"Die Sprungantwort ist der Steckbrief der Regelstrecke."
S. Samal, W. Becker: Grundriß der praktischen Regelungstechnik, 20. Auflage, Verlag Oldenbourg, 2000, Seite 104

HINWEISE zur Identifikation einer Regelstrecke nach Versuchsdaten mit MATLAB

Aufgabe:

Die Übertragungsfunktion $G_S(s)$ einer reellen Regelstrecke soll bestimmt werden.

$$y \longrightarrow \boxed{G_S(s)} \longrightarrow x$$

Es wurde dafür einen Sprung $\hat{y}$ am Eingang der reellen Strecke gegeben und die Sprungantwort $x(t)$ aufgenommen (siehe unten Datei *messwerte.txt* oder *messwerte.xls*).

Zeit	**Eingang Y**	**Ausgang X**
0.000	80.000	0.000
0.019	80.000	0.560
0.150	80.000	44.724
0.163	80.000	56.967
0.265	80.000	201.558
0.278	80.000	229.286
0.291	80.000	238.058
0.303	80.000	255.646
0.316	80.000	278.016
0.330	80.000	300.357
0.725	80.000	971.914
0.738	80.000	992.008
0.752	80.000	**1,015.602**
0.764	80.000	**1,036.143**
0.777	80.000	**1,061.782**
0.790	80.000	**1,076.719**
0.802	80.000	**1,104.405**
0.815	80.000	**1,122.496**

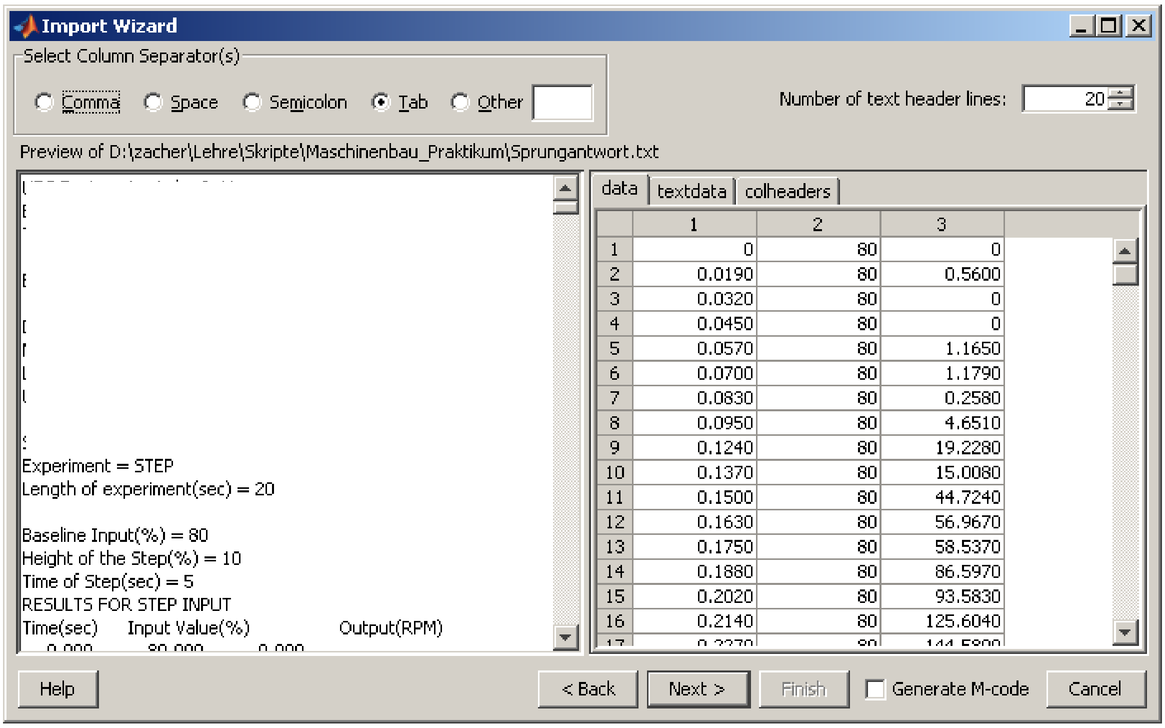
Zeit	Eingang Y	Ausgang X
0.000	80.000	0.000
0.019	80.000	0.560
0.150	80.000	44.724
0.163	80.000	56.967
0.265	80.000	201.558
0.278	80.000	229.286
0.291	80.000	238.058
0.303	80.000	255.646
0.316	80.000	278.016
0.330	80.000	300.357
0.725	80.000	971.914
0.738	80.000	992.008
0.752	80.000	1015.602
0.764	80.000	1036.143
0.777	80.000	1061.782
0.790	80.000	1076.719
0.802	80.000	1104.405
0.815	80.000	1122.496

1. Anleitung zum Import in MATLAB:

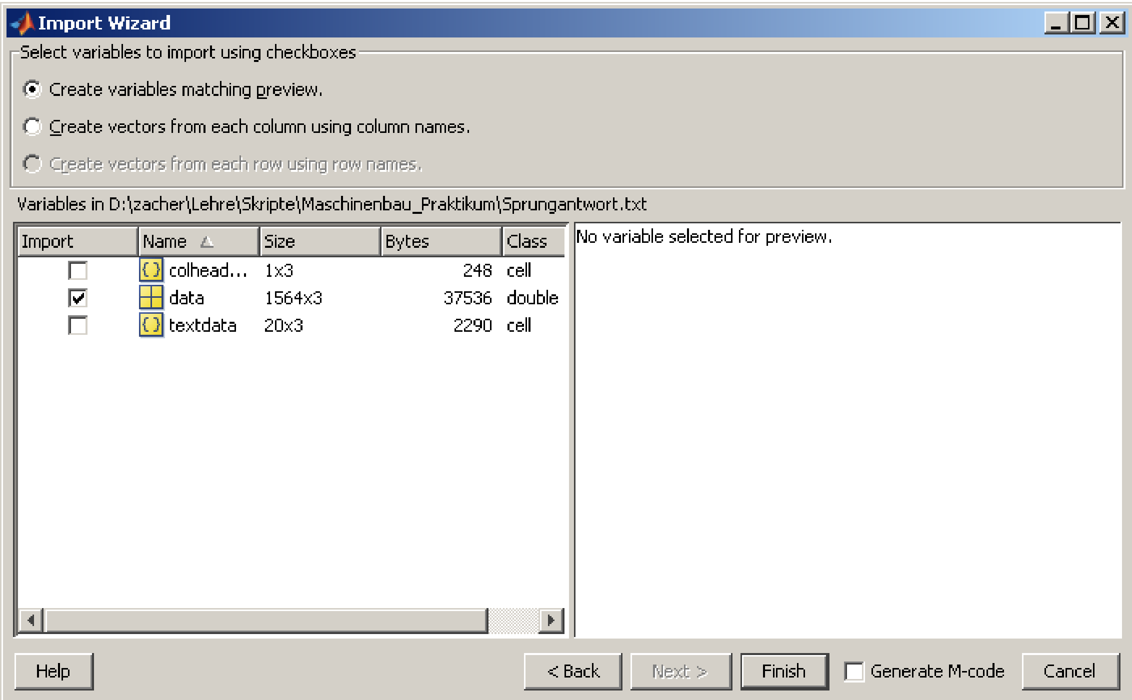
1. Falls in der txt-Datei Kommas vorhanden sind (Tabelle oben links, fett aufgehoben), wird die Ausgabe der MATLAB-Datei ab diese Stelle abgebrochen. Um dies zu vermeiden, öffnen wir die *txt*-Datei mit dem Text-Editor, dann „**Bearbeiten** / **Ersetzen"**.

   Im Feld „**Suchen nach**" geben wir ein Komma ein, im Feld „**Ersetzen mit**" geben wir gar nichts ein, dann klicken Sie auf die Taste „**Ersetzten**". Die ganze Spalte wird von Kommas bereinigt (Tabelle oben rechts).

Starten wir MATLAB, dann wählen wir **File/Import data**. Wählen wir die Datei, z.B. *messwerte.txt*, dann **Öffnen**. Es wird **Import Wizard** mit der Datei als Tabelle geöffnet.



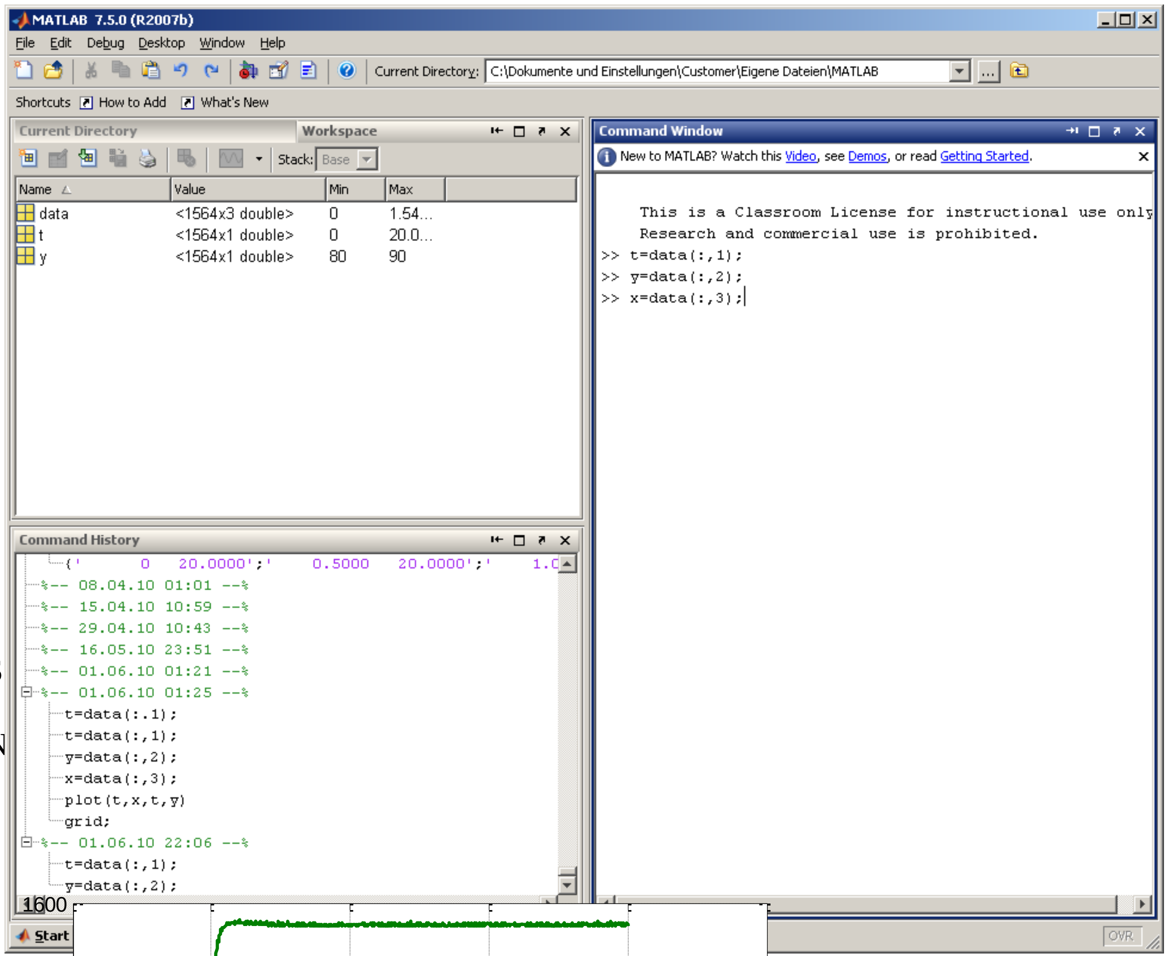
Geben wir **Next**, dann markieren wir die importierten Datei wie unten gezeigt, d.h. löschen wir **colhead** und **textdata** und lassen wir nur **data.**

