

Spezialgebiete der Steuer- und Regelungstechnik

WS 2008/09

FH Dortmund

Schriftliche Ausarbeitung

Thema:

PID - Einstellregeln

Verfasser: Boulent Bate

Betreuer: Dr.-Ing. Jörg Kahlert

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
1.1 Regler und Regelkreis.....	3
1.2 Der PID – Regler	4
2. Dimensionierung des PID – Reglers	5
2.1 Empirische Dimensionierung.....	5
2.2 Dimensionierung nach Einstellregeln.....	6
2.2.1 Einstellregeln mit Kenntnis der Regelstreckenparameter.....	6
2.2.2 Einstellregeln ohne Kenntnis der Regelstreckenparameter.....	11
3. Simulation und Vergleich der Einstellregeln mit WinFACT.....	12
3.1 WinFACT	12
3.1.1 BORIS.....	12
3.1.2 PID Design Center.....	12
3.2 Simulation und Vergleich der Einstellregeln.....	13
3.2.1 Vorbereitung.....	13
3.2.2 Simulation und Auswertung.....	14
4. Weitere Einstellregeln.....	22
5. Quellen.....	23

1. Einleitung

1.1 Regler und Regelkreis

Regler haben innerhalb eines Regelkreises die Aufgabe, laufend eine Regelgröße (Istwert) zu messen, sie mit der Führungsgröße (Sollwert) zu vergleichen und bei Abweichungen die Stellgröße so zu verändern, dass die Regeldifferenz minimal wird bzw. Soll- und Istwert wieder übereinstimmen.

Ein Blockschaltbild eines Standardregelkreises, welches das Prinzip und somit die Wirkungsweise einer Regelung verdeutlicht ist in der nachfolgenden Abbildung zu sehen.

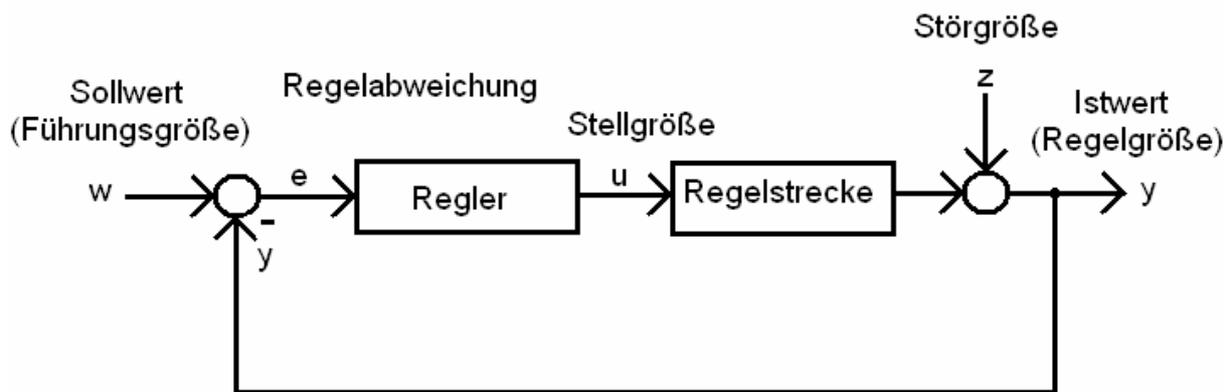


Abbildung 1 : Blockschaltbild eines Standardregelkreises

Ein Regelkreis besteht, wie in der Abbildung 1 zu sehen, aus dem Regler, der Regelstrecke (den zu regelnden Prozess) und einer negativen Rückkopplung der Regelgröße y auf den Regler.

Die Regelabweichung e wird durch die Differenz der Führungsgröße und Regelgröße $e = w - y$ gebildet und ist die Eingangsgröße des Reglers. Die vom Regler bei einer Abweichung ermittelte Stellgröße u wirkt dann auf die Strecke und somit auch auf die Regelgröße ein, um ihn auf den gewünschten Wert zu bringen und dort zu halten.

Die Störgröße z ist eine von außen wirkende Größe, die die Regelgröße verändert und somit nicht gewünscht ist und kompensiert werden muss.

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Reglertypen (P-Regler, I-Regler, PI-Regler, PD-Regler, und PID-Regler) und die Wahl eines bestimmten Reglers hängt von der geforderten Regelgenauigkeit und dem geforderten Zeitverhalten ab.

1.2 Der PID – Regler

Der PID – Regler ist einer der wichtigsten und häufig eingesetzten Standardregler. Dieser besteht aus den folgenden drei parallel miteinander geschalteten Anteilen:

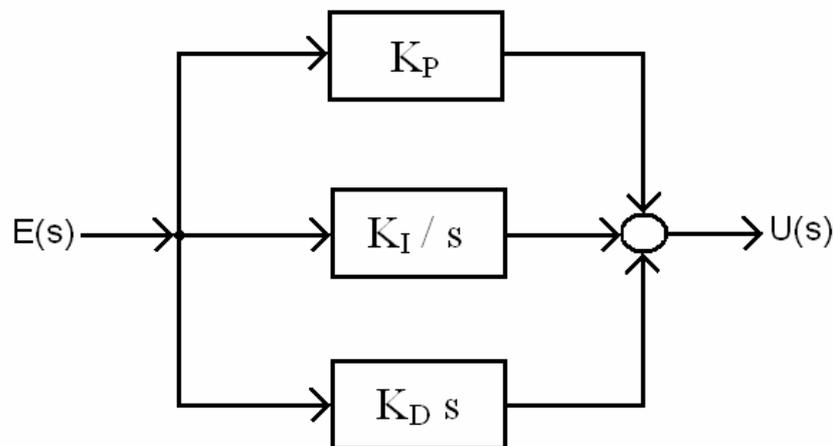


Abbildung 2 : Strukturbild eines PID - Reglers

P – Anteil mit Übertragungsfunktion K_P

I – Anteil mit Übertragungsfunktion K_I / s

D – Anteil mit Übertragungsfunktion $K_D s$

daraus folgt:

$$\begin{aligned} K_{PID}(s) &= K_P + K_I / s + K_D s \\ &= K_P (1 + 1 / T_N s + T_V s) \end{aligned}$$

mit $K_I = K_P / T_N$ und $K_D = K_P * T_V$

T_N wird hierbei als Integral oder Nachstellzeit bezeichnet und legt den Einfluss des I-Anteiles fest. T_V wird als Differential oder Vorhaltezeit bezeichnet und bestimmt den Einfluss des D-Anteiles an der Regelung.

Folglich werden die drei Größen K_P (auch oft als K_R bezeichnet), T_N und T_V als Einstellwerte des Reglers bezeichnet.

Der proportional wirkende Anteil hilft hier bei einer Regelabweichung schnell zu reagieren, kann aber die Abweichung nicht vollständig eliminieren. Deshalb wird noch ein integral wirkender Anteil hinzugezogen. Solange eine Regelabweichung auftritt und gemessen wird, wird die Stellgröße auch verändert. Der differential wirkende Anteil bewertet außerdem noch die Regelabweichung und berechnet so deren Änderungsgeschwindigkeit, so dass der Regler schon bei Ankündigungen von Veränderungen reagieren kann.

PID – Regler sind daher sehr beliebt, da sie die Vorteile der einfachen Reglertypen kombinieren, wie z.B. schnelle Reaktion und exakte Ausregelung.

2. Dimensionierung des PID – Reglers

2.1 Empirische Dimensionierung

In der Praxis werden Regelkreise häufig ohne Verwendung eines Modells durch einfaches Ausprobieren von Reglereinstellungen realisiert. Die Reglerparameter werden einfach nach praktischen Erfahrungswerten vorgewählt und variiert. Deshalb ist diese Methode auch nur geeignet, um einfache Systeme zu dimensionieren.

