


	Versuch Nr. 3	30.09.2019	 HOCHSCHULE RAVENSBURG-WEINGARTEN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Labor Regelungstechnik	Reglerentwurf mit Wurzelortskurven		

Versuch 3

Stephan Scholz

30. September 2019

I Grundlagen

Das einfachste dynamische System der Regelungstechnik ist die gewöhnliche Differentialgleichung erster Ordnung

$$T \dot{y}(t) + y(t) = u(t) \quad (1)$$

mit der Zeitkonstanten $T > 0$, dem Systemausgang $y \in C^1(\mathbb{R}, \mathbb{R})$ und dem Systemeingang $u \in C(\mathbb{R}, \mathbb{R})$. Mit der Laplacetransformation

$$sT Y(s) + Y(s) = U(s)$$

wird das Eingangs-Ausgangsverhalten dargestellt als

$$G_{PT_1}(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{sT + 1} \quad (2)$$

Dieses System (2) wird als PT_1 -Glied bezeichnet. Durch Reihenschaltung des PT_1 -Glieds wie in Abbildung 1 erhält man komplexere Systeme bzw. im Zeitbereich gewöhnliche Differentialgleichungen mit höherer Ordnung.

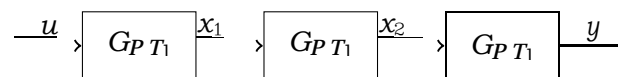



Abbildung 1: Blockschaltbild eines PT_3 -Systems

Das vorliegende System dritter Ordnung bzw. PT_3 -Glied G_{PT_3} hat die Übertragungsfunktion

$$G_{PT_3}(s) = \frac{1}{(sT + 1)^3} \quad (3)$$

mit einer Zeitkonstanten $T = 1$.

	Versuch Nr. 3	30.09.2019	 HOCHSCHULE RAVENSBURG-WEINGARTEN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Labor Regelungstechnik	Reglerentwurf mit Wurzelortskurven		

1.1 Aufgaben

1. Bestimmen Sie die Pol- und Nullstellen des Systems (3). Ist das System stabil?
2. Leiten Sie folgende Reglertypen aus dem Zeitbereich her und erklären Sie diese:
 - a) Proportional- bzw. P-Regler
 - b) Proportional-Integral- bzw. PI-Regler
 - c) Proportional-Integral-Differential- bzw. PID-Regler
3. Zum geschlossenen Regelkreis:
 - a) Zeichnen Sie das Blockschaltbild
 - b) Leiten Sie die Führungsübertragungsfunktion G_{CL} her
 - c) Berechnen Sie die Übertragungsfunktion des offenen G_O und des geschlossenen Regelkreises G_{CL} für den P-Regler

2 Stabilitätsanalyse und Regler-Parametrierung

Ein Regler G_c wird immer so ausgelegt, dass er bestimmte Kriterien erfüllt:


- Er muss die Stabilität des geschlossenen Regelkreises gewährleisten.
- Führungsverhalten: der Ausgang y soll möglichst gut einer Führungsgröße bzw. Referenz w folgen.
- Störverhalten: der Regler soll den Einfluss von Störungen z möglichst gut minimieren.
- Robustheit: der Regler soll auch bei unsicheren/ungenauen Systemparametern die obigen Aufgaben erfüllen.

Daher muss der Regler so eingestellt werden, dass die obigen Kriterien erfüllt werden. Ein nützliches Werkzeug zur Regler-Parametrierung ist die Wurzelortskurve, welche die Polstellen des geschlossenen Regelkreises in Abhängigkeit der gewählten Verstärkung K_p darstellt. Somit erkennt man leicht, ob ein geschlossenes System für gewissen Werte von K_p instabil werden.

2.1 Aufgaben

1. P-Regler

- a) Stabilität:
Berechnen Sie die Verstärkung K_p für den der geschlossene Regelkreis stabil ist. Hinweis: Nutzen Sie das Routh-Hurwitz-Kriterium.

