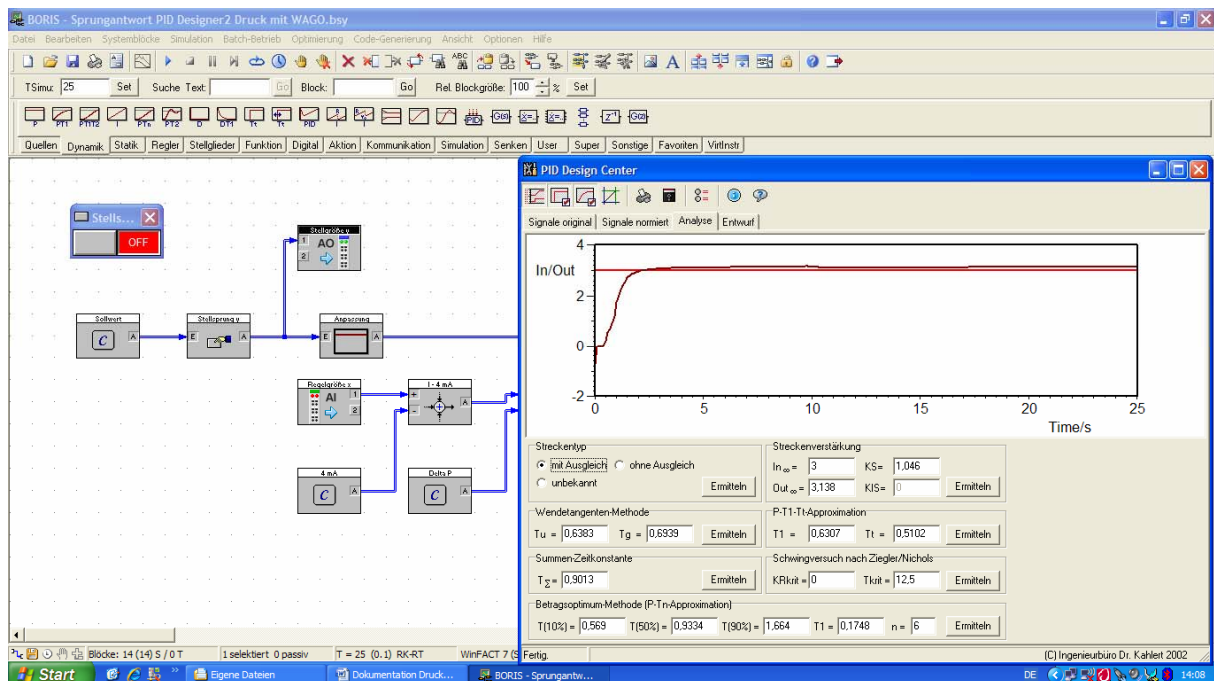


Bild 6: Analyse der Strecken-Kennwerte im PID Design Center

Über den Button „Entwurf“ können nun alle benötigten Reglerparameter errechnet werden. Dazu muss im Fenster „Entwurfsverfahren“ der Punkt „Betragsoptimum“ und im Fenster „Reglertyp“ der gewünschte Regler angewählt werden (Bild 7).

Die für eine Regelung benötigten optimalen Reglerparameter K_r und T_n (PI-Regler) sowie K_r , T_n und T_v (PID-Regler) werden automatisch bestimmt und können somit in jedem Regler Anwendung finden (Bild 7).