Die Vorgehensweise sieht dabei folgendermaßen aus:

Man beginnt zunächst mit einer unkritischen Einstellung, indem K_R klein gewählt wird und K_I und K_D auf 0 gesetzt werden. Nun erhöht man langsam K_R solange bis die Dämpfung schlecht wird. Wenn hierbei eine Schwingungsneigung auftritt, wird die Verstärkung K_R etwas zurück genommen. Anschließend nimmt man auch noch den Integralanteil und den Differentialanteil hinzu und erhöht diese auch langsam bis das Ergebnis einigermaßen akzeptabel ist. Wenn die

Regelung dabei stabiler wird, kann man noch mal K_R oder K_I erhöhen und herum probieren bis alles passt.

Man erkennt schon, dass eine Dimensionierung nach dieser Methode nicht immer den Regler optimal einstellt.

2.2 Dimensionierung nach Einstellregeln

2.2.1 Einstellregeln mit Kenntnis der Regelstreckenparameter

Bei der Dimensionierung nach Einstellregeln unterscheidet man zunächst ob die Art der Regelstrecke und ihre Streckenparameter bekannt sind. Falls die Streckenparameter K_S , T_u und T_g bekannt sind, können die Reglerparameter durch einfache Einstellregeln bestimmt werden.

Die Streckenparameter können hierbei beispielsweise durch das Wendetangentenverfahren bestimmt werden. Bei diesem Verfahren wird die Sprungantwort aufgenommen und die Verzugszeit T_u und die Ausgleichszeit T_g , bei Strecken mit Ausgleich, durch Einzeichnen der Wendetangente wie im Bild unten zu sehen ist bestimmt. Bei Strecken ohne Ausgleich wird nur die Verzugszeit T_u bestimmt, indem die Tangente an den stationären Verlauf der Sprungantwort gelegt wird. Dabei ergibt dann der Schnittpunkt der Tangente mit der Zeitachse die Verzugszeit T_u .

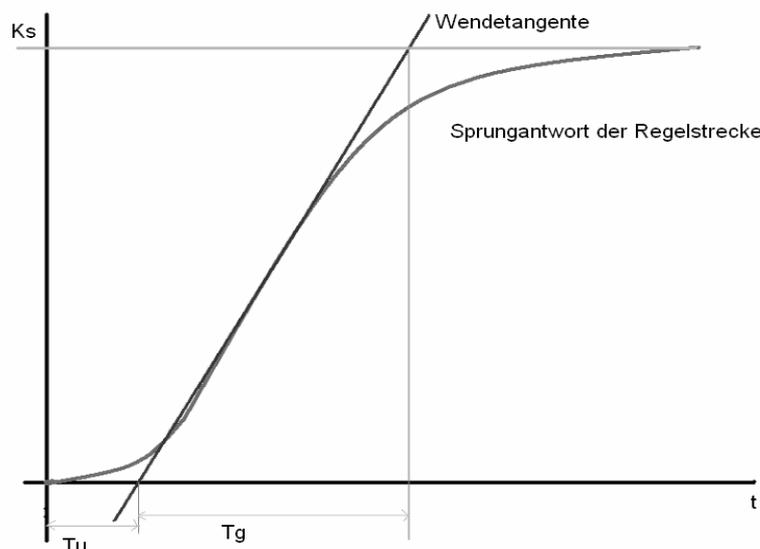


Abbildung 3 : Wendetangentenverfahren

Einige Einstellregel benutzen nicht unbedingt die Wendetangenten – Methode, sondern andere, wie z.B. eine P-T1-Tt – Approximation, das T-Summen – Verfahren, oder auch die Methode des Betragsoptimums um die Kennwerte einer Regelstrecke zu bestimmen.

- P-T1-Tt – Approximation

Bei dieser Methode wird die Strecke als Reihenschaltung aus einem P-T1-Glied mit der Zeitkonstanten T1 und einem Totzeitglied mit der Totzeit Tt gebildet. Die Kennwerte T1 und Tt werden dann so bestimmt, dass die Approximation die Sprungantwort gut annähert.

- T-Summen – Verfahren

Als Kenngröße für die Strecken wird in diesem Verfahren die Summen-Zeitkonstante T_{Σ} genutzt, welche die Schnelligkeit der Strecke kennzeichnet.

Diese Konstante ist definiert als die Summe aller verzögernden Zeitkonstanten abzüglich aller differenzierenden Zeitkonstanten und zuzüglich der Streckentotzeit ($T_{\Sigma} = T_1 + T_2 + \dots + T_n - T_{D1} - T_{D2} - \dots - T_{Dm} + T_t$).

Sie kann aber auch grafisch aus der Sprungantwort ermittelt werden. Man verschiebt dabei wie im Bild unten zu sehen ist, eine vertikale Gerade solange nach rechts, bis die beiden Flächen zwischen Gerade und Sprungantwort gleich groß sind. Dann kann man an der Stelle die Summen-Zeitkonstante T_{Σ} ablesen.

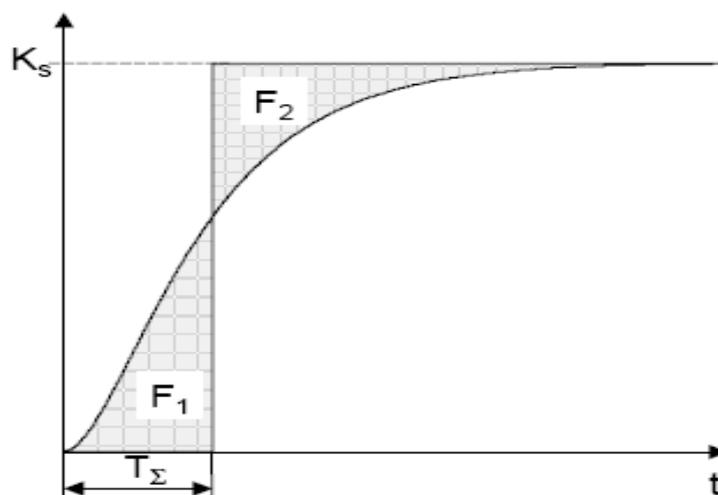


Abbildung 4 : Bestimmung der Summen-Zeitkonstanten T_{Σ} : $F_1 = F_2$

- Betragsoptimum (P-Tn-Approximation)

Bei dieser Methode wird die Regelstrecke durch ein P-Tn-Glied mit n gleichen Zeitkonstanten T_1 approximiert. Man geht dabei folgendermaßen vor:

Es werden zunächst die Zeitwerte aus der Sprungantwort ermittelt, bei denen die Regelgröße 10, 50 und 90% ihres Endwertes erreicht. Anschließend wird dann mit der Formel $\mu = t_{10\%} / t_{90\%}$ der Parameter μ bestimmt.

Aus der nachfolgenden Tabelle können dann die Parameter α_{10} , α_{50} , α_{90} und die Streckenordnung n abgelesen werden.

μ	n	α_{10}	α_{50}	α_{90}
0.046	1	9.491	0.1443	0.434
0.137	2	1.880	0.596	0.257
0.207	3	0.907	0.374	0.188
0.261	4	0.573	0.272	0.150
0.304	5	0.411	0.214	0.125
0.340	6	0.317	0.176	0.108
0.370	7	0.257	0.150	0.095
0.396	8	0.215	0.130	0.085
0.418	9	0.184	0.115	0.077
0.438	10	0.161	0.103	0.070

Tabelle 1 : Betragsoptimum (P-Tn-Approximation)

Die Zeitkonstante T_1 kann dann schließlich mit $T_1 = 1/3 (\alpha_{10} t_{10\%} + \alpha_{50} t_{50\%} + \alpha_{90} t_{90\%})$ berechnet werden.

→ Nachdem man nun die Streckenparameter bestimmt hat, kann man mit diesen festgestellten Werten die Reglerparameter gemäß gewünschter Einstellregel berechnen.