	Versuch Nr. 3	30.09.2019	 HOCHSCHULE RAVENSBURG-WEINGARTEN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Labor Regelungstechnik	Reglerentwurf mit Wurzelortskurven		

- b) Wurzelortskurve:
 Bestimmen Sie die Polstellen des geschlossenen Regelkreises für $K_p \in \{0, 1, \dots, 10\}$ mit MATLAB und zeichnen Sie ein Wurzelortskurven-Diagramm per Hand. Stimmen die Überlegungen zur Stabilität aus Teilaufgabe a) mit den Ergebnissen der Wurzelortskurve überein?

2. PI-Regler

- a) Kompensation von Polstellen:
 Bestimmen Sie zuerst die Zeitkonstante T_N so, dass eine Polstelle des Systems (3) im geschlossenen Regelkreis kompensiert wird. Wieso ist diese Kompensation hier zulässig?
- b) Stabilität:
 Berechnen Sie anschließend die Verstärkung K_p für den der geschlossene Regelkreis stabil ist.
- c) Wurzelortskurve:
 Bestimmen Sie das Wurzelortskurven-Diagramm mittels MATLAB (rlocus) und den Proportionalfaktor K_p bei einer Dämpfung von $\zeta = 0.5$.
- d) Sprungantwort:
 Berechnen Sie die Sprungantwort des geschlossenen Regelkreises mit MATLAB (step) für den gefundenen Wert von K_p .

3. PID-Regler

- a) Kompensation von Polstellen:
 Bestimmen Sie zuerst die Zeitkonstanten T_N und T_V so, dass zwei Polstellen des Systems (3) im geschlossenen Regelkreis kompensiert werden.
- b) Stabilität:
 Berechnen Sie anschließend die Polstellen des geschlossenen Regelkreises in Abhängigkeit der Verstärkung K_p . Ist der geschlossene Regelkreis für alle $K_p > 0$ stabil?
- c) Verstärkung:
 Bestimmen Sie mit der vorgegebenen Dämpfung $\zeta = 0.5$ der Verstärkung K_p und berechnen Sie den Prozentsatz des Überschwingens.

3 Experimentelle Durchführung

3.1 MATLAB

Implementieren Sie das PT-3-System (3) und den P-, PI- und PID-Regler für die folgenden Parametrierungen und beantworten Sie die Fragen:

1. P-Regler

- a) Welche Sprungantworten ergeben sich für $K_p \in \{0.1, 1.0, 7.8\}$?

b) Erreicht die Sprungantwort die Führungsgröße/Referenz und falls nicht, warum?

2. **PI-Regler** Kompensieren Sie eine Polstelle, wie in Teilaufgabe 2.1.2.

- Für welche Werte von K_p wird das System vollständig gedämpft? Erstellen Sie für diese Werte von K_p Sprungantworten.
- Wie verhält sich die Sprungantwort an der Stabilitätsgrenze des geschlossenen Regelkreises.

3. **PID-Regler** mit Kompensation zweier Polstellen

- Erstellen Sie für die Dämpfung $\zeta = 0.5$ eine Sprungantwort und vergleichen Sie diese mit der Sprungantwort bei der kritischen Dämpfung $\zeta = 1$.
- Prüfen Sie die Stabilität des geschlossenen Regelkreises händisch nach indem Sie die Verstärkung etappenweise erhöhen und die Sprungantwort darstellen.

4. **PID-Regler** ohne Kompensation zweier Polstellen

- Wählen Sie andere Werte für die Zeitkonstanten des Reglers, z.B. $T_V = \frac{T}{4}$ und $T_N = 4T$ und überprüfen Sie die Sprungantworten in der Umgebung der Verstärkung $K_p = 1.0$.
- Wird Ihr geschlossener Regelkreis für eine bestimmte Verstärkung instabil? Prüfen Sie dies nach, indem Sie die Verstärkung etappenweise erhöhen.