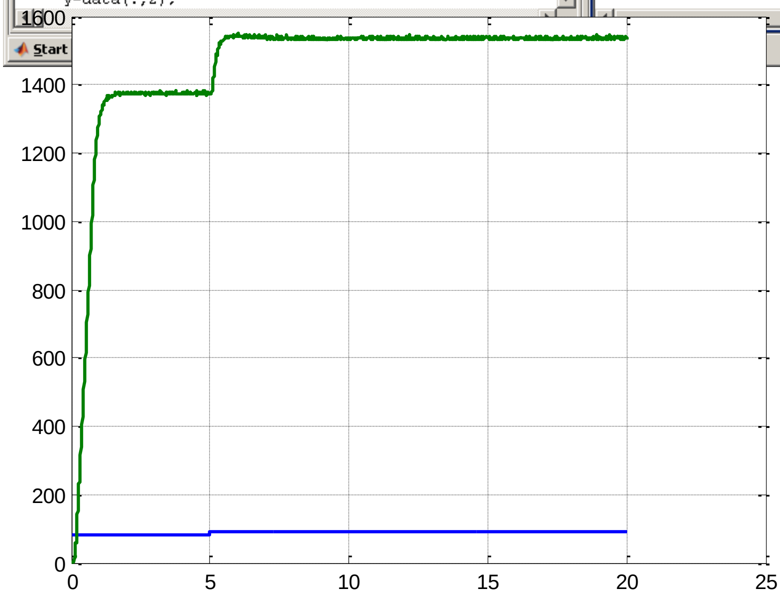


Mit **Finish** beenden wir den Import Wizard.

Wechseln wir zum **Command Window** und geben wir dort drei Befehle:

```
t = data(: , 1);     % Erste Spalte
Y = data(: , 2);     % Zweite Spalte
X = data(: , 3);     % Dritte Spalte
```





Der Sprung und die Sprungantwort aus dem Versuch mit der txt-Datei

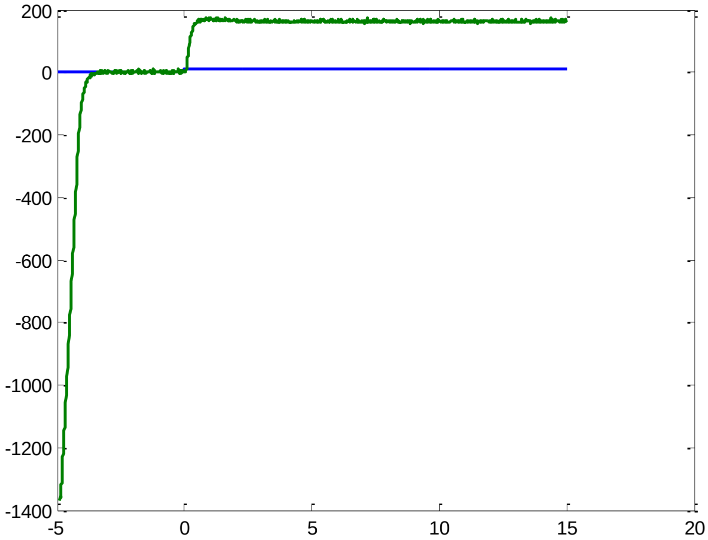
Im Diagramm sind zwei Sprungantworten zu sehen. Aus der txt-Datei stellen wir fest, dass die erste Sprungantwort im Arbeitspunkt $X_0 = 0$ bei dem Sprung von 0 auf 80 erstellt wurde, d.h. die Sprunghöhe ist $\hat{y} = 80$.

Die zweite, obere Sprungantwort wurde bei $t = 5$ s im Arbeitspunkt $X_0 = 1373$ bei dem Sprung von 80 auf 90 erstellt, d.h. die Sprunghöhe ist $\hat{y} = 90 - 80 = 10$.

Falls wir die zweite Sprungantwort auswerten möchten, soll die Sprungantwort auf der Koordinatenursprung gebracht werden, d. h. bei $t = 0$ im Arbeitspunkt $X_0 = 0$.

Um dies zu erreichen, verschieben wir im MATLAB die Koordinatenachsen wie folgt:

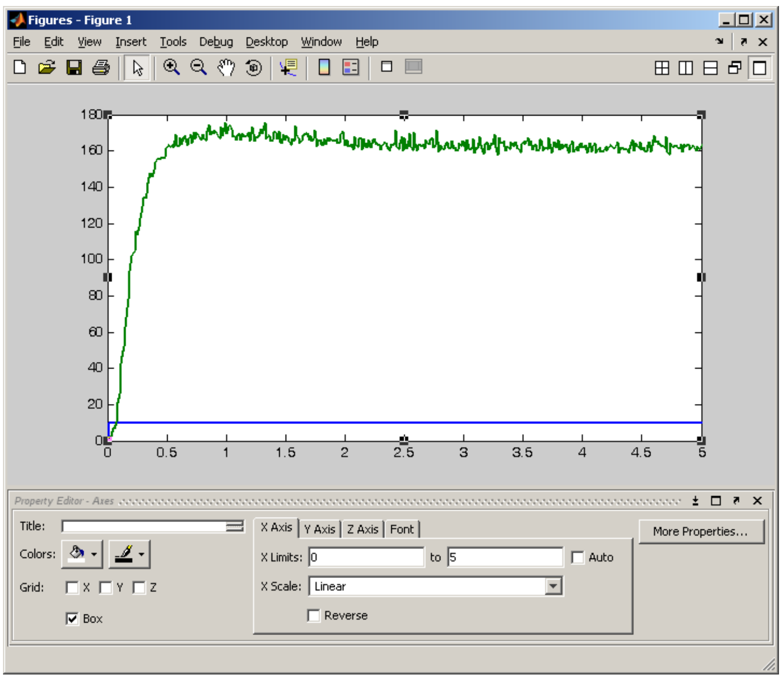
```
t = t - 5;
y = Y - 80;
x = X - 1373;
plot(t, y ,t, x)
```



Und nun geben wir die passende Achsen-Einstellung wie folgt ein: geben wir dafür im Fenster **Figure** die Menübefehle **Edit/ Axes Properties,** dann stellen wir die X-Achse wie unten ein:

Xlimits von 0 to 5

Die Y-Achse wird automatisch auf ***Ylimits*** von 0 bis 180 umgestellt.



Zuletzt schalten wir das Gitternetz mit dem Befehl

grid

ein. Falls es nötig ist, die Sprungantwort in **Figure1** für einenVergleich mit der von Ihnen identifizierten Strecke (Modell) zu behalten, geben wir im MATLAB Command Window den Befehl

hold on

ein. Dieser Befehl kann mit dem Befehl

hold off

zurückgesetzt werden.

Nun sind wir bereit, mit dem Menübefehl **Tools /Edit Plot** die Auswertung der Sprungantwort zu beginnen bzw. die Parameter K_{PS}, T_g und T_u zu bewtimmen. Wir werden dafür mit dem Command **Insert /Line** eine Tangente zum Wendepunkt eintragen und die Werte ablesen.