Die bekanntesten Einstellregeln sind nachfolgend aufgelistet:

Einstellregeln nach Ziegler / Nichols:

(auch als erste Einstellregel nach Ziegler / Nichols bezeichnet)

Regler	K_R	T_N	T_V
P	$(1 / K_S) * (T_1 / T_t)$		
PI	$(0,9 / K_S) * (T_1 / T_t)$	$3,3 * T_t$	
PID	$(0,9 / K_S) * (T_1 / T_t)$	$2 * T_t$	$0,5 * T_t$

mit $K_I = K_R / T_N$ und $K_D = K_R * T_V$

Einstellregeln nach Chien / Hrones und Reswick:

(die Reglerparameter sind hier für gutes Stör- und Führungsverhalten getrennt und auch für aperiodische oder periodische Regelungen unterteilt)

Regler		Aperiodischer Verlauf		20% Überschwingen	
		gutes Störverhalten	gutes Führungsverhalten	gutes Störverhalten	gutes Führungsverhalten
P	K_R	$(0,3/K_S)*(T_g/T_u)$	$(0,3/K_S)*(T_g/T_u)$	$(0,7/K_S)*(T_g/T_u)$	$(0,7/K_S)*(T_g/T_u)$
PI	K_R	$(0,6/K_S)*(T_g/T_u)$	$(0,35/K_S)*(T_g/T_u)$	$(0,7/K_S)*(T_g/T_u)$	$(0,6/K_S)*(T_g/T_u)$
	T_N	$4*T_u$	$1,2*T_u$	$2,3*T_u$	T_g
PID	K_R	$(0,95/K_S)*(T_g/T_u)$	$(0,6/K_S)*(T_g/T_u)$	$(1,2/K_S)*(T_g/T_u)$	$(0,95/K_S)*(T_g/T_u)$
	T_N	$2,4*T_u$	T_g	$2*T_u$	$1,35*T_g$
	T_V	$0,42*T_u$	$0,5 T_u$	$0,42*T_u$	$0,47*T_u$

mit $K_I = K_R / T_N$ und $K_D = K_R * T_V$

Einstellregeln nach Oppelt:

Regler	K_R	T_N	T_V
P	$(1 / K_S) * (T_g / T_u)$		
PI	$(0,8 / K_S) * (T_g / T_u)$	$3 * T_u$	
PID	$(1,2 / K_S) * (T_g / T_u)$	$2 * T_u$	$0,42 * T_u$

mit $K_I = K_R / T_N$ und $K_D = K_R * T_V$

Einstellregeln nach Rosenberg:

Regler	K_R	T_N	T_V
P	$1 / K_S * (T_g / T_u)$		
PI	$(0,91 / K_S) * (T_g / T_u)$	$3,3 * T_u$	
PID	$(1,2 / K_S) * (T_g / T_u)$	$2 * T_u$	$0,44 * T_u$

mit $K_I = K_R / T_N$ und $K_D = K_R * T_V$

Einstellregeln nach T-Summen-Verfahren:

normale Einstellung:

Regler	K_R	T_N	T_V
P	$1 / K_S$		
PI	$0,5 / K_S$	$0,5 * T_\Sigma$	
PD	$1 / K_S$		$0,33 * T_\Sigma$
PID	$1 / K_S$	$0,66 * T_\Sigma$	$0,167 * T_\Sigma$

schnelle Einstellung:

Regler	K_R	T_N	T_V
PI	$1 / K_S$	$0,7 * T_\Sigma$	
PID	$2 / K_S$	$0,8 * T_\Sigma$	$0,194 * T_\Sigma$

2.2.2 Einstellregeln ohne Kenntnis der Regelstreckenparameter

Es kann natürlich auch vorkommen, dass die Art der Regelstrecke und ihre Streckenparameter nicht bekannt sind. In so einem Fall können die Reglerparameter mit Hilfe des *Schwingungsverfahrens nach Ziegler / Nichols* bestimmt werden. Bei dieser Methode (auch zweite Einstellregel nach Ziegler / Nichols bezeichnet) werden die Reglerparameter zunächst so eingestellt, dass der Regelkreis zu schwingen beginnt bzw. die Regelgröße periodische Schwingungen ausführt. Aus dieser Einstellung können nachher dann, die Reglerparameter bestimmt werden.

Dabei geht man folgendermaßen vor:

Zunächst stellt man den Regler als reinen P-Regler ein, d.h. K_I und K_D werden auf 0 gesetzt. Danach wird K_R solange erhöht, bis die Stabilitätsgrenze erreicht wird und der Regelkreis Dauerschwingungen ausführt. Der dabei eingestellte Wert wird als K_{Rkrit} bezeichnet und die Periodendauer der Dauerschwingung als T_{krit} .

Anschließend können mit der nachfolgenden Tabelle die Regelparameter bestimmt werden.

Regler	K_R	T_N	T_V
P	$0,5 * K_{Rkrit}$		
PI	$0,45 * K_{Rkrit}$	$0,85 * T_{krit}$	
PD	$0,8 * K_{Rkrit}$		$0,12 * T_{krit}$
PID	$0,6 * K_{Rkrit}$	$0,5 * T_{krit}$	$0,12 * T_{krit}$

$$\text{mit } K_I = K_R / T_N \quad \text{und} \quad K_D = K_R * T_V$$

Der Nachteil dieses Verfahren ist, dass es nur auf Regelstrecken anwendbar ist, bei denen Schwingungen keine Schäden anrichten und die überhaupt instabil gemacht werden können bzw. die auch erst zum Schwingen gebracht werden können.

3. Simulation und Vergleich der Einstellregeln mit WinFACT

3.1 WinFACT

Nachdem wir nun die verschiedenen Einstellregeln kennengelernt haben, können wir im nächsten Schritt in einer Simulation einer Regelung diese Einstellregeln anwenden und vergleichen.

Dafür steht uns WinFACT zur Verfügung, zudem ich im folgendem eine kleine Einleitung geben will.

WinFACT steht für *Windows Fuzzy And Control Tools* und ist eine Software bzw. ein Programmsystem, welches zur Analyse, Synthese und Simulation von Regelungssystemen verwendet wird. Des Weiteren aber auch Komponenten zur Behandlung von Fuzzy-Systemen und Neuronalen Netze zur Verfügung stellt. WinFACT kann bei der Modellbildung, bei der Analyse von Regelstrecken, beim Entwurf von Reglern und Simulation dieser Regelkreise helfen. Dieses Programmsystem stellt uns somit nützliche Tools zur Verfügung, die wir zur Analyse und Synthese von Regelkreisen verwenden können.

3.1.1 BORIS

Der Kern von WinFACT ist das sogenannte Blockorientierte Simulationssystem BORIS. Dieses Simulationssystem kann nicht nur als Simulationswerkzeug verwendet werden, sondern auch in den Bereichen Messdatenerfassung und -verarbeitung, Steuerung und Regelung (welches wir auch im folgendem tun werden) eingesetzt werden. BORIS stellt uns dafür viele Möglichkeiten der Simulationssteuerung und eine umfangreiche Bibliothek an Systemblöcken wie z.B. Eingangsböcke (Signalgeneratoren...) und Stellglieder zur Verfügung.

3.1.2 PID Design Center

Das PID Design Center für das Simulationssystem BORIS erweitert zusätzlich noch unsere Möglichkeiten zum Entwurf von PID-Reglern.

Es stellt uns für den Entwurf von kontinuierlichen und zeitdiskreten PID-Regler verschiedene Streckenapproximationen und Entwurfsverfahren zur Verfügung. Darunter finden wir beispielsweise die zuvor erwähnten bekannten Einstellregeln nach Ziegler/Nichols, die Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick aber auch die T-Summen-Regel und viele weitere.

3.2 Simulation und Vergleich der Einstellregeln

3.2.1 Vorbereitung

Bevor wir mit der Simulation und dem Vergleich beginnen können, müssen wir zunächst das PID Design Center in eine Boris-Struktur einbinden. Da das PID Design Center ein User-DLL realisierter BORIS-Systemblock ist, können wir zunächst einen leeren User-DLL-Block einfügen und dann nach Doppelklick auf diesen Block die PIDDesignCenter.DLL - Datei auswählen.