3.2 Hardware

- Gehen Sie genauso vor, wie bei dem obigen MATLAB-Versuch vor und nutzen Sie dessen Regler-Parametrierungen.
- Speichern Sie sich die Ergebnisse als Excel- und CSV-Datei ab.
- Vergleichen Sie Ihre MATLAB-Simulation mit den Ergebnissen des Hardware-Experiments.

1. Einführung

In diesem Versuch geht es um den theoretischen Reglerentwurf mit Hilfe von Wurzelortskurven und die praktische Erprobung der ermittelten Regler an einer vorgegebenen Regelstrecke:

- Berechnung von Wurzelortskurven
- Untersuchung der Eigenschaften des Regelkreises unter Verwendung verschiedener Reglertypen
- Reglereinstellungen mit Hilfe der Wurzelortskurve und Vergleich mit eigenen Testwerten
- Zusammenhang zwischen Wurzelortskurven und dem dynamischen Verhalten von Regelkreisen

2. Versuchsanordnung

Gegeben ist ein Regelkreis nach Abb. 1 mit einer Regelstrecke 3. Ordnung. Die Regelstrecke ist als Analogrechnerhaltung realisiert, als Regler fungiert eine MOELLER Easy Compact-SPS mit wahlweise einstellbaren P-, PI- und PID-Reglern.

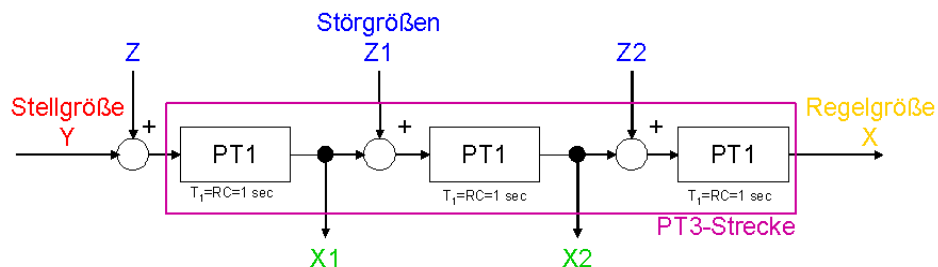


Abb. 1: Schema der PT3-Regelstrecke

Übertragungsfunktion der Strecke: $G_S(s) = \frac{1}{(1+sT_1)^3}; \quad T_1 = 1 \text{ sec}$

Führungsübertragungsfunktion: $G_W(s) = \frac{X(s)}{W(s)} = \frac{G_R \cdot G_S}{1 + G_R \cdot G_S}$

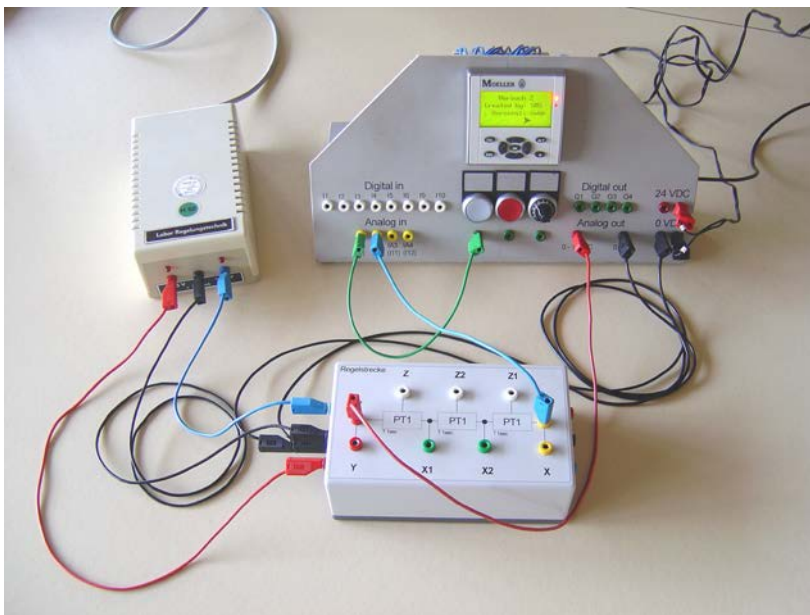


Abb. 2: Aufbau eines Regelkreises mit PT3-Strecke und MOELLER Compact-SPS als PID-Regler