2. Identifizieren

Im nächsten Projektschritt werden Sie anhand der Sprungantwort die Strecke identifizieren bzw. die Übertragungsfunktion der reellen Strecke in einer der folgen Formen nach dem Wendetangenten-Verfahren bestimmen:

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{1+sT_1}$$ P-T1 ([1], Seite 229, auch [4], Seite 320)

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$ P-T2 nach *Bessekercki* ([1], Seite 229)

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$ P-T2 nach *Zacher* ([1], Seiten 365-367)

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{1+sT_1} e^{-sT_t}$$ P-T1 mit Totzeit Tt ([2], Seiten 88, 206),

auch ([1], Seite 225)

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$ P-T2 nach Vereinfachung mit $T_2 = T_t$ [1]

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}(1-sT_p)}{(1+sT_1)(1+sT_p)}$$ P-T2 nach *Pade* mit $T_p = \frac{T_t}{2}$, [2], Seite 195, 196

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{(1+sT_1)(1+sT_p)^2}$$ P-T3 nach *Taylor* mit $T_p = \frac{T_t}{2}$, [2], Seite 195, 196

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{(1+sT_1)(1+sT_p)^n}$$ P-Tn nach *Pade* ([1], Seite 427,

auch ([3], Seiten 115, 116)
auch ([4], Seiten 104 - 115)

<u>Quellen</u>:

[1] S. Zacher, M. Reuter: „*Regelungstechnik für Ingenieure*“, 14. Auflage, Verlag Springer-Vieweg, 2014

[2] S. Zacher: *Übungsbuch Regelungstechnik*, 5. Auflage, Verlag Springer-Vieweg, 2014

[3] H. Mann, H. Schiffelgen, R. Froriep: *Einführung in die Regelungstechnik*, 8. Auflage, Hanser Verlag, 2000

[4] H. Lutz, W. Wendt: *Taschenbuch der Regelungstechnik*, Verlag Harri Deutsch, 1995

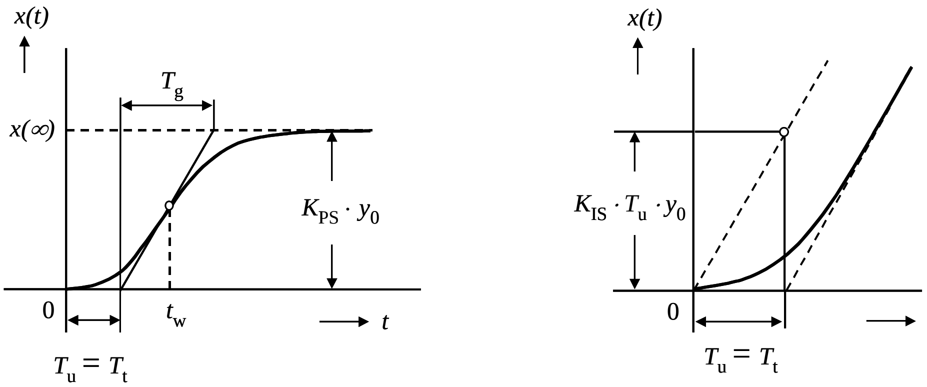
[5] S. Samal, W. Becker: *Grundriß der praktischen Regelungstechnik*, 20. Auflage, Verlag Oldenbourg, 2000

Nachfolgend sind einige Identifizierungsmethoden kurz beschrieben.

2.1 Wendetangenten-Verfahren

Quelle: S. Zacher, M. Reuter: „*Regelungstechnik für Ingenieure*“, 13. Auflage, Verlag Vieweg+Teubner, 2011, Seite 225

Viele industrielle Regelstrecken lassen sich angenähert als P-T_n- oder I-T_n-Strecken darstellen. Aus den Sprungantworten können Verzugszeit T_u bzw. T_t und Ausgleichszeit T_g sowie Proportional- und Integrierbeiwerte K_{PS} oder K_{IS} durch eine grobe Approximation mittels der Wendetangente, wie unten im Bild gezeigt, bestimmt werden.



Approximierung der Sprungantwort einer Strecke nach einem Sprung der Stellgröße $y(t) = y_0 \cdot \sigma(t)$.

Im Bild links ist die Sprungantwort einer P-Tn-Strecke gezeigt, die als ein P-T1-Glied bzw. ein Verzögerungsglied 1. Ordnung mit der Zeitkonstante T_g und einem Totzeitglied mit der Zeitkonstante T_u vereinfachend beschrieben wird:

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{1 + sT_g} \cdot e^{-sT_u}$$

Im Bild rechts ist die Sprungantwort einer I-Tn-Strecke gezeigt, die als ein I-Glied mit der Integrierkonstante K_{IS} und einem Verzögerungsglied 1. Ordnung mit der Zeitkonstante T_u vereinfachend beschrieben wird:

$$G_S(s) = \frac{K_{IS}}{s(1 + sT_u)}$$

Bei vernachlässigbar kleinen Werten von T_u reduziert sich die Ordnung der Strecke:

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{1 + sT_g} \text{ für P-Verhalten und } G_S(s) = \frac{K_{IS}}{s} \text{ für I-Verhalten}$$

2.2.1 Grobe Approximierung: Totzeit durch P-T1 ersetzen.

Ganz grob kann man die als P-T1-Glied mit Totzeit identifizierte Strecke (Bild oben links) durch eine P-T2-Strecke mit

$$T_1 = T_g \quad \text{und} \quad T_2 = T_u$$

beschreiben, d. h.

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{1 + sT_g} \cdot e^{-sT_u} \approx \frac{K_{PS}}{(1 + sT_g)(1 + sT_u)}$$

2.2.2 Die Reglereinstellung nach *Ziegler-Nichols*

Die *Ziegler-Nichols*-Empfehlung ist unten in der Tabelle dargestellt.

Parameter	P-Regler	PI-Regler	PID-Regler
$\frac{K_{PR} K_{PS} T_u}{T_g}$	1	0,9	1,2
$\frac{T_n}{T_u}$	-	3,3	2,0
$\frac{T_v}{T_u}$	-	-	0,5

2.2.3 Die Reglereinstellung nach *Samal*

Eine andere Empfehlung zur günstigen Einstellung des P-Reglers stammt von *Samal*:

$$K_{PR} \approx \frac{1}{2K_{PS}} \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_g}{T_u} \right).$$

Für PI-Regler gilt nach dieser Regel wie oben noch $T_n = 3{,}3 \cdot T_u$ sowie für PID-Regler $T_n = 2{,}0 \cdot T_u$ und $T_v = 0{,}5 \cdot T_u$.

2.2.4 Die Reglereinstellung nach *CHR*

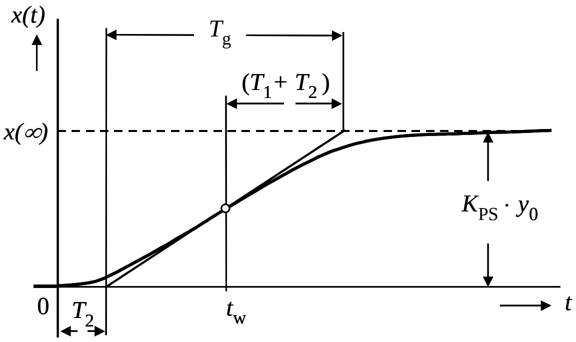
Chien, *Hrones* und *Reswick* haben detaillierte und für verschiedene Anforderungen an das Regelverhalten ausgelegte Einstellregeln empfohlen, die zu einem Regelverlauf für Führungs- und für Störverhalten ohne Überschwingen oder mit der 20%-Überschwingen führen. Die nachfolgende Tabelle zeigt diese Einstellregeln für PI- und PID-Regler (additive Form) mit Strecken höherer Ordnung, die durch den Proportionalbeiwert K_{PS} und die Regelbarkeit gekennzeichnet sind.

Reglereinstellung nach *Chien, Hrones , Reswick*		Aperiodischer Regelverlauf		Regelverlauf mit 20% Überschwingung	
Regler	Parameter	Führung	Störung	Führung	Störung
P	$K_{PR} K_{PS} \frac{T_u}{T_g}$	0,3	0,3	0,7	0,7
PI	$K_{PR} K_{PS} \frac{T_u}{T_g}$	0,35	0,6	0,6	0,7
	T_n	$1{,}2 \cdot T_g$	$4 \cdot T_u$	$1{,}0 \cdot T_g$	$2{,}3 \cdot T_u$
PID	$K_{PR} K_{PS} \frac{T_u}{T_g}$	0,6	0,95	0,95	1,2
	T_n	$1{,}0 \cdot T_g$	$2{,}4 \cdot T_u$	$1{,}35 \cdot T_g$	$2{,}0 \cdot T_u$
	$\frac{T_v}{T_u}$	0,5	0,42	0,47	0,42

2.2.5 Feine Approximierung nach T_1 und T_2

Quelle: S. Zacher, M. Reuter: „*Regelungstechnik für Ingenieure*“, 13. Auflage, Verlag Vieweg+Teubner, 2011, Seite 229

Die unten gezeigte Sprungantwort



kann nach dem Wendtangenten-Verfahren als ein P-T_2-Glied

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$

mit zwei verschiedenen Zeitkonstanten

$$T_1 > T_2$$

angenähert werden. Die kleinere Zeitkonstante T_2 ist wiederum

$$T_2 = T_u$$

Um die größere Zeitkonstante T_1 zu bestimmen, soll man zuerst die Koordinate des Wendepunktes t_w aus dem Diagramm der Sprungantwort ablesen. Sie unterliegt der Gleichung

$$t_w = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \ln \frac{T_1}{T_2},$$

woraus die Zeitkonstante T_1 resultiert:

$$T_g = T_1 + t_w$$

bzw.

$$T_1 = T_g - t_w$$

Ist beispielsweise

$$T_1 = 2T_2,$$

so folgt

$$t_w = 2T_2 \ln 2 = 1{,}386 T_2$$

2.2.6 Feine Approximierung der Totzeit nach *Pade* und *Taylor*

Quelle: S. Zacher: *Übungsbuch Regelungstechnik*, 4. Auflage, Verlag Vieweg+Teubner, 2010, Seite 196

Das Totzeit-Glied in der Übertragungsfunktion $G_S(s) = \dfrac{K_{PS}}{1+sT_1} e^{-sT_t}$

kann nach *Pade* oder nach *Taylor* mit $T_p = \dfrac{T_t}{2}$ approximiert werden:

$$e^{-sT_t} \approx \frac{1-sT_p}{1+sT_p} \qquad \text{(nach } \textit{Pade}\text{, 1. Ordnung)}$$

$$e^{-sT_t} \approx \frac{1}{(1+sT_p)^2} \qquad \text{(nach } \textit{Taylor}\text{, 2. Ordnung)}$$

Beispielweise ergibt sich nach *Taylor* die folgende vereinfachte Übertragungsfunktion:

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{1+sT_1} e^{-sT_t} \approx \frac{K_{PS}}{1+sT_1} \cdot \frac{1}{(1+sT_p)^2}.$$

Angenommen, die Parameter nach dem Tangentenverfahren sind:

$T_g = 0{,}1$ $\quad T_u = T_t = 9{,}0$ und $\quad K_{PS} = 0{,}8$

Daraus folgt:

$T_p = 4{,}5$

Die Sprungantwort der identifizierten Strecke

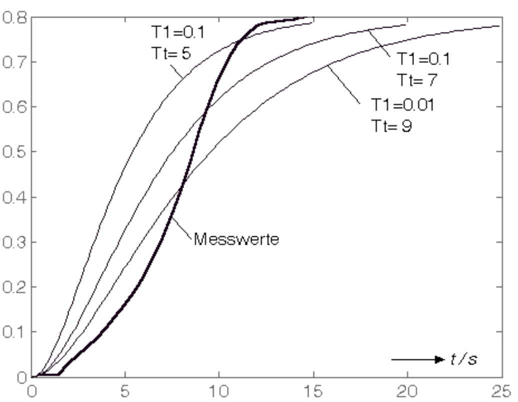
$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{1+sT_g} \cdot \frac{1}{(1+sT_p)^2} = \frac{K_{PS}}{s^2 T_g T_p + s(T_g + T_p) + 1}$$

wird mit MATLAB erstellt:

```
num = [KpS];
den = [Tg*Tp^2    Tp^2+2*Tg*Tp    Tg+2*Tp    1];
step (num, den)
```

Danach kann man die Streckenparameter an die Versuchskurve anpassen, bis die beste Annäherung an die experimentelle Sprungantwort erfolgt. Im betrachteten Fall wurde gewählt:

$T_1 = T_g = 0{,}1$ s $\quad T_t = 7$ s $\quad K_{PS} = 0{,}8$ s



Um die Regelstrecke besser zu identifizieren, soll die Suche nach Parametern fortgesetzt werden oder soll die Ordnung *n* des approximierenden Polynoms erhöht werden.