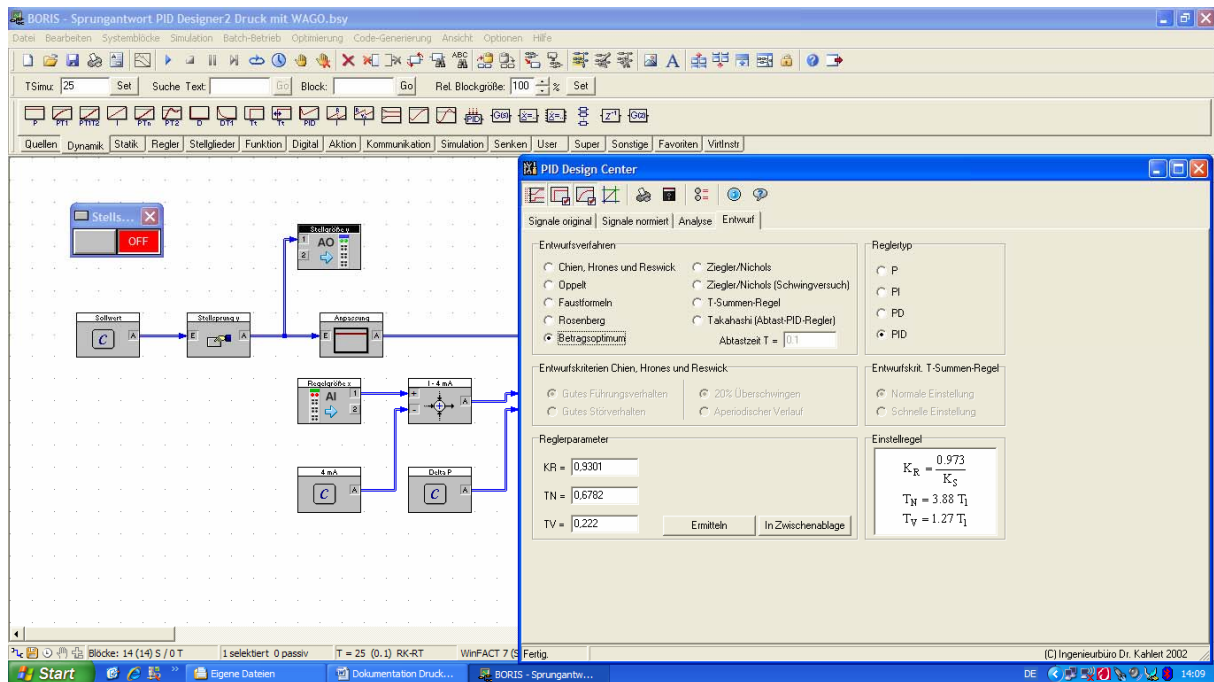


Bild 7: Entwurf der Reglerparameter im PID Design Center

4.) Regelkreis Druckstrecke mit WAGO in WinFACT 7

Die in Kapitel 2.) oder 3.) berechneten Reglerparameter sollen nun in einer WinFACT 7 Regelstrecke Anwendung finden. Die ermittelten Parameterwerte können natürlich in jedem Regler eingesetzt werden.

Vorraussetzung für eine ordnungsgemäße Regelung und Simulation der Druckstrecke ist die oben beschriebene Verdrahtung der Druckstrecke mit dem WAGO System.

Im Programm WinFACT 7 muss zunächst wie in Bild 8 abgebildet ein Regelkreis aufgebaut werden.

