

# Labor Regelungstechnik im Modul FT 24.1

## „Steuerungs- und Regelungstechnik“

### - Geschwindigkeitsregelung eines RC-Fahrzeuges -

Gruppe: ..... Datum der Versuchsdurchführung: .....

Teilnehmer: ..... Matrikelnummer: .....

Teilnehmer: ..... Matrikelnummer: .....

Teilnehmer: ..... Matrikelnummer: .....

Teilnehmer: ..... Matrikelnummer: .....

Teilnehmer: ..... Matrikelnummer: .....

#### **Bitte beachten:**

Die Auswertungen sind **spätestens 14 Tage** nach Durchführung des Versuchs in schriftlicher Form (diese Versuchsanleitung ergänzt um die während des Versuchs erzeugten Grafiken inkl. der Versuchsauswertung/-erklärungen) ins Postfach 132 (Mitarbeiter Fahrzeugtechnik / Ralf Petry) einzuwerfen.

Zusätzlich geben Sie bitte die zuvor erhaltenen Testatblätter **aller** Gruppenmitglieder mit ab. Diese erhalten Sie bei der Rückgabe Ihrer Auswertung aktualisiert zurück.

Sollte Ihre Auswertung an Sie zur Korrektur zurückgegeben werden, ist diese basierend auf den Anmerkungen des Korrektors entsprechend nachzuarbeiten. Bei Unklarheiten klären Sie offene Punkte **vor** der erneuten Abgabe mit dem Betreuer/Korrektor ab. Weist die überarbeitete Version der Ausarbeitung erneute eklatante Mängel auf, wird der Versuch als **nicht bestanden** gewertet. Es gibt nur eine Korrekturschleife.

Eine verspätete Abgabe wird als **nicht bestanden** gewertet und der Versuch kann dann frühestens im darauffolgenden Wintersemester wiederholt werden.

**Bitte bringen Sie pro Gruppe mindestens einen Ausdruck dieser Anleitung mit.**

## 0 Handwerkszeug

Mitzubringen sind: Schreibzeug, Taschenrechner, pro Gruppe ein langes Lineal

## 1 Aufgabenstellung

Es ist ein Gleichstrommotor mittels einer PC-Mikrocontroller-Kombination