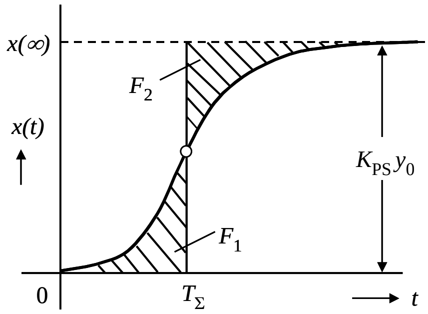
Der Zähler *num* und der Nenner *den* werden mit Hilfe der Funktion *pade* von Control System Toolbox (MATLAB) für die Totzeit *T* berechnet:

[num, den] = pade(T, n)

2.3 T-Summen-Regel nach *Kuhn*

Die Identifikation einer P-T_n-Regelstrecke nach diesem Verfahren unterscheidet sich grundsätzlich von der Identifikation nach dem Wendetangenten-Verfahren. Die Summe der Zeitkonstanten T_Σ wird aus der Sprungantwort mit Hilfe einer senkrechten Linie bestimmt, die die zwei gleichen Flächen F_1 und F_2 bildet, wie unten gezeigt ist.

Daraus folgt ein neues Einstellverfahren, das von *U. Kuhn* 1995 eingeführt wurde.



Mit der Zeitkonstante T_Σ und dem Proportionalbeiwert K_{PS} der Strecke lassen sich die Reglerparameter nach der folgenden Tabelle berechnen.

Parameter	P-Regler	PD-Regler	PI-Regler	PID-Regler
$K_{PR}\, K_{PS}$	1	1	0,5	1
T_n	-	-	0,5 T_Σ	0,66 T_Σ
T_v	-	0,33 T_Σ	-	0,167 T_Σ

Die daraus folgende etwas langsamere Einstellung kann durch andere Einstellvarianten , z. B. für PID-Regler mit

$K_{PR}K_{PS} = 2;$

$T_n = 0{,}8\ T_\Sigma$

$T_v = 0{,}194\ T_\Sigma$

wieder schneller gemacht werden.

2.4 Zeit-Prozentkennwert-Verfahren nach *Latzel*

Es werden die aus der Sprungantwort der Regelstrecke gemessenen Zeitpunkte t_{10}, t_{50} und t_{90} bestimmt, bei denen die Regelgröße 10%, 50% und 90% ihres stationären Wertes $x(\infty)$ erreicht.

Die Regelstrecke wird als P-T_n-Glied mit n gleichen Zeitkonstanten

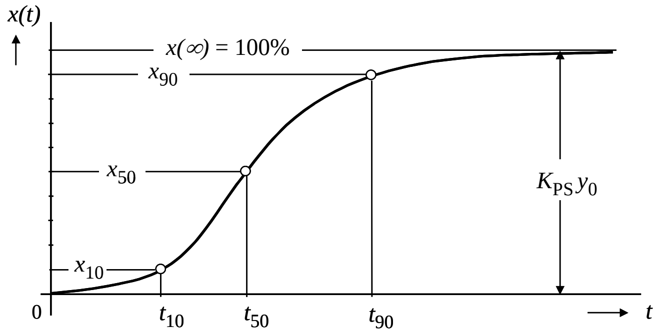
$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{(1+sT)^n} \tag{1}$$

approximiert. Die Ordnungszahl n der Regelstrecke wird aufgrund der Kennzahl

$$\mu = \frac{t_{10}}{t_{90}} \tag{2}$$

berechnet. Mit Hilfe der drei weiteren Kennzahlen α_{10}, α_{50} und α_{90} (s. die nachstehende Tabelle) wird die Zeitkonstante T der Regelstrecke (1) ermittelt

$$T = \frac{\alpha_{10}t_{10} + \alpha_{50}t_{50} + \alpha_{90}t_{90}}{3} \,. \tag{3}$$



Verfeinerte Approximierung der Sprungantwort der Regelstrecke nach Zeit-Prozentkennwert-Verfahren

Das von *Schwarze* entwickelte Zeit-Prozentkennlinien-Verfahren lässt die Regelstrecke identifizieren und den Regler nach der Methode der *Betragsanpassung* einstellen. Die Ergebnisse der Identifikation und die Regeln zum Entwurf des Regelkreises mit 10% Überschwingen sind in Tabelle unten für n = 3, 5 und 10 zusammengefasst.

Parameter	Identifikation der Regelstrecke: Streckenkenngrößen		
μ	0,207	0,304	0,438
n	3	5	10
α_{10}	0,907	0,411	0,161
α_{50}	0,374	0,214	0,103
α_{90}	0,188	0,125	0,070

Einstellregel nach *Latzel*

Kennwerte	PI-	PID-	PI-	PID-	PI-	PID-
$K_{PR}\, K_{PS}$	0,877	2,543	0,543	1,109	0,328	0,559
$\frac{T_n}{T}$	1,96	2,47	2,59	3,31	3,73	4,80
$\frac{T_v}{T}$	-	0,66	-	0,99	-	1,57

- **Beispiel** zum Zeit-Prozentkennwert-Verfahren

Gegeben ist die Sprungantwort der Strecke mit

$K_{PS} = 0{,}5$,

$t_{10} = 5$ s,

$t_{50} = 12$ s,

$t_{90} = 25$ s.

Gesucht:

a) Die Zeitkonstante der nach Gl. (1) approximierten Regelstrecke

Lösung zu a):

Aus Gl. (2) ist

$\mu = 0{,}2.$

Wir bestimmen aus der oberen Tabelle, dass $n = 3$ ist, und berechnen aus Gl. (3) die Zeitkonstante

$T = (0{,}907 \cdot 5\text{ s} + 0{,}374 \cdot 12\text{ s} + 0{,}188 \cdot 25\text{ s}) / 3 = 4{,}574\text{ s}.$

Die Regelstrecke wird damit wie ein P-T_3-Glied identifiziert:

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{(1+sT)^3}\ ,\ \text{mit } K_{PS} = 0{,}5 \text{ und } T = 4{,}574\text{ s}.$$

b) Die Kennwerte des PI-Reglers, bei denen die Regelung mit 10% Überschwingen erfolgt.

Lösung zu b):

Für

$\mu = 0{,}2$ bzw. $n = 3$

folgt aus der unteren Tabelle die Einstellung des PI-Reglers

$K_{PR}K_{PS} = 0{,}877.$

Bei

$K_{PS} = 0{,}5$

$T = 4{,}574$

ergeben sich

$K_{PR} = 0{,}877 / K_{PS} = 1{,}754$

$T_n = 1{,}96 \cdot T = 8{,}965$ s.

Alternativ dazu gilt die Regel nach *Strejc* für proportionale Strecken *n*-ter Ordnung mit gleicher Zeitkonstante:

$$K_{PR} = \frac{1}{K_{PS}} \cdot \frac{n+2}{4 \cdot (n-1)} = 1{,}25$$

$$T_n = \frac{n+2}{3} \cdot T = 7{,}62\text{ s}.$$

3. Vergleich von Sprungantworten der reellen und der identifizierten Strecken

Angenommen, die reelle Strecke wurde wie folgt identifiziert:

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$

bzw.

$$G_S(s) = \frac{K_{PS}}{s^2 T_1 T_2 + s(T_1+T_2)+1} \quad \text{mit } K_{PS} = 16{,}5; \quad T_1 = 0{,}08; \quad T_2 = 0{,}15;$$

Um die Sprungantwort der identifizierten Strecke mit den Messwerten der reellen Strecke zu vergleichen, simulieren wir die Regelstrecke mit MATLAB:

MATLAB-Skript:

```
T1 = 0.08;
T2 = 0.15;
KpS = 16;5
num=[KpS];
den=[T1*T2   T1+T2   1];
```

Prüfen wir, ob die Eingabe korrekt war:

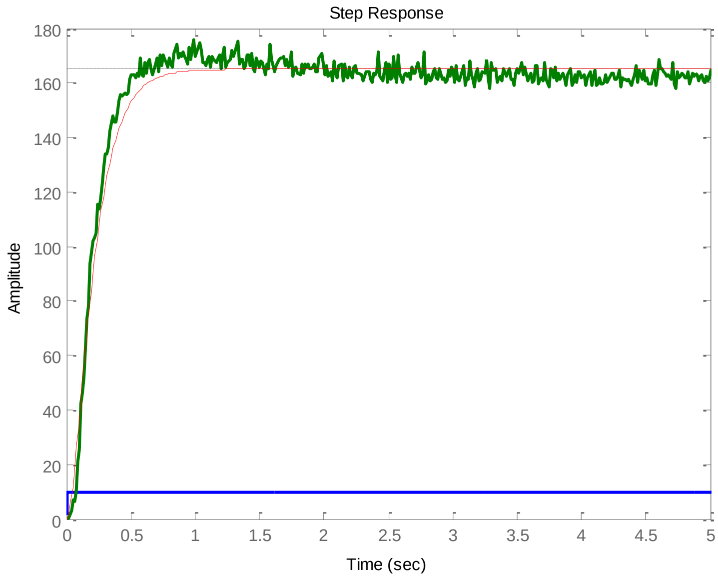
```
tf(num,den)
```

Es soll die Übertragungsfunktion ausgegeben werden: ⇒

```
Transfer function:
        4.28
----------------
15 s^2 + 8 s + 1
```