Nach diesen Schritten ist dann unser PID Design Center - Block in der BORIS-Systemstruktur eingefügt und wir können mit unserer Simulation beginnen (Bild 1).

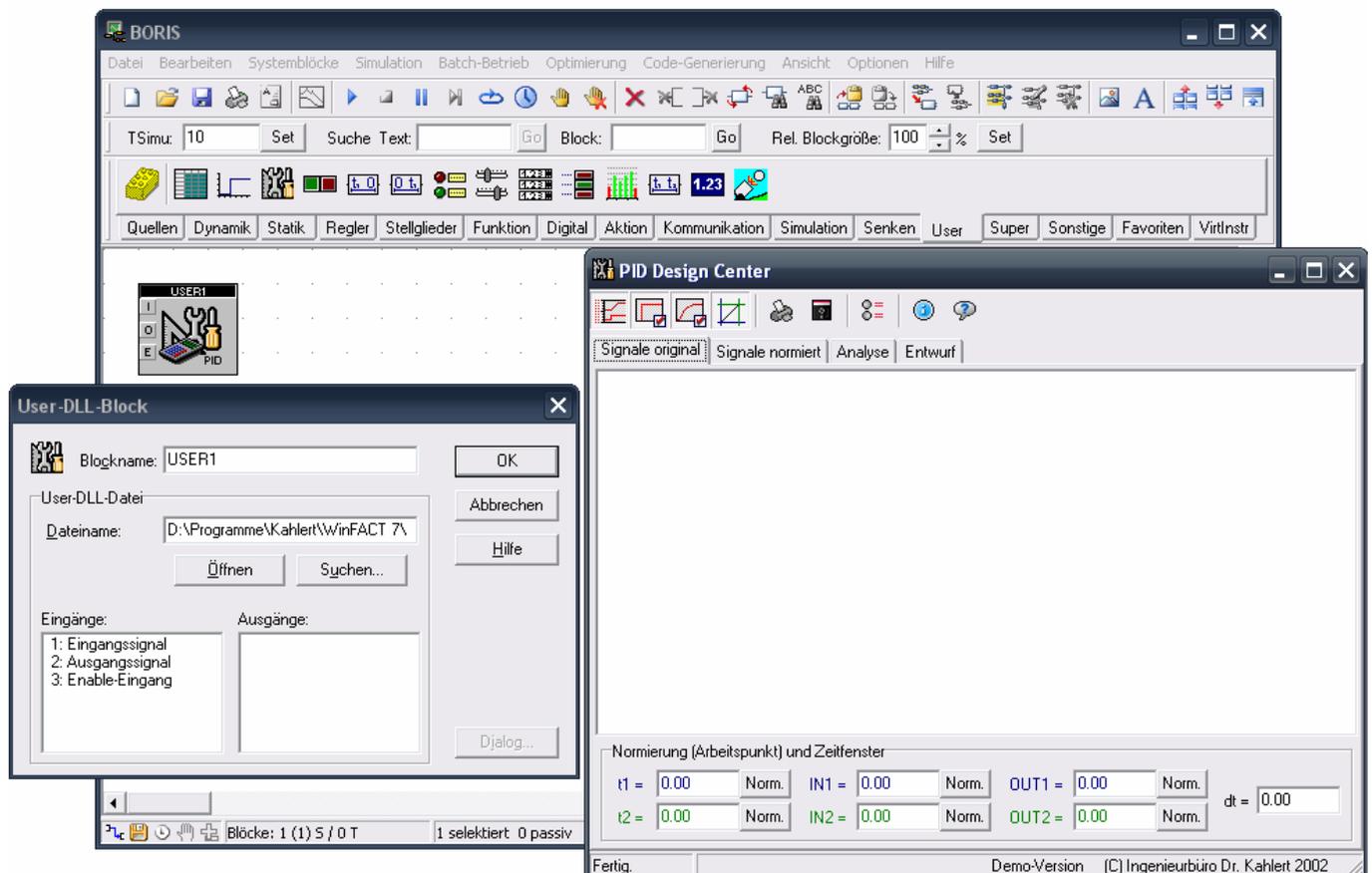


Bild 1: Einbinden des PID Design Centers

3.2.2 Simulation und Auswertung

Damit wir im folgendem nun die verschiedenen Einstellregeln bewerten und vergleichen können, wählen wir exemplarisch eine Regelstrecke 3.Ordnung mit den Parametern: $K=1$, $T_1 = 1$, $T_2 = 5$ und $T_3 = 10$.

Aufgebaut sieht unser System unter BORIS dann folgendermaßen aus:

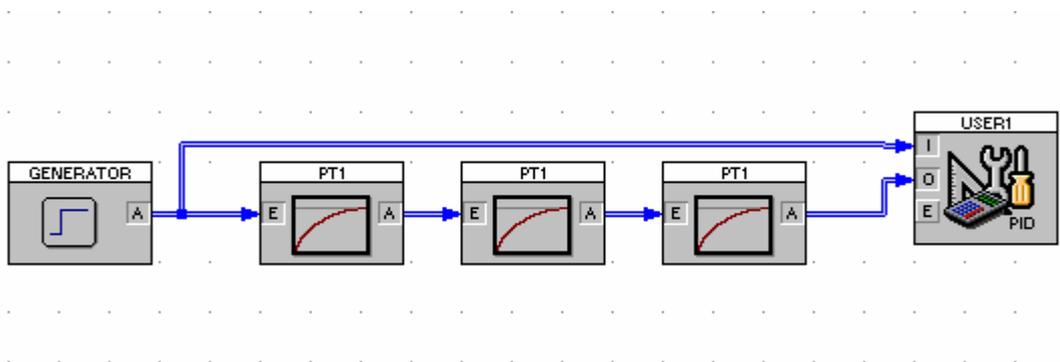


Bild 2: Regelstrecke 3.Ordnung in BORIS

Mit Hilfe des Generators erzeugen wir uns zunächst ein Eingangssignal (Sprungfunktion). Dieses Signal geben wir dann auf unsere Regelstrecke und zusätzlich noch auf den Eingang (Input) des PID Design Centers. Außerdem wird der zweite Eingang (Output) des PID Design Centers mit dem Ausgangssignal der Regelstrecke verbunden. Anschließend können wir mit der Analyse der Regelstrecke beginnen.

Beim Starten der Simulation und öffnen des PID Design Center sehen wir schon im Anzeigefenster die Sprungantwort unserer Regelstrecke (Bild 3).