2.1. Die Reglereinheit

Die komplette MOELLER Compact-SPS wurde auf eine Aluminiumplatte montiert, die nach hinten abgewinkelt ist und als Standfuß agiert. Alle Ein- u. Ausgänge wurden nach vorne auf 4mm Buchsen gelegt.

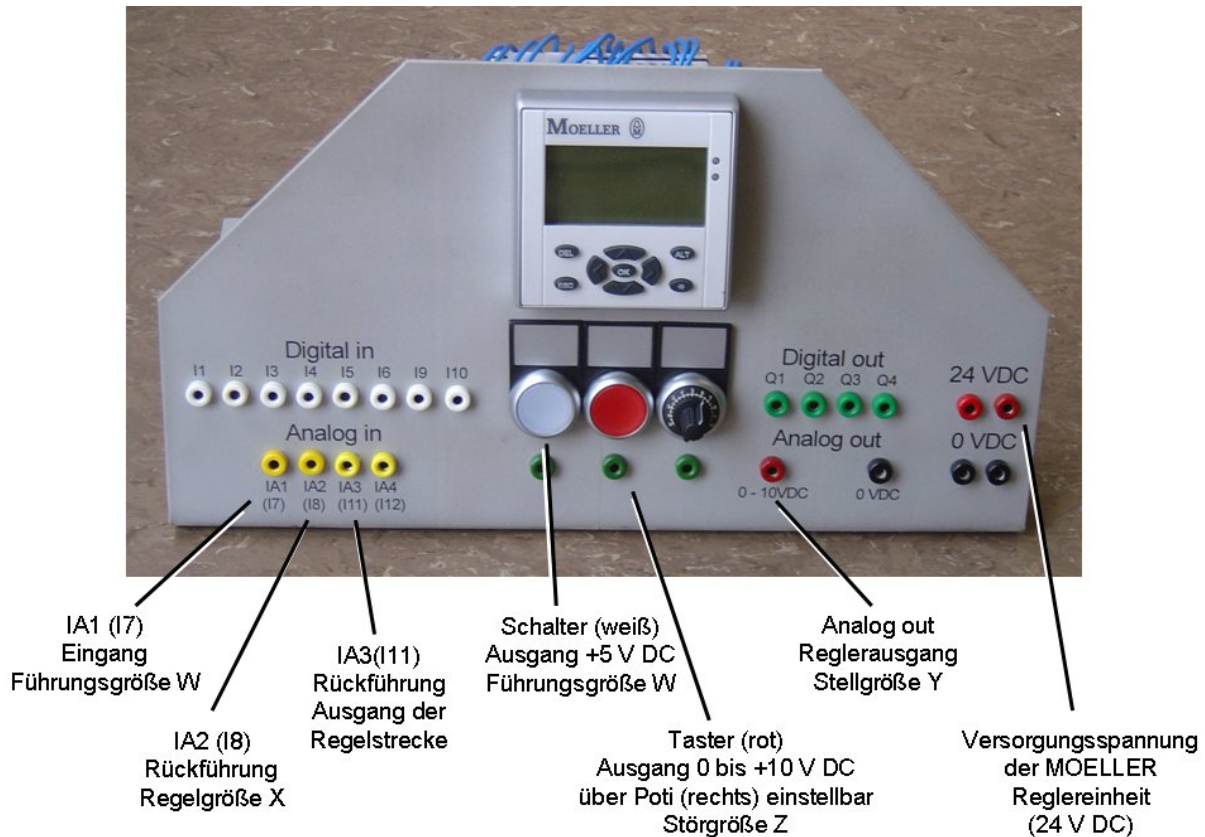


Abb. 3: Aufgebaute Reglereinheit mit MOELLER Easy Regler und Anschlussbuchsen

2.2. Bedienung der MOELLER Easy Reglereinheit

Die MOELLER Easy Reglereinheit, eine Compact-SPS, hat je nach Maske spezielle Tasten, die es ermöglichen sich durch die Masken durchzuhangeln.