Danach konfigurieren wir denselben Sprung wie beim Versuch, d. h. $\hat{y}$ = 10 ein, und geben beide Sprungantworten aus:

```
num = [KpS*10];        % Umrechnung von y = 1 auf y = 10
step (num, den, 'r');  % Sprungantwort der identifizierten Strecke, Farbe red
hold on                % Kurve im Bild halten
plot(t, y, t, x, 'g')  % Sprungantwort der reellen Strecke, Farbe green
```

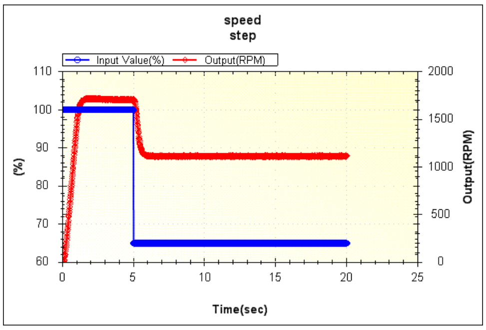


Unterscheiden sich die Sprungantworten der reellen Strecke und des Modells voneinander, sollen die Streckenparameter noch zusätzlich nachgestellt werden. Beispielweise ergibt sich im Bild links die Dämpfung des Modells von ca. ϑ = 1, indem die Strecke ϑ = 0,8÷0,9 hat, d.h. man kann die Dämpfung des Modells ein wenig verkleinern.

Muster-Bericht zur Hausarbeit **Drehzahlregelung**

Name, Vorname : 1. ________________ 2. ______________________

Datum : ___________



1. Identifikation der Regelstrecke

Eingabe:

	Eingangssprung			
	Y_0	y	t_0	t_{aus}
	100%	**-35%**	**5**	**10**

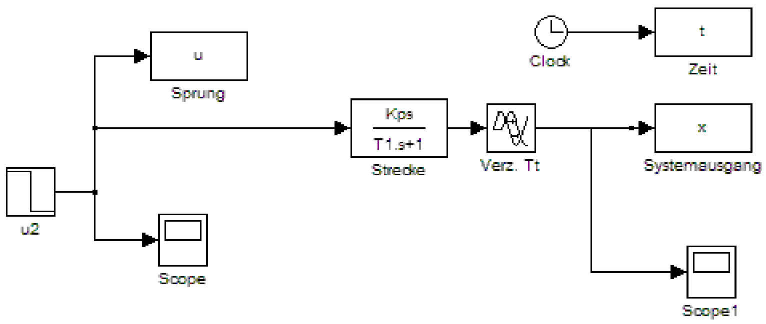
Diagramm eintragen, z. B. wie oben

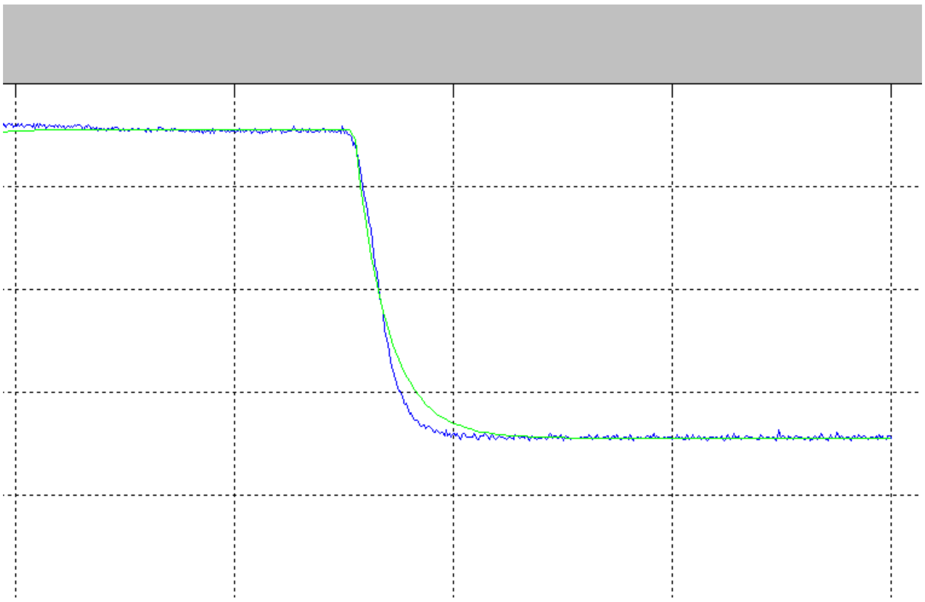
Versuchsergebnis:

	Eingangssprung				Sprungantwort					
Datei	Y_0	y			X_0	X_E	$x(\infty)$	K_{PS}	T_1	T_t
33214	**100**	**65**			**1712**	**1113**	**-599**	**17,11**	**0,35**	**0,09**

2. Simulation der Regelstrecke bzw. Parameterkorrektur

Kps=17,1; T1=0,3; Tt=0,09





Simulation der Strecke mit Matlab und Vergleich mit Messung

3. Entwurf des P-Reglers

$G_{\mathrm{R}}(s) = K_{\mathrm{PR}}$ $\qquad$ $G_{\mathrm{S}}(s) = $ (17,1/(1+0,3*s))*exp(-0,09*s)

Vereinfachung : exp(-0,09*s) = 1/(1+0,09s)

$G_0(s) = G_{\mathrm{R}}(s)G_{\mathrm{S}}(s) = $ Kpr*17,1/((1+0.3*s)*(1+0,09s))

$K_{\mathrm{PR}} = $ (0,3+0,09)²/(2*17,1*0,3*0,09)-1/17,1 = 0,1062 $\qquad K_{\mathrm{PR}} = 0{,}106$

4. Rechnerische Ermittlung von Gütekriterien

$w = $ -599

$x(\infty) = \lim_{s\to 0} G_{\mathrm{w}}(s)\cdot w = $ ((0,106*17,1)/(1+0,106*17,1))*-599 =0,645*-599 = -386

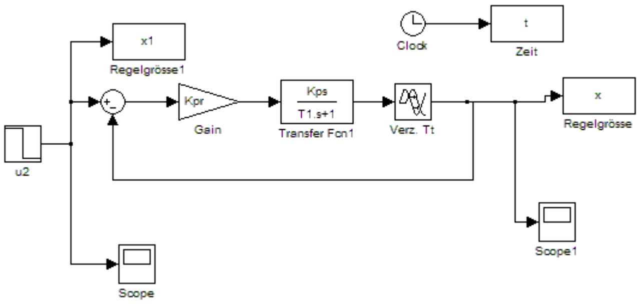
e(oo) = w - x(oo) = - 599 – (-386) = - 213

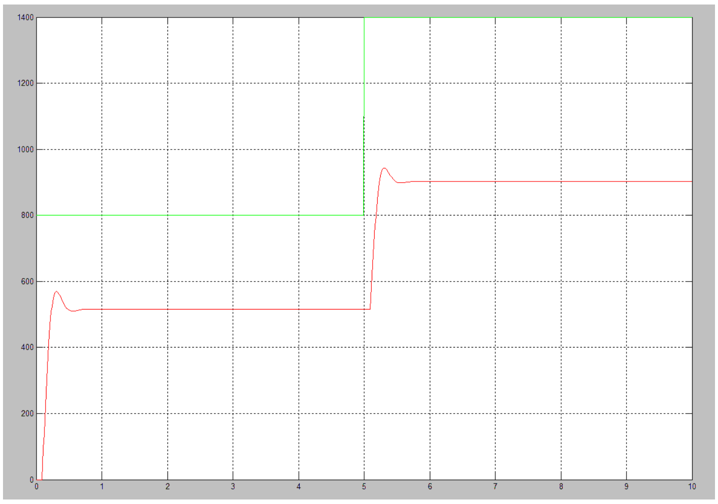
$\vartheta = \dfrac{T_1 + T_t}{2\sqrt{T_1 T_t (1 + K_{\mathrm{PR}} K_{\mathrm{PS}})}} = 0{,}707$ $\qquad \ddot{u}_{\max} = 4{,}3\%$ $\qquad T_{\mathrm{aus}} = $ 11*Te=0,99 Sek.

Te=Tt=0.09 Sek.