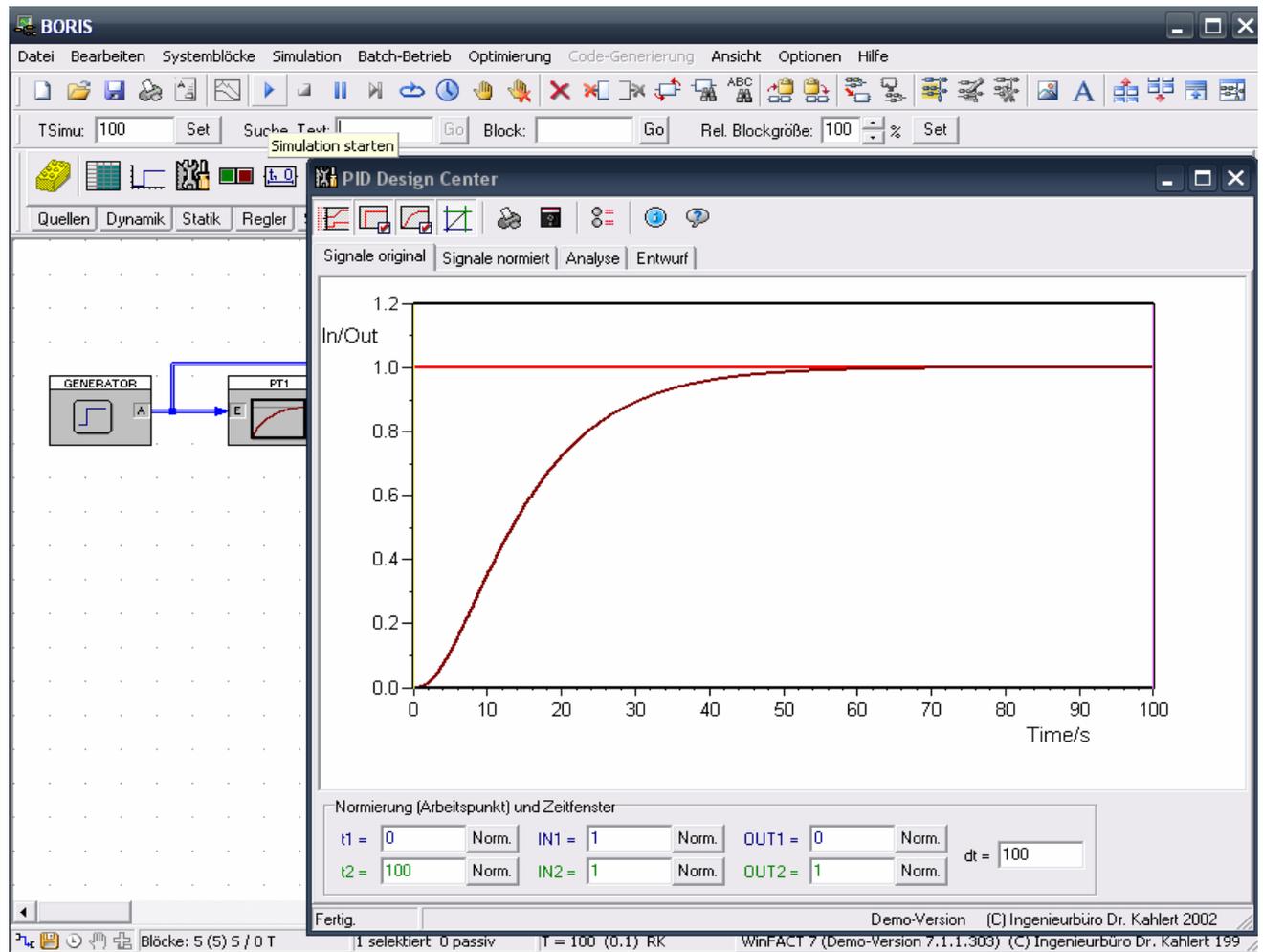


Bild 3: Sprungantwort der Regelstrecke

Falls erforderlich, kann man jetzt eine Normierung der Signale (Wahl des Arbeitspunktes) vornehmen oder aber auch für eine bessere Darstellung der Signale die Grenzen für das Zeitfenster verändern. In unserem Fall ist dies nicht unbedingt notwendig, wir können direkt zur Streckenanalyse übergehen indem wir auf die Palette Analyse klicken (Bild 4).

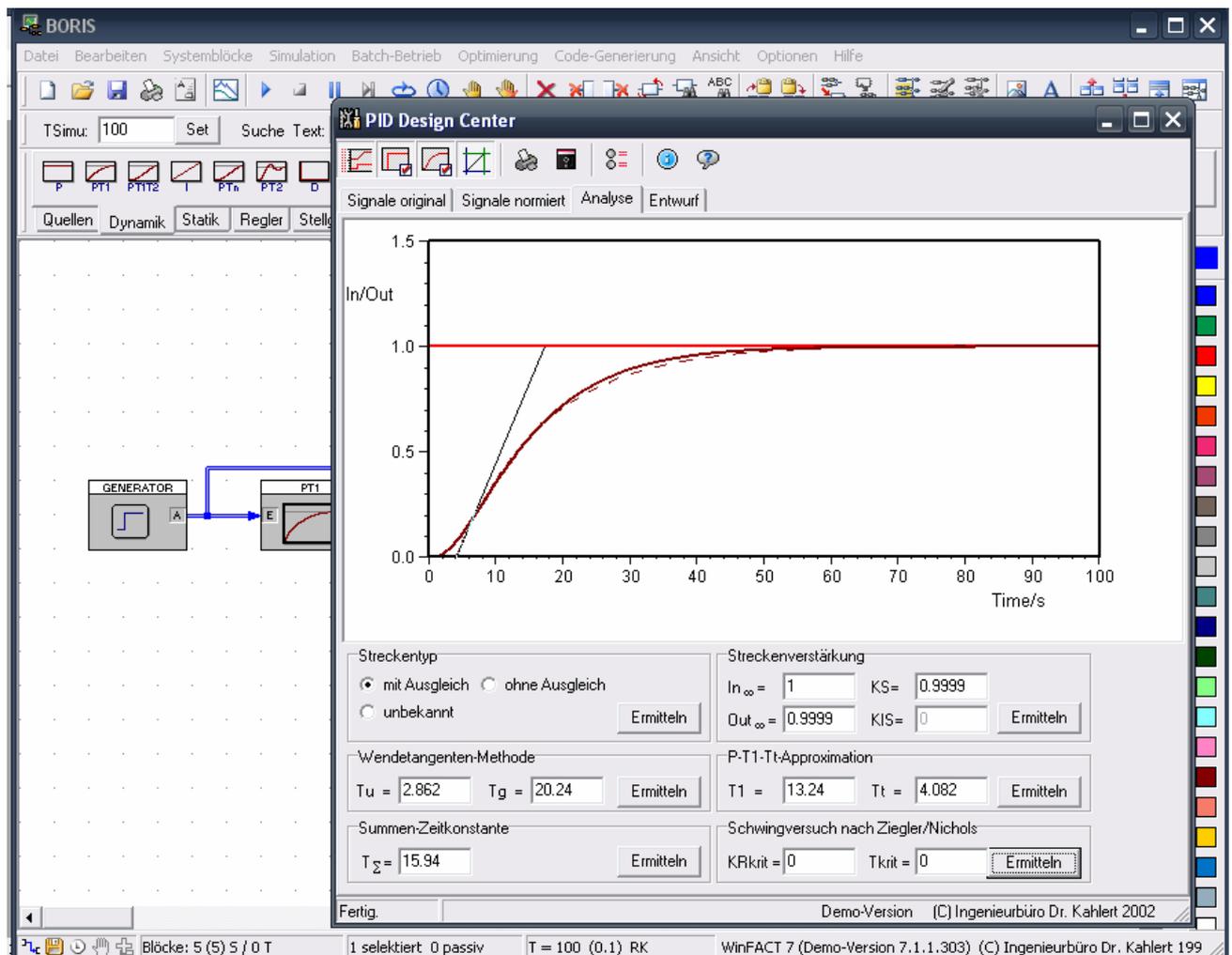


Bild 4: Analyse der Strecke

Wie im Bild 4 zu sehen ist, können nun die Kennwerte unserer Regelstrecke automatisch mit den verschiedenen Methoden, wie z.B. mit der Wendetangenten-Methode oder einer P-T1-Tt-Approximation bestimmt werden.

Über die Schaltfläche *Ermitteln*, erhalten wir dann unsere Kennwerte, die wir später für unsere verschiedenen Einstellregeln brauchen.

Wir erhalten somit für:

$$T_u = 2,862$$

$$T_g = 20,24$$

$$T_{\Sigma} = 15,94$$

$$K_S = 0,9999$$

$$T_1 = 13,24$$

$$T_t = 4,082$$

Als Streckentyp haben wir unserem Fall eine Strecke mit Ausgleich.