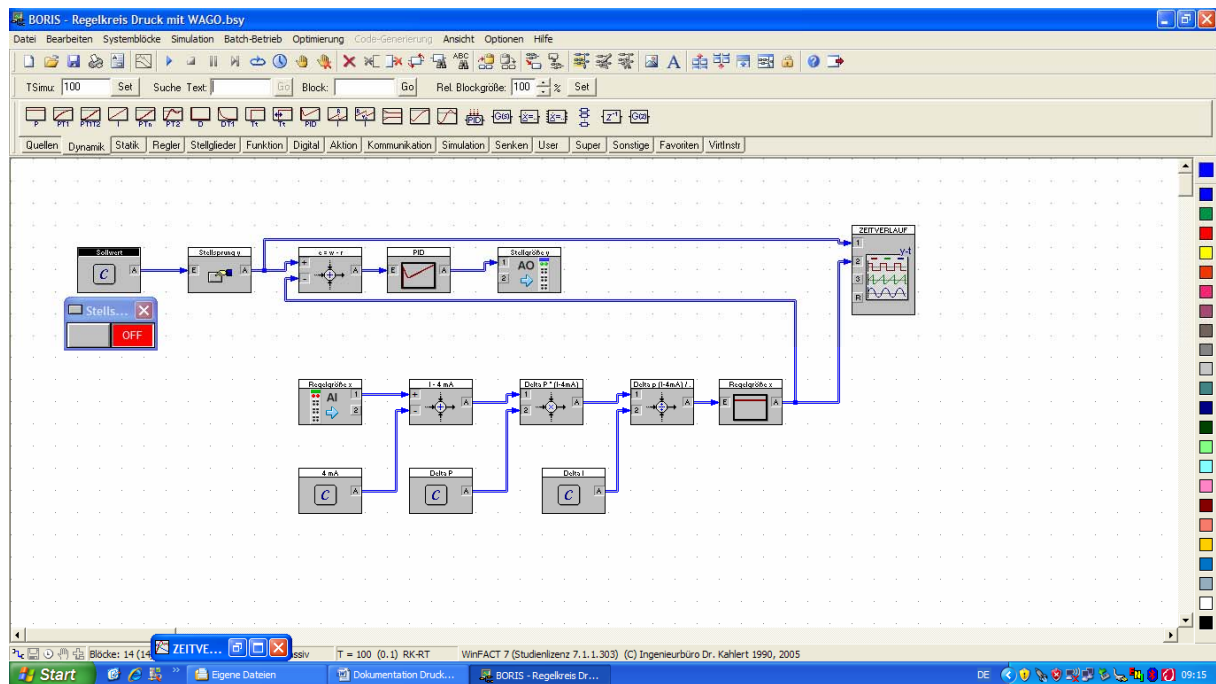


Bild 8: Regelkreis Druckstrecke mit WAGO in WinFACT 7

Über den Button „User“ können die Blöcke „Analog Output“ (4. Stelle von links) und „Analog Input“ (5. Stelle von links) aufgerufen werden.

Der benötigte „Zeitverlauf“ kann über den Button „Senken“ dargestellt werden (1. Stelle von links).

Durch Betätigung von „Quellen“ kann der Sollwertblock „Konstante“ (5. Stelle von links) angezeigt werden. Diese Blöcke werden auch für die Berechnung der Regelgröße x benötigt. Der Sollwert für den Stellsprung y (Ausgangswert c) beträgt hier z.B. 1,5 bar.

Der Button „Aktion“ ermöglicht die Darstellung des Stellsprungs y über den Block „Druckschalter“ (1. Stelle von links).

Die „Verknüpfen“ für die Ermittlung der Regelgröße x und Stellgröße y erhält man über den Button „Funktion“ (1. Stelle von links). Der Ausgang der Berechnung der Regelgröße x geht über den Button „Dynamik“ auf ein P-Glied (1. Stelle von links).

In der Leiste „Dynamik“ befindet sich das „PID-Glied“ (11. Stelle von links).

Die einzelnen Blöcke müssen dann, wie in Bild 8 zu sehen ist, miteinander verbunden werden.

Durch Doppelklicken auf die einzelnen Blöcke öffnen sich Fenster, in denen diese ihrer Verwendung entsprechend konfiguriert werden können.
Ferner ist in diesen Fenstern die Vergabe der in Bild 8 gezeigten Blocknamen möglich.

Bei dem „Verknüpfen“ ($e=w-r$) für die Ermittlung der Stellgröße y ist zu beachten, dass von den zwei benötigten Eingängen der zweite Eingang ein negatives Vorzeichen erhält.
Ebenfalls ist der Punkt „Summation“ anzuklicken.

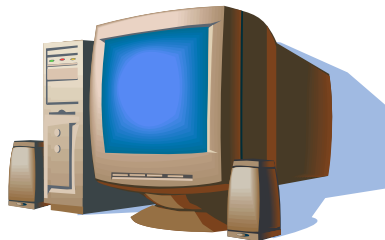
In dem Block „PID-Glied“ sind die gewünschten Regelanteile auszuwählen.
Außerdem müssen hier die zuvor ermittelten Regelparameter eingegeben werden.
Unter dem Button „Begrenzung“ müssen die Grenzwerte $y_{min} = 0$ und $y_{max} = 20$ eingestellt werden (Betriebsart: Begrenzung aktiv und Anti-Windup-Halt).