2.2.1. Startbildschirm



Abb. 4: Startbildschirm der MOELLER EASY Reglereinheit

Wird die Compact-SPS gestartet, so meldet sie sich mit dem Startbildschirm. Die rote LED rechts von dem Display signalisiert, dass der Regler ausgeschaltet ist. Um in das nächste Menü (Allgemein) zuzugreifen wird die Pfeiltaste nach rechts gedrückt.

2.2.2. Menü Allgemein (Betrieb)

Im Menü „Allgemein“ werden die wichtigsten Informationen angezeigt: zum einen wird der Status des Reglers und Reglertyp angezeigt, sowie die Führungsgröße und die Regelgröße

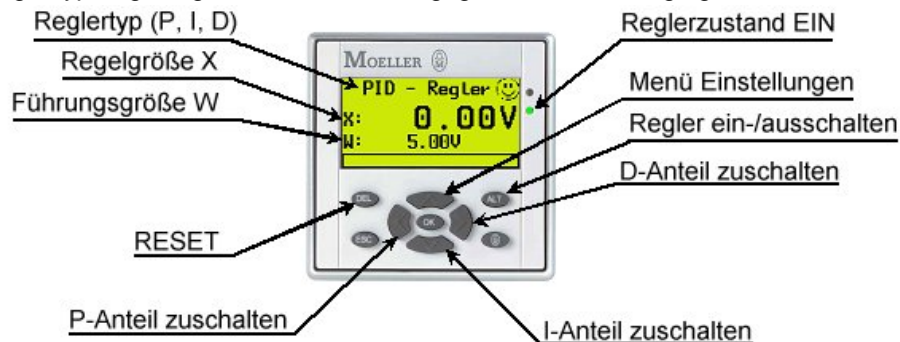


Abb. 5: Erklärung und Tastenbezeichnung von „Menü Allgemein“

Über die Tasten können die Regler zu- und abgeschaltet werden, sowie in das Menü „Einstellungen“ gewechselt werden. Dies geschieht durch die Pfeiltaste nach oben.

2.2.3. Menü Einstellungen

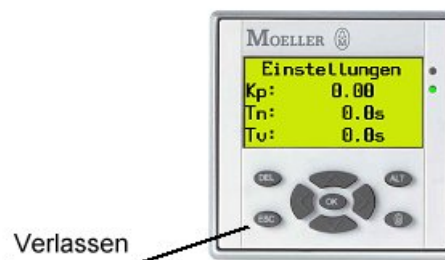


Abb. 6: Menü Einstellungen

In diesem Menü werden die Einstellungen für den Regler getätigt. Um die Einstellungen ändern zu können, wird die „OK“-Taste gedrückt und ein schwarzer Balken blinkt über einem Wert. Durch die Pfeiltasten nach oben und unten kann der blinkende Cursor an die richtige Stelle gelenkt werden. Durch ein erneutes Drücken der „OK“-Taste kommt man in den Eingabe-Modus. Um die Stelle auszuwählen werden die Pfeiltasten nach links oder rechts gedrückt. Der Wert wird über die Pfeiltasten nach oben oder unten geändert. Mit einem abschließendem Betätigen der „OK“-Taste wird der Wert in die Compact-SPS übernommen. Um dieses Menü zu verlassen, drücken Sie die „ESC“-Taste und gelangen wieder zum „Allgemeinen Menü“.