K_{Rkrit} müssen wir selber vorgeben, d.h. wir müssen anhand eines Schwingversuchs nach *Ziegler/Nichols* diesen Parameter bestimmen. Der Versuchsaufbau dafür, sieht in BORIS folgendermaßen aus:

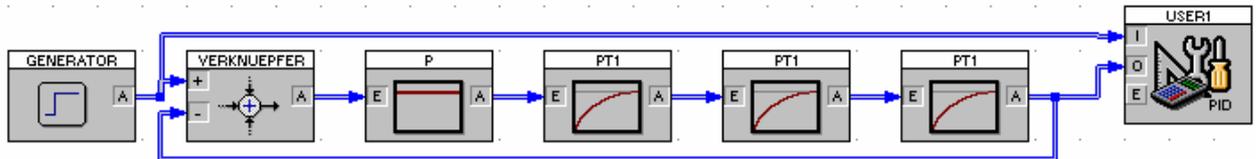


Bild 5: Regelkreis für den Schwingversuch nach Ziegler/Nichols

Wir setzen zunächst einen P-Regler (anstatt PID-Regler) ein und erhöhen K_R solange bis die Stabilitätsgrenze erreicht wird und der Regelkreis Dauerschwingungen ausführt. Der dabei eingestellte Wert ist dann unser gesuchter K_{Rkrit} .

Die Periodendauer der Dauerschwingung T_{krit} kann dann automatisch unter der Palette *Analyse* ermittelt werden (Bild 6).

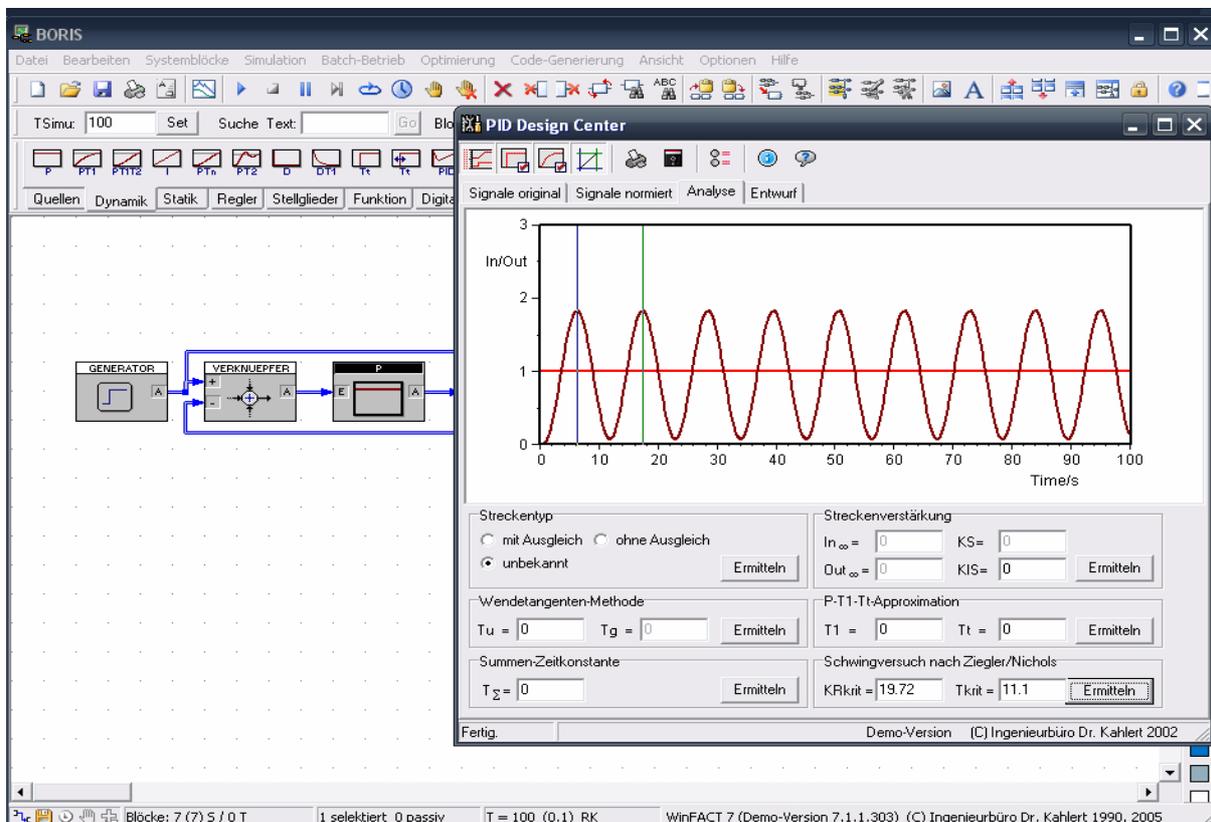


Bild 6: Schwingversuch nach Ziegler/Nichols zur Streckenanalyse

Wir erhalten somit für:

$$K_{Rkрит} = 19,72$$

$$\text{und } T_{kрит} = 11,1$$

Nachdem wir die Strecke analysiert und alle Kennwerte bestimmt haben können wir im nächsten Schritt dann auf die Palette *Entwurf* gehen (Bild 7).