5. Simulation des Kreises mit P-Regler bzw. Nachbesserung

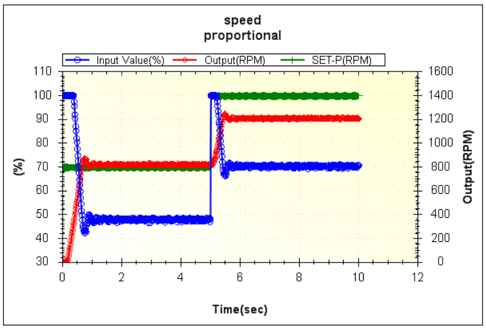
Kpr = 0,106; Kps=17,1; T1=0,3, Tt=0,09; Step=600





Simulation des P-Regelkreises mit Matlab

6. Versuch: Regelkreis mit P-Regler



Konfiguration des Eingangssprunges:

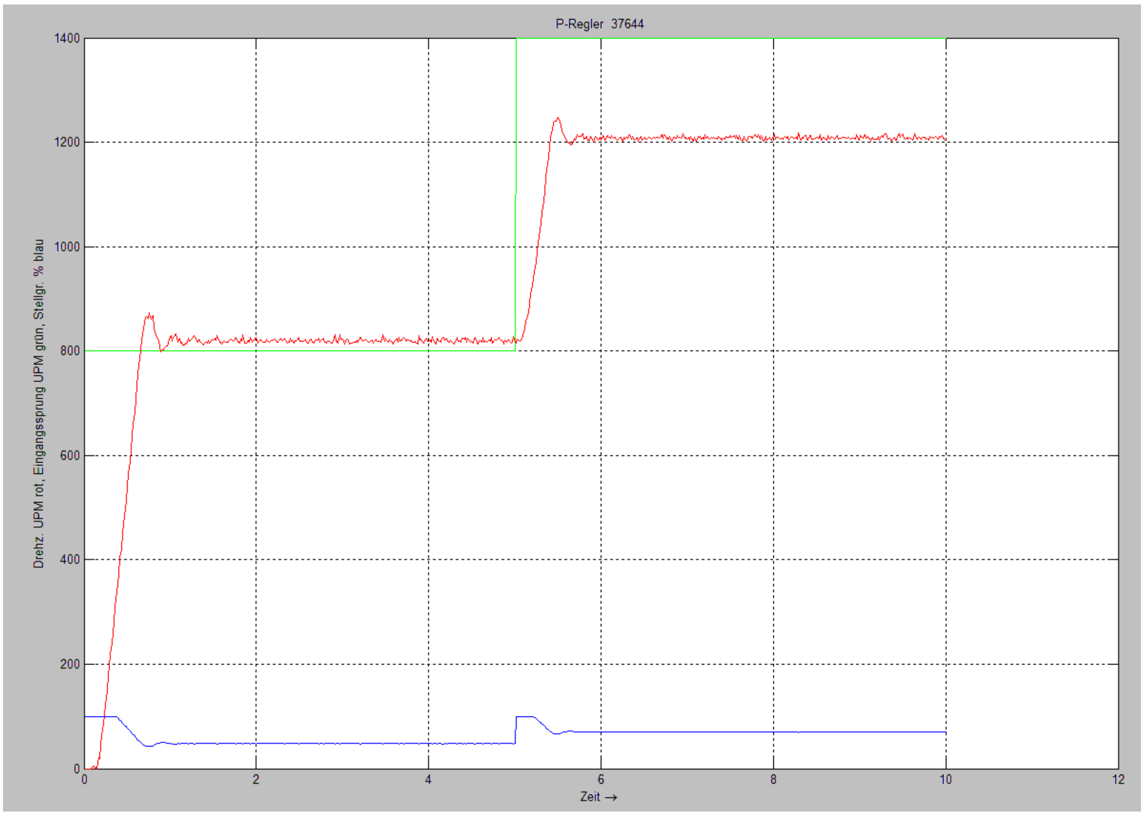
	Eingangssprung				
K_{PR}	Y_0	W_0	w	t_0	t_{aus}
0,11	**50%**	**800**	**600**	**5**	**10**

Versuchsergebnis

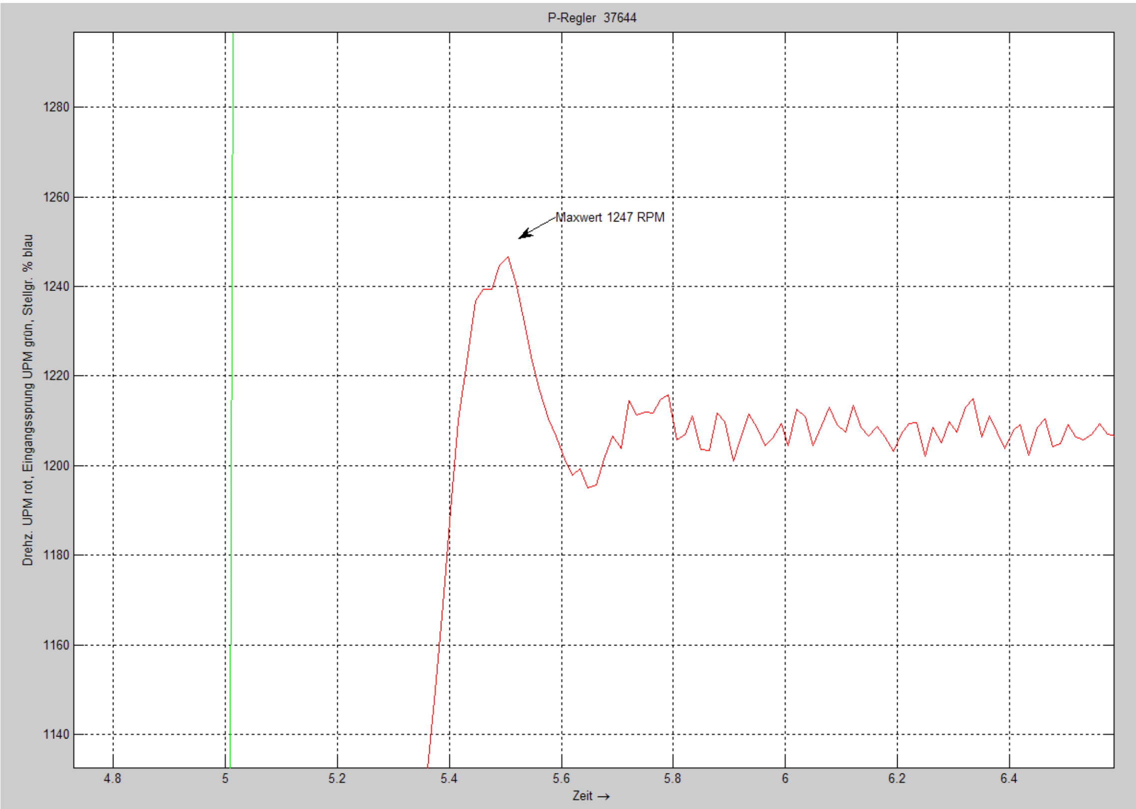
	Eingangssprung			Sprungantwort und Auswertung						
Datei	Y_0	W_0	W_E	X_0	X_E	$x(\infty)$	$e(\infty)$	ϑ	$\ddot{u}_{max}$	T_{aus}
37644	**50%**	**800**	**1400**	**820**	**1208**	**388**	**212**	**0,5**	**10%**	**0,4**

Rechnerisch ermittelte Werte					
w	$x(\infty)$	$e(\infty)$	ϑ	$\ddot{u}_{max}$	T_{aus}
600	**386**	**213**	**0,707**	**4,3%**	**0,99**

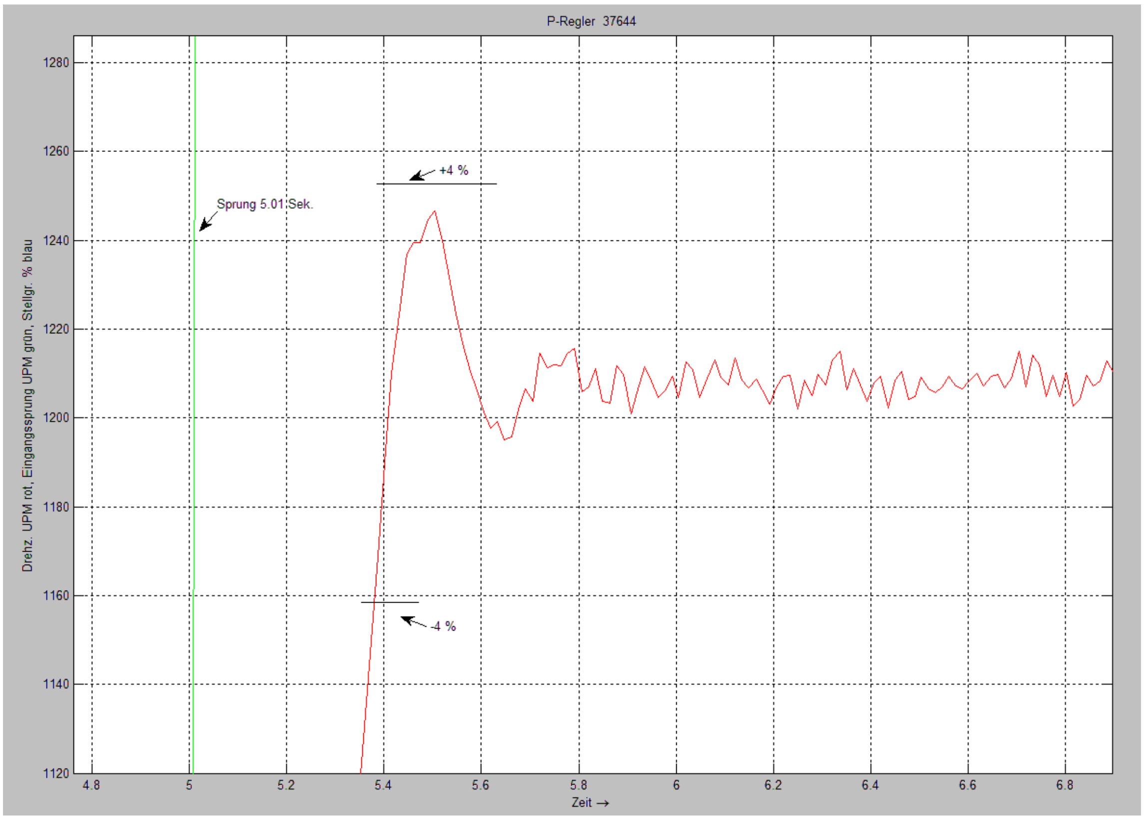
Import der Versuchsdatei 37644 nach Matlab :