2.3. Software zur Bedienung der Reglereinheit

2.3.1. SPS Programm

Das SPS-Programm beinhaltet im Wesentlichen den PID-Regler, sowie die für die Visualisierung relevanten Masken. Das Programm wurde so einfach wie möglich gehalten. Alle wesentlichen Variablen sind in Merkern hinterlegt. Die Bedienung erfolgt über Softkeys und kann auch über einen PC erfolgen.

2.3.2. Linienschreiber

Der Linienschreiber ist Freeware von MOELLER und ist auf die Compact-SPS zugeschnitten. Mit diesem Programm können zwei Arten von Reglern aufgezeichnet werden, der Zweipunktregler und der für diesen Versuch interessantere PID-Regler.

Die Verbindung zum PC erfolgt über das Programmierkabel. Die Merker werden zyklisch ausgelesen und bei Bedarf geschrieben.

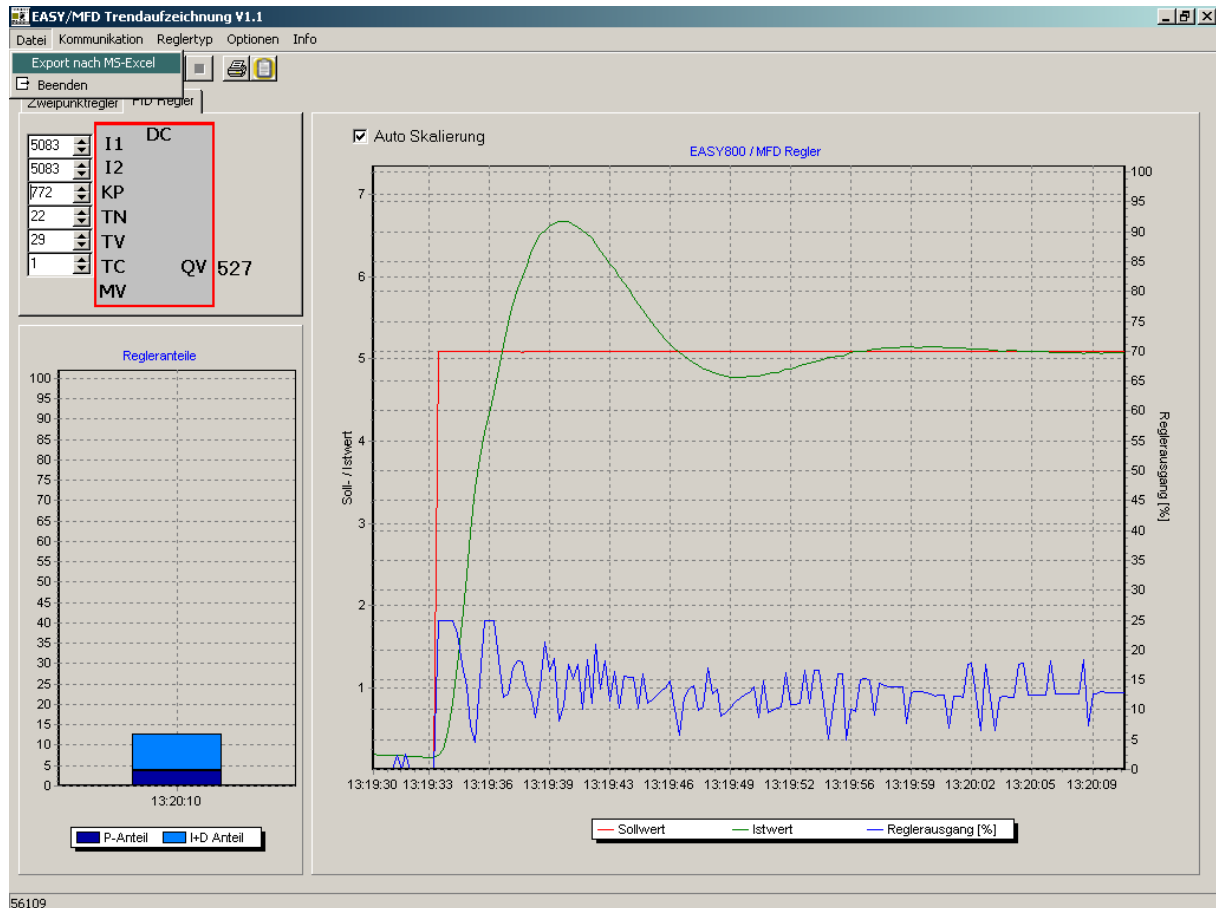


Abb. 7: Linienschreiber von MOELLER (Autor: Paul Knodel, Moderator des MOELLER Forums <http://www.easy-forum.net/>)