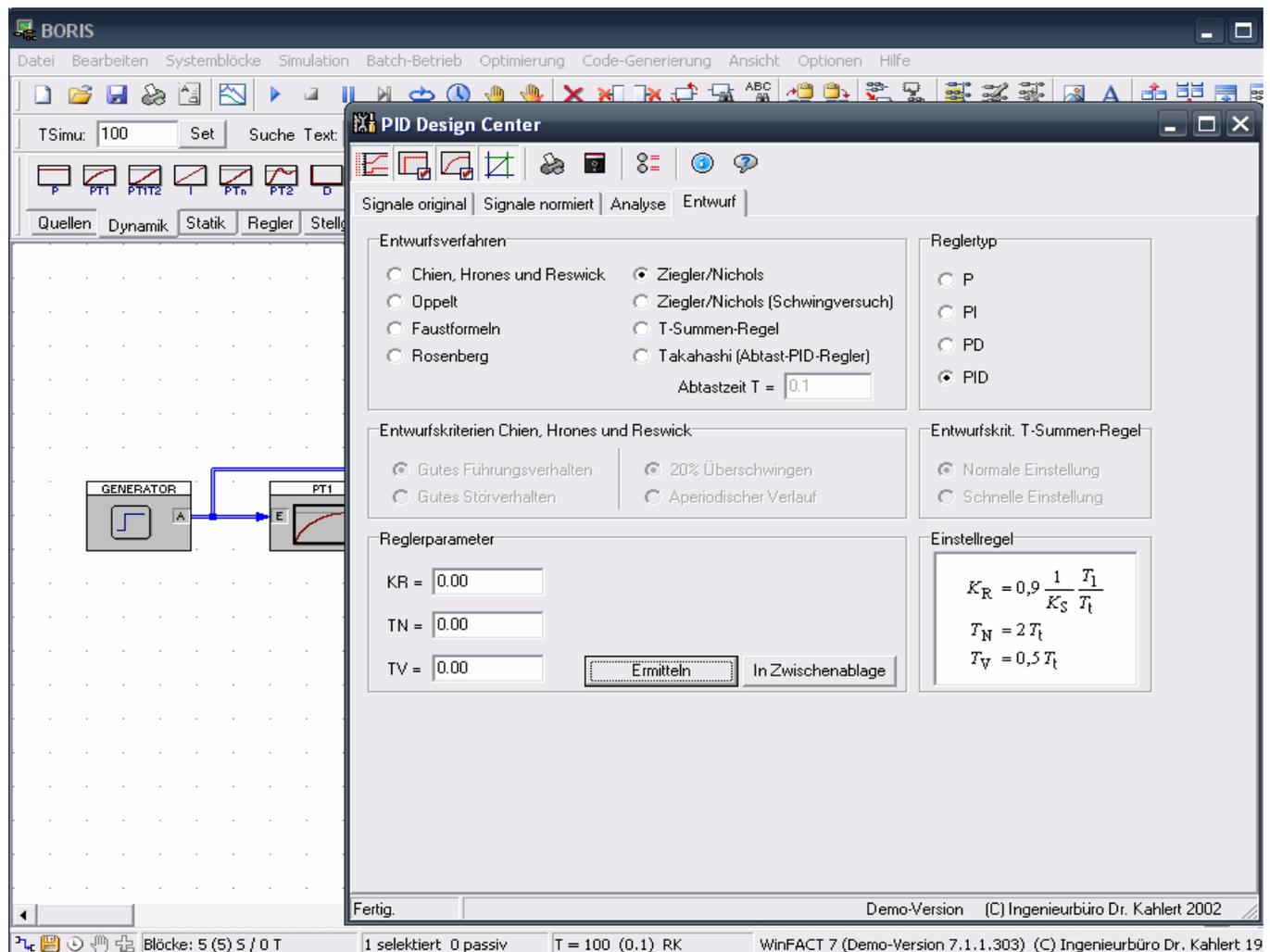


Bild 7: Entwurf des Reglers

Hier können wir nun als Reglertyp: PID wählen und das gewünschte Entwurfsverfahren bzw. Einstellregel auswählen. Über die Schaltfläche *Ermitteln*, können dann anschließend die Reglerparameter bestimmt werden. (Da diese Version von WinFACT leider nur eine Demoversion ist, müssen die Parameter von Hand berechnet werden.)

Für die verschiedenen Einstellregeln erhalten wir somit folgende Parameter:

Chien, Hrones und Reswick:

(bei gutem Führungsverhalten und 20% Überschwingen)

$$K_R = 6,719050661 ; T_N = 27,324 ; T_V = 1,34514$$

Chien, Hrones und Reswick:

(bei gutem Führungsverhalten und Aperiodischem Verlauf)

$$K_R = 4,243610944 ; T_N = 20,24 ; T_V = 1,431$$

Oppelt:

$$K_R = 8,487221888 ; T_N = 5,724 ; T_V = 1,20204$$

Rosenberg:

$$K_R = 8,487221888 ; T_N = 5,724 ; T_V = 1,25928$$

Ziegler/Nichols:

$$K_R = 2,919449221 ; T_N = 8,164 ; T_V = 2,041$$

Ziegler/Nichols (Schwingversuch):

$$K_R = 11,832 ; T_N = 9,86 ; T_V = 2,3664$$

T-Summen-Regel:

(Normale Einstellung)

$$K_R = 1,00010001 ; T_N = 10,5204 ; T_V = 2,66198$$

T-Summen-Regel:

(Schnelle Einstellung)

$$K_R = 2,00020002 ; T_N = 12,752 ; T_V = 3,09236$$

Nachdem unsere Parameter feststehen, können wir nun unseren geschlossenen Regelkreis in BORIS aufbauen und mit den verschiedenen Einstellregeln simulieren.

Damit wir auch alle Einstellregeln gleichzeitig vergleichen können, bauen bzw. simulieren wir im nächsten Schritt 8 Regelkreise, mit den jeweils nach den Einstellregeln unterschiedlichen parametrisierten PID-Reglern (Bild 8).

Es ergibt sich dabei folgender Aufbau in BORIS:

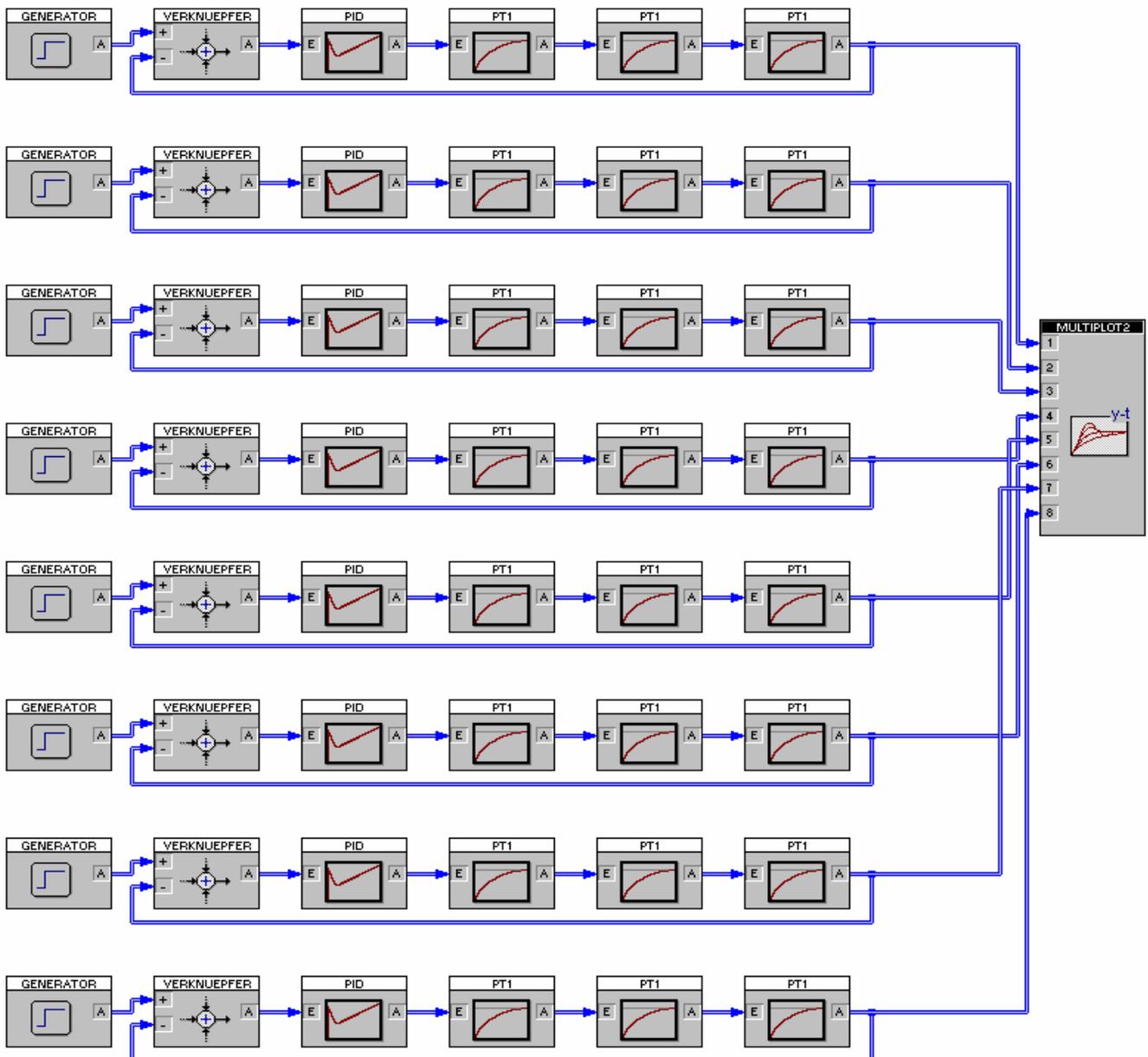


Bild 8: Aufbau der 8 Regelkreise in BORIS

Unsere Regelkreise bestehen somit, wie aus dem Bild 8 zu erkennen ist aus unserer PT3-Strecke, dem PID-Regler und der negativen Rückkopplung der Regelgröße auf den Regler über dem Verknüpfen.

Desweiteren sind die Ausgangssignale der Regelkreise mit dem Mehrfach-Zeitverlauf-Block verbunden, um die Simulationsergebnisse darzustellen.