In den „Analog Output“ und „Analog Input“ Blöcken werden zum Beispiel die gewünschten Signalgrößen eingestellt (Button „Dialog“). In diesem Fall sind die erforderlichen Signalgrößen 4-20 mA (750-473) für den Analogeingang und 0-20 mA für den Analogausgang.
Die entsprechende MODBUS Adresse muss hier ebenfalls vergeben werden (siehe auch Handbuch „**Inbetriebnahme WAGO Controller mit analogen Eingangs- und Ausgangsmodulen**“). Hier werden die MODBUS Adressen 2 und 3 (Analog In) sowie 512 und 513 (Analog Out) benötigt.

Wichtig: Die im Fenster sichtbare IP-Adresse muss lauten: 192.168.1.1
Im „Analog Output“ Block (Stellgröße y) muss bei der Auswahl „Output after Simulation Termination“ die „0“ angekreuzt sein.

Die Simulationsdauer muss über den Button „Simulationsparameter“ (Uhr) eingestellt werden (z.B. 50 sec.).

Wichtig: In diesem Fenster muss „Echtzeit“ angewählt sein.



Der Regelkreis kann nun über „Simulation starten“ aktiviert werden (Bild 9).

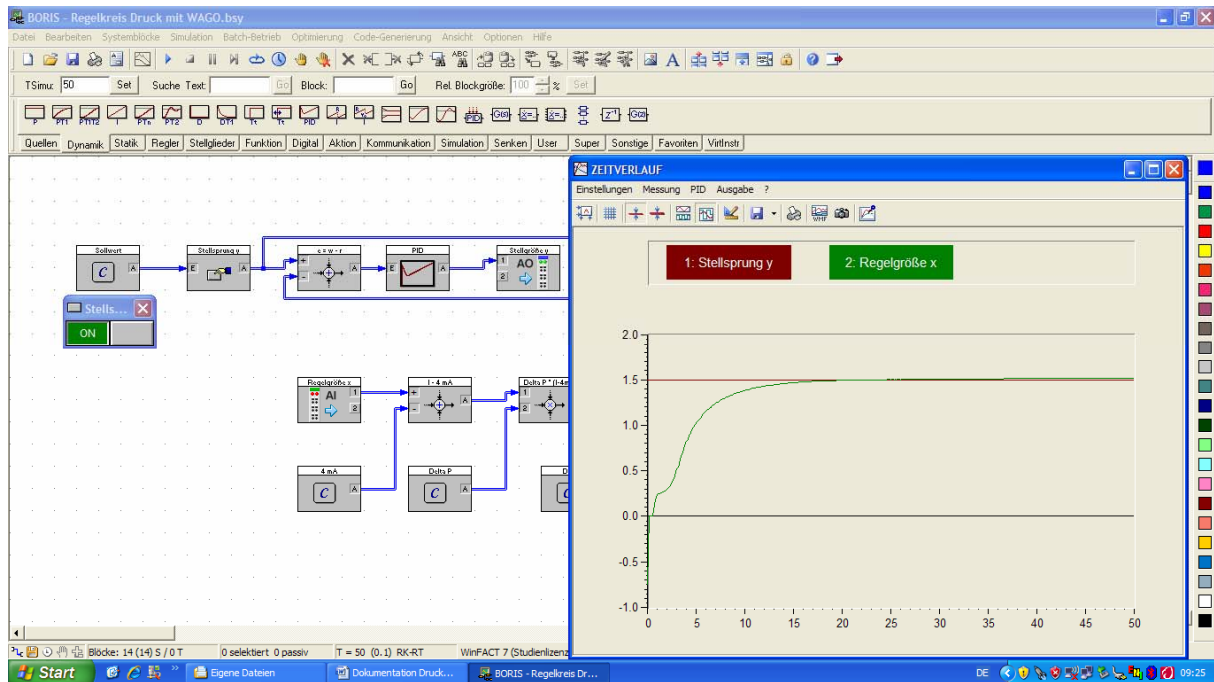


Bild 9: Regelkreis Druckstrecke mit Stellsprung y und Regelgröße x

Im Zeitverlauf kann der Stellsprung y und die Regelgröße x durch mehrmaliges Drücken des Button „Automatisch skalieren“ (1. Stelle von links) sichtbar gemacht werden (Bild 9).

5.) Verhalten des Regelkreises mit einer Störgröße z

Auf dem Modell der Druckregelung befindet sich vor dem Schalldämpfer das Ventil V14 (Störgröße z), mit dem eine Störgröße z auf die Regelstrecke geschaltet werden kann.

Man beobachtet, wie in Bild 10 zu erkennen ist, wie die Störgröße die Regelung beeinflusst.

Die Regelung wirkt der Störgröße jedoch entgegen, um den gewünschten Sollwert wieder zu erlangen.

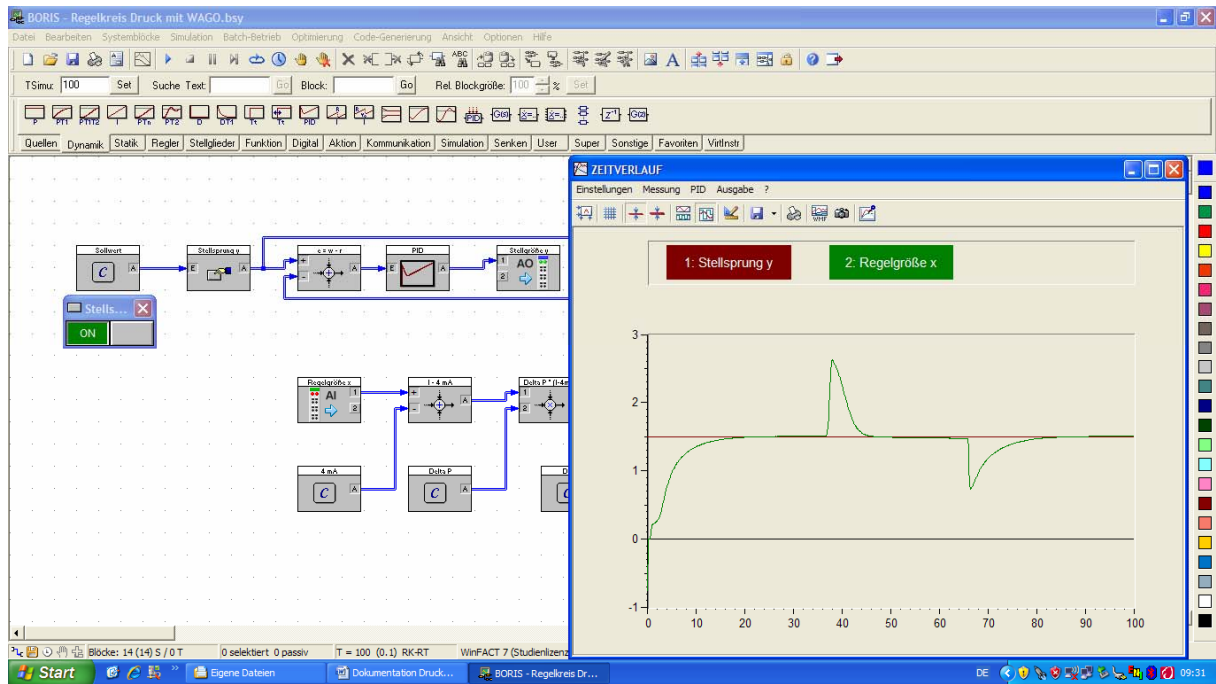


Bild 10: Regelkreis Druckstrecke mit zwei Störgrößen z