Beim ersten Start der Software, werden die Schnittstellenparameter überprüft. Unter dem Menüleisteneintrag „Kommunikation“ → „Schnittstelle“ können Sie die Kommunikationsschnittstelle auswählen mit der das Programm Kontakt mit der Compact-SPS aufnehmen kann. Nun ist der Linienschreiber einsatzbereit.

Mit dem Button „Online“ wird die Kommunikation zur Compact-SPS aufgebaut. Mittels der Eingabefelder links vom Kasten DC können die Parameter KP, TN und TV direkt geändert werden. Diese Werte werden im nächsten Zyklus der Compact-SPS übernommen.

Zu beachten ist die Skalierung der Werte. Es gelten folgende Skalierungen:

- Proportionalverstärkung K_p [%], der Wert 100 entspricht einem K_p (Faktor) von 1,
- Nachstellzeit T_n [0.1 s], Wertebereich 0...65535, d.h. 1 entspricht 0.1 s, max. 6553.5 s,
- Vorhaltezeit T_v [0.1 s], Wertebereich 0...65535, siehe T_n .

Mit der „▶“-Taste können Sie die Aufzeichnung starten und mit der „■“-Taste wieder stoppen. Wird erneut die Aufzeichnung gestartet, so fragt das Programm nach, ob Sie einen neuen Graphen aufzeichnen möchten oder weiter aufzeichnen.