Beim Starten der Simulation, erhalten wir schließlich für die Regelkreise folgende Regelverhalten:

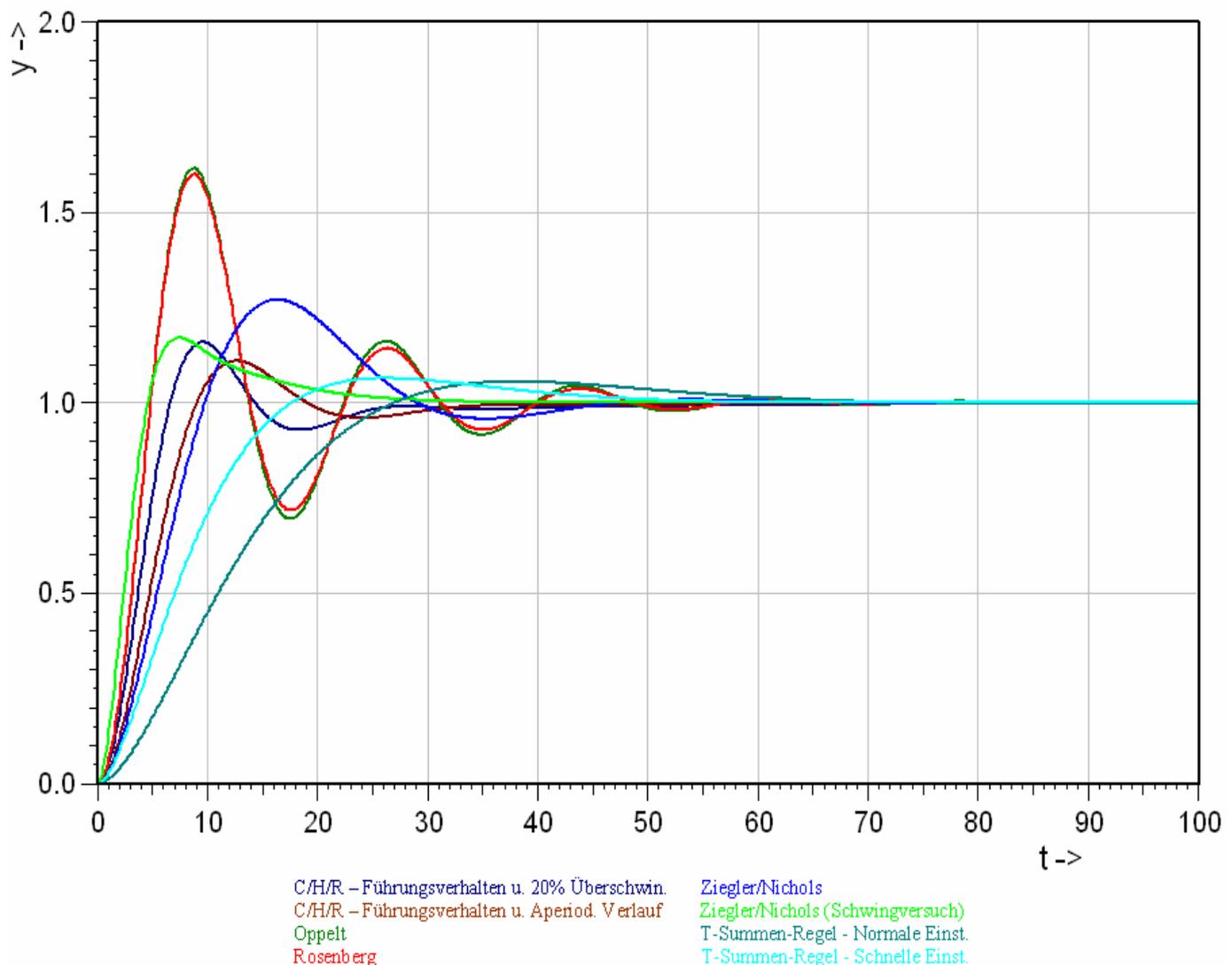


Bild 9: Vergleich der Einstellregeln anhand der Regelverhalten

Man erkennt schon auf dem ersten Blick, dass die Regelkreise mit den Einstellregeln von *Rosenberg* und *Oppelt* sehr hoch überschwingen und eine längere Zeit benötigen sich einzuschwingen. Desweiteren fällt auf, dass das Regelverhalten der beiden Einstellregeln hier sehr ähnlich ist bzw. die Verläufe fast komplett übereinander liegen. Das liegt wahrscheinlich daran, dass sich die Einstellregeln nur in der Vorhaltezeit T_V geringfügig ändern (*Oppelt*: $T_V = 0,42 * T_U$; *Rosenberg*: $T_V = 0,44 T_U$).

Bei Ziegler/Nichols sieht es da schon etwas besser aus. Das System schwingt nicht so stark über, schwingt sich relativ schnell ein, reagiert aber dafür nicht so schnell.

Schnelle Reaktionen zeigen die Einstellregeln von *Chien*, *Hrones* u. *Reswick* (beide Varianten: 20% Überschwingen und Aperiodischer Verlauf) und der *Schwingversuch von Ziegler/ Nichols*. Dabei reagiert der *Schwingversuch von Ziegler/Nichols* am schnellsten. Weiterhin erreichen diese Einstellregeln auch schnell ihren Endwert und schwingen am Anfang nur leicht über.

Die beiden T-Summen-Regeln hingegen, sind langsamer, zeigen aber dafür nur sehr kleine Überschwingungen. Die „Schnelle Einstellung“ der T-Summen-Regeln wie auch schon der Name verrät, reagiert dabei etwas schneller als die „Normale Einstellung“.

Die Entscheidung welche Einstellregel nun verwendet werden soll, hängt letztendlich davon ab, ob eher auf ein schnelles System oder eher auf ein stabiles System (d.h. keine starken Überschwingungen) Wert gelegt wird.

Es muss daher ein Kompromiss zwischen Schnelligkeit und Stabilität gefunden werden.

4. Weitere Einstellregeln

Es existieren noch viele weitere Einstellregeln, einige die hier nur kurz erwähnt werden sollten sind:

- Einstellregeln nach *Takahashi*, zum Entwurf von zeitdiskreten PID-Reglern (Abtastreglern)
- Einstellregeln nach *Weber*, eine Erweiterung der Regeln nach Rosenberg
- Einstellregeln nach *Samal* für alle Regelarten
- Einstellregeln nach *Fieger* und *Oppelt* für I-T-Strecken

- Einstellregeln nach *Strejc* für P-T2-Strecken und für P-Tn-Strecken mit n gleichen Zeitkonstanten T
- Einstellregeln nach *Stang*
- viele weitere....

5. Quellen

Bücher:

- Lunze, Jan: Automatisierungstechnik
- Lunze, Jan: Regelungstechnik/1
- Unbehauen, Heinz: Regelungstechnik/1 - Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelsysteme, Fuzzy-Regelsysteme
- Zacher Serge: Automatisierungstechnik kompakt - Theoretische Grundlagen, Entwurfsmethoden, Anwendungen

Web:

- <http://www.kahlert.com/>
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Faustformelverfahren_\(Automatisierungstechnik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Faustformelverfahren_(Automatisierungstechnik))
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Regler>
- <http://www.roboternetz.de/wissen/index.php/Regelungstechnik>
- http://www.samson.de/pdf_de/1102de.pdf
- <http://www.mark-schubring.de/downloads/MSRV6.pdf>
- http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/7/tc/regelung/grundlagen/regelung_grundlagen.vlu/Page/vsc/de/ch/7/tc/regelung/grundlagen/regparam/regparam.vscml.html
- http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/7/tc/regelung/grundlagen/regelung_grundlagen.vlu/Page/vsc/de/ch/7/tc/regelung/grundlagen/regler/pid_ctrl.vscml.html
- <http://simtec.fb2.fh-frankfurt.de/control/index.htm?page=/control/rdsexpl.htm>
- <http://techni.chemie.uni-leipzig.de/reg/parcalchelp.html>
- <http://techni.tachemie.uni-leipzig.de/reg/regeintn.html>
- http://www.tu-ilmeneau.de/fakia/fileadmin/template/startIA/sanalyse/div/praktikas/as-g4_anleitung.pdf