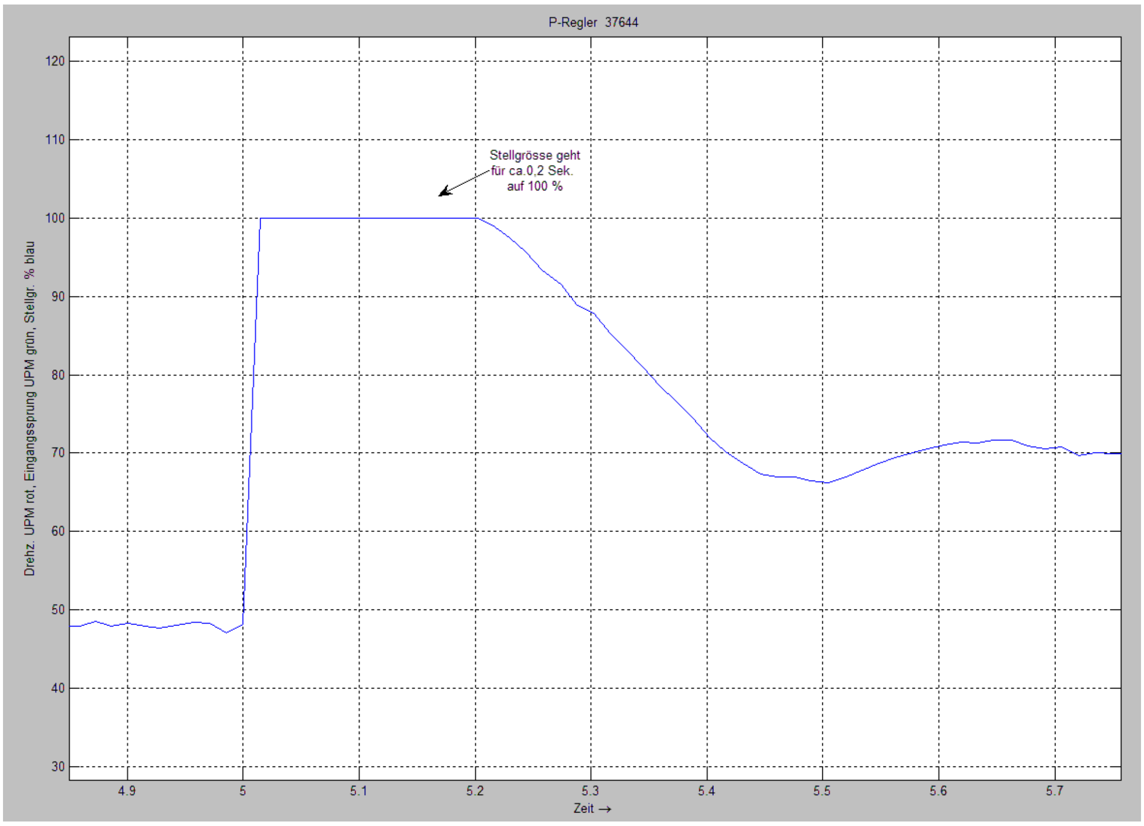
Gesamtübersicht



Überschwingweite : Maxwert = 1247 = 10 %, Anzahl der Halbwellen n = 2



Ausregelzeit auf ± 4 % : ca. 0,4 Sek.



Stellgrösse beim Sprung

PI-Regler :

3. Entwurf des PI-Reglers

$G_R(s) = K_{PR}$ *(1+Tn*s)/Tn*s $\qquad$ $G_S(s) =$ (17,1/(1+0,3*s))*exp(-0,09*s)

Vereinfachung : exp(-0,09*s) = 1/(1+0,09s)

$G_0(s) = G_R(s)G_S(s) =$ (Kpr*17,1)/((0.3*s)*(1+0,09s)) für Tn=T1= 0,3 Sek.

$K_{PR} ==$ Tn/2*Kps*Tt = 0,3/(2*17,1*0,09) $\qquad K_{PR} = 0{,}097$ $\qquad$ Tn = 0,3 Sek.

4. Rechnerische Ermittlung von Gütekriterien

$w =$ -599

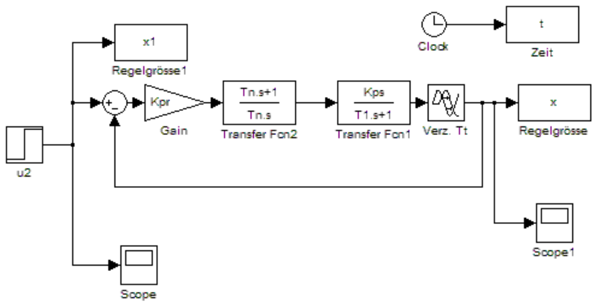
$x(\infty) = \lim_{s\to 0} G_w(s)\cdot w =$ 1*-599 = -599

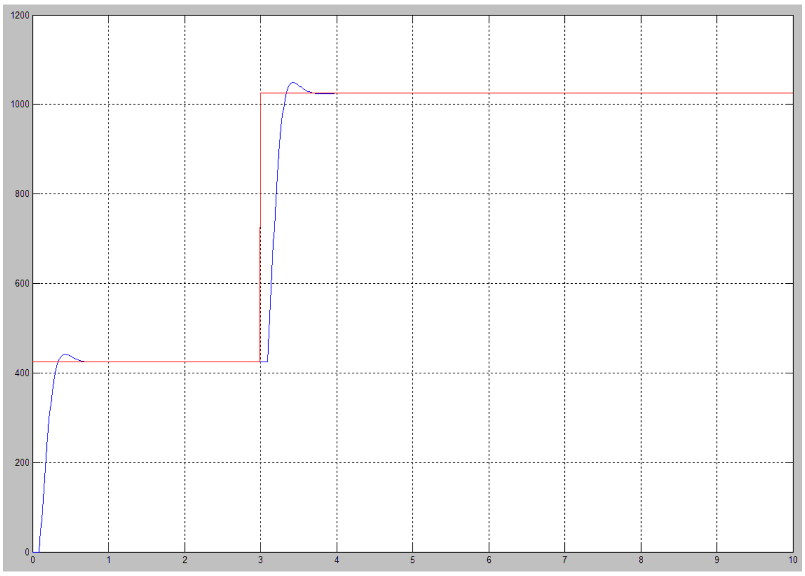
e(oo) = w - x(oo) = - 599 – (-599) = 0

$\vartheta = \frac{1}{\sqrt{2}} =$ 0,707 $\qquad \ddot{u}_{max} = 4{,}3\%$ $\qquad T_{aus} =$ 11*0.09=0.99 Sek.

5. Simulation des Kreises mit P-Regler bzw. Nachbesserung

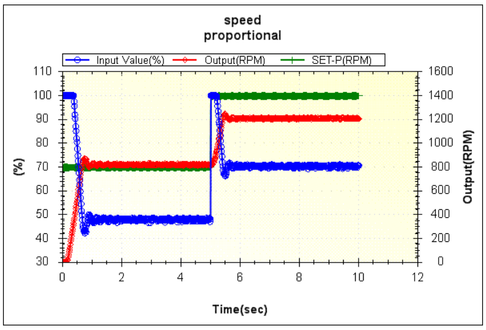
Kpr = 0,097; Tn=0.3; Kps=17,1; T1=0,3, Tt=0,09; Step=600





Simulation des PI-Regelkreises mit Matlab

6. Versuch: Regelkreis mit PI-Regler



Konfiguration des Eingangssprunges:

	Eingangssprung				
K_{PR}	Y_0	W_0	w	t_0	t_{aus}
0,097	**50%**	**800**	**600**	**5**	**10**

Versuchsergebnis

	Eingangssprung			Sprungantwort und Auswertung						
Datei	Y_0	W_0	W_E	X_0	X_E	$x(\infty)$	$e(\infty)$	ϑ	$\ddot{u}_{max}$	T_{aus}
37646	**50%**	**800**	**1400**	**802**	**1404**	**602**	**0**	**1,0**	**32%**	**1,1**

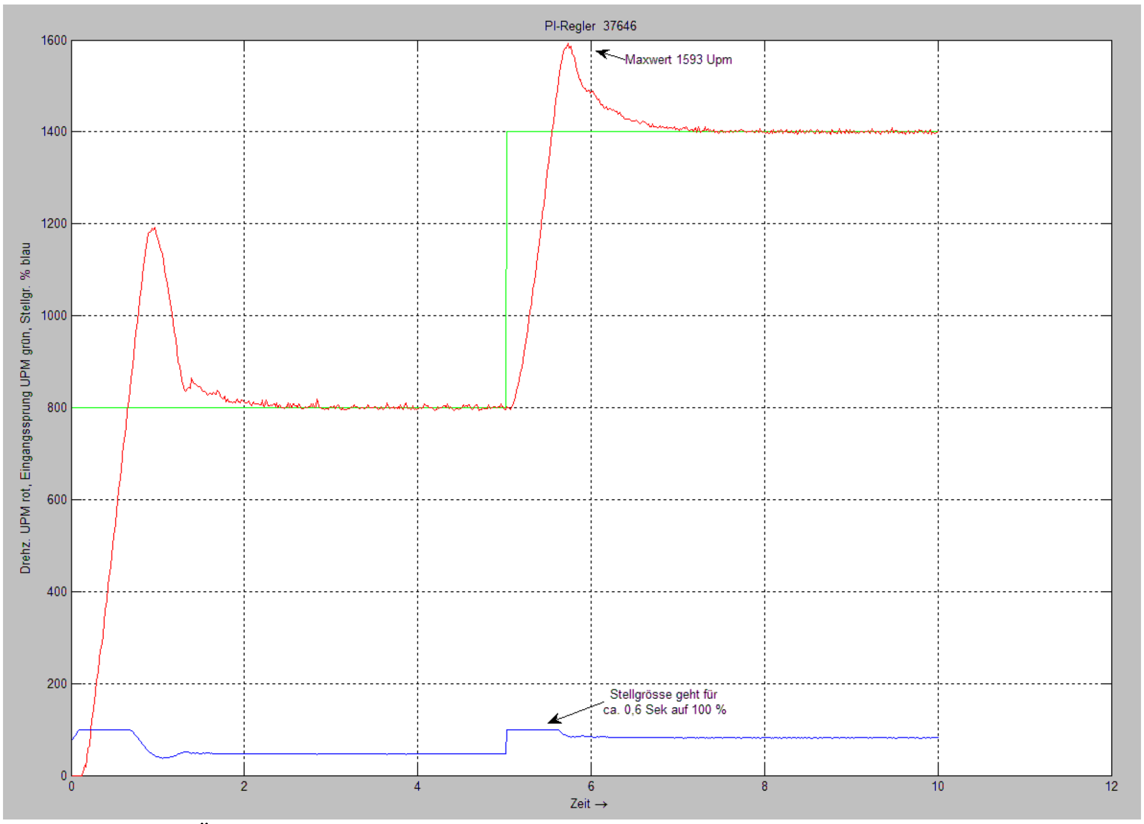
Rechnerisch ermittelte Werte					
w	$x(\infty)$	$e(\infty)$	ϑ	$\ddot{u}_{max}$	T_{aus}
600	**600**	**0**	**0,707**	**4,3%**	**0,99**