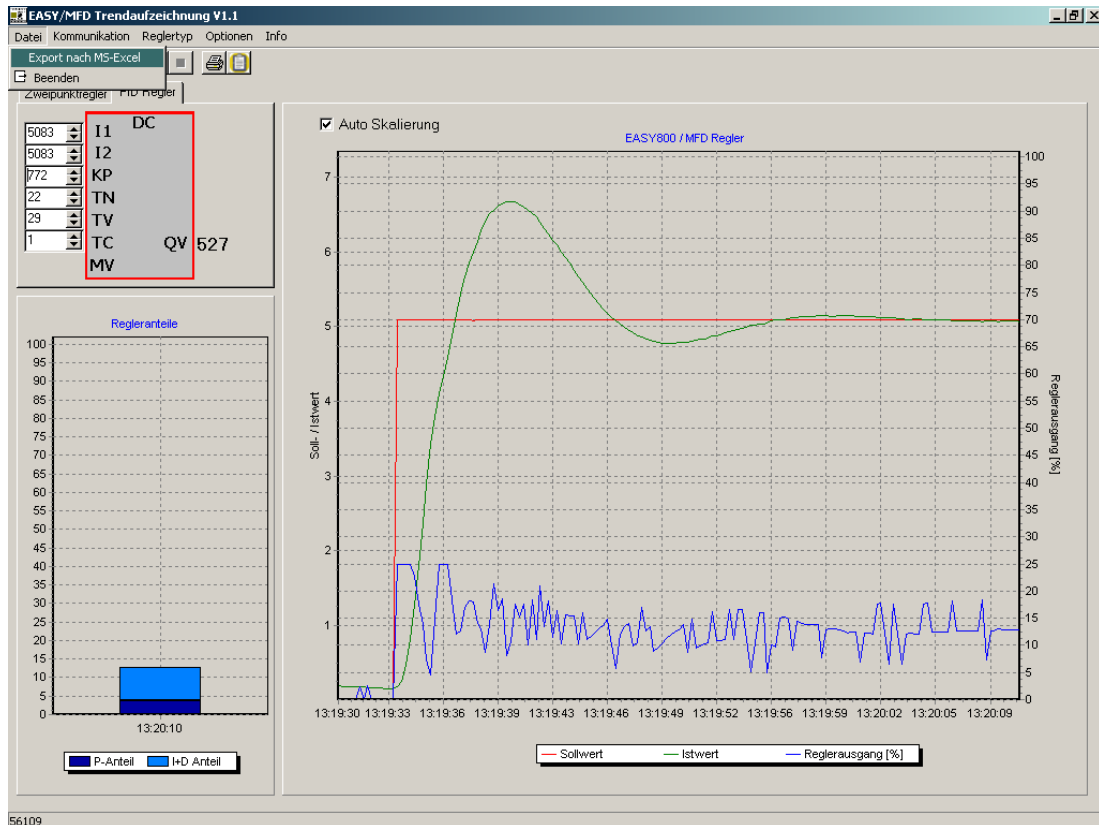


Abb. 8: Linienschreiber mit Eingabefenster der Reglerparameter und Diagrammen

2.3.3. Export nach MS-Excel

Unter dem Menüpunkt „Datei“, vgl. Abb. 8, findet sich als weitere Option, „Export nach MS-Excel“. Damit ist es möglich, einen oder mehrere aufgezeichnete Graphen nach MS-Excel zu exportieren und ein Diagramm zu erstellen.

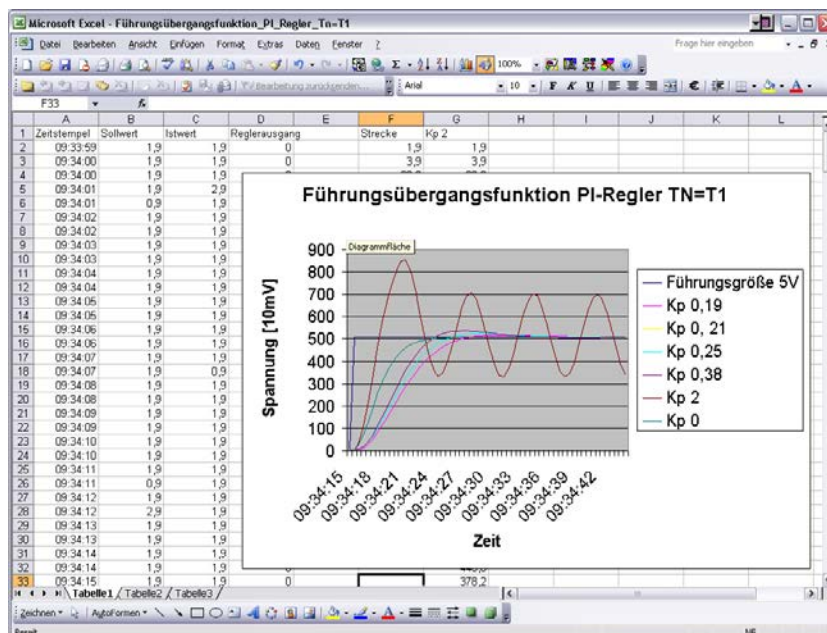


Abb. 9: Messwerte und Diagramm unter Excel

Für die Darstellung der Diagramme unter MS Excel ist wichtig, dass eine Zeitachse definiert wird. Da in den Einstellungen festgelegt ist, dass 4 Messungen pro Sekunde erfolgen, muss in der Excel-Tabelle manuell eine Spalte eingefügt werden, in der Zeitwerte im 0.25 s-Abstand eingetragen werden. Diese relative Zeitachse erleichtert die Auswertung der Messergebnisse deutlich.