Zweiter Versuch mit Kpr = 0,075 und Tn = 0,35

Versuchsergebnis

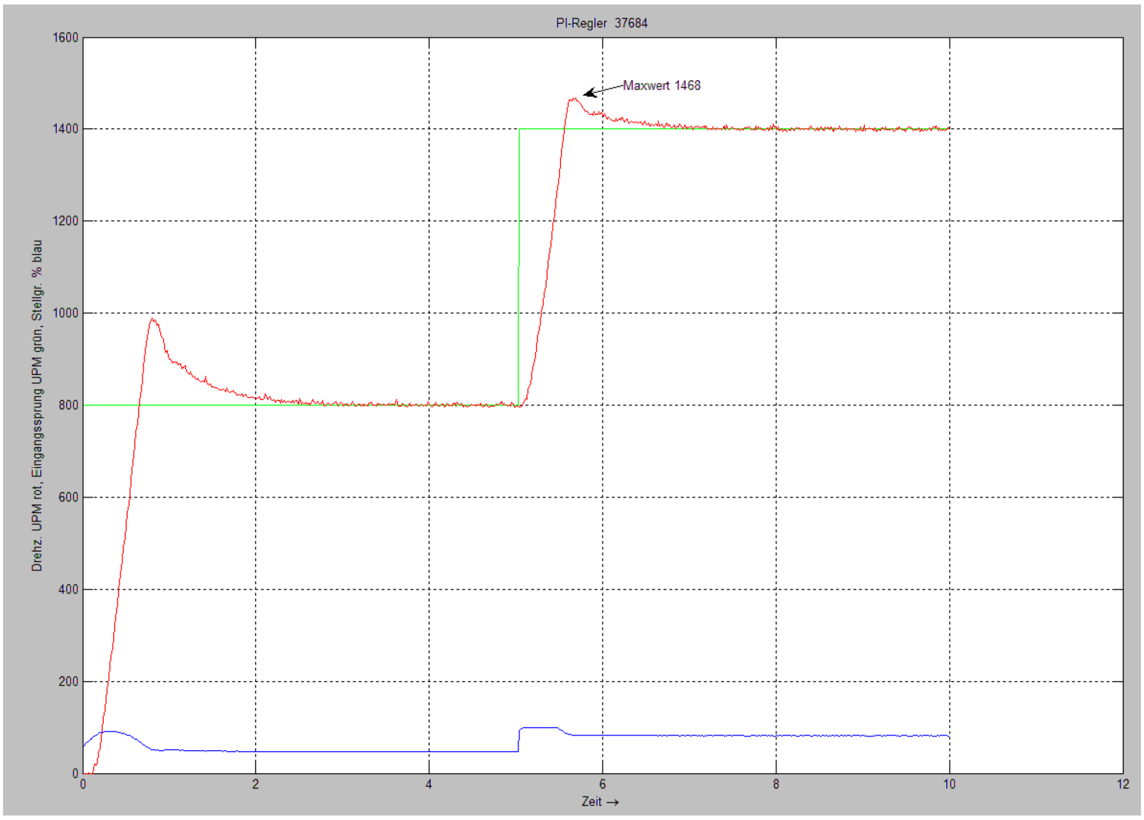
	Eingangssprung			Sprungantwort und Auswertung						
Datei	Y_0	W_0	W_E	X_0	X_E	$x(\infty)$	$e(\infty)$	ϑ	$\ddot{u}_{max}$	T_{aus}
37684	**50%**	**800**	**1400**	**802**	**1402**	**600**	**0**	**1,0**	**11%**	**0,7**

Import der Versuchsdatei 37646 nach Matlab :

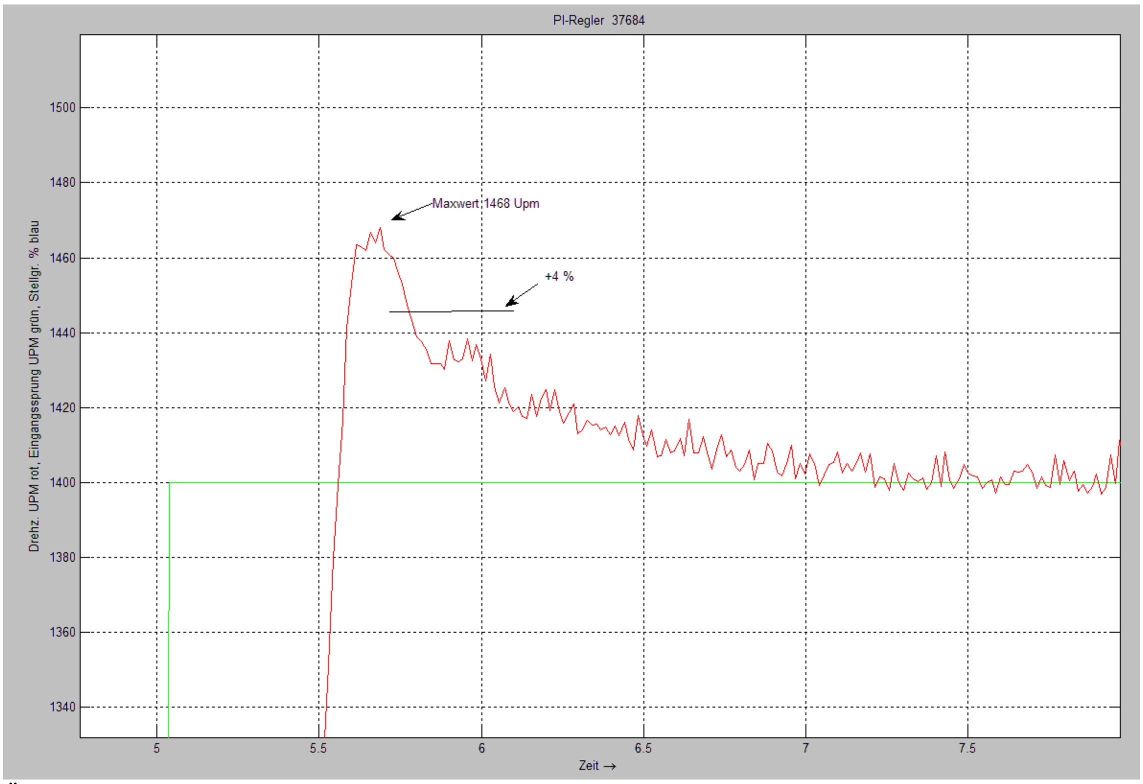


Gesamtübersicht, Überschwinger auf 1593 Upm, = 32 %, Stellgrösse geht ca. 0,6 Sek. auf 100 %.

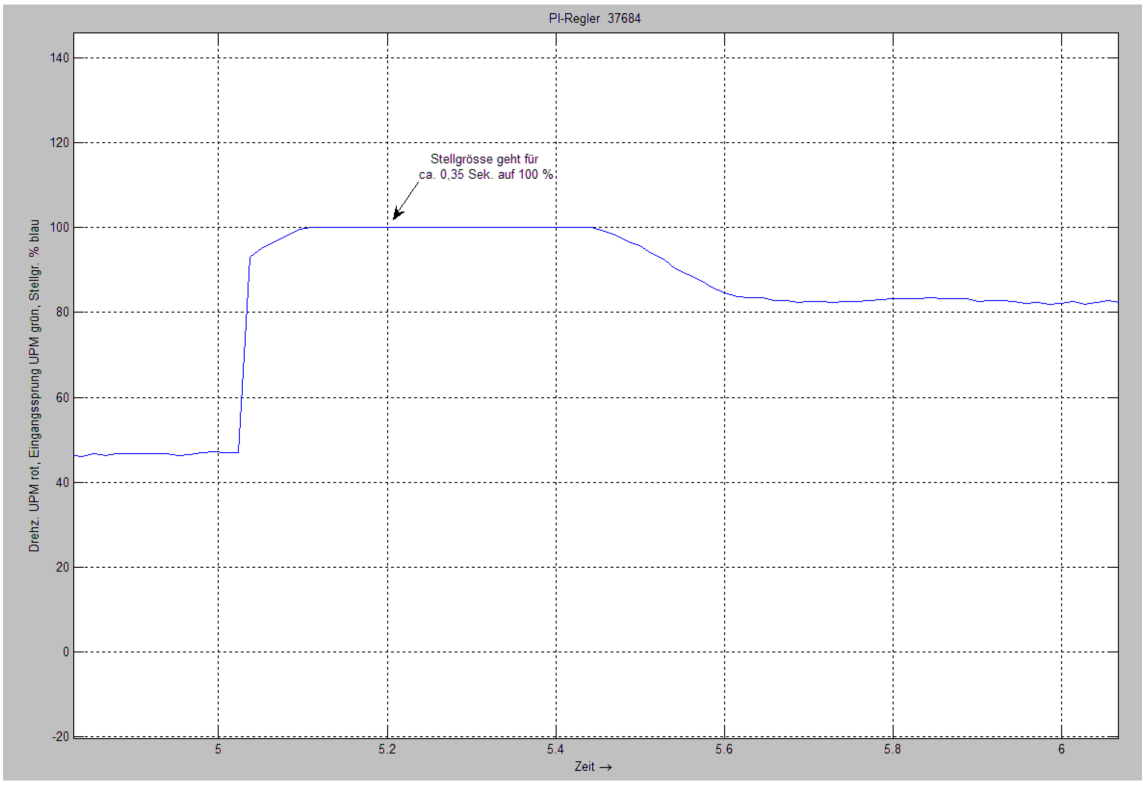
Zweiter Versuch mit Kpr = 0,075 und Tn = 0,35
Import der Versuchsdatei 37684 nach Matlab :



Gesamtübersicht



Überschwingweite : Maxwert = 1468 , = 11 %,, Anzahl der Halbwellen n = 1
Ausregelzeit auf ± 4 % : ca. 0,7 Sek.



Stellgröße beim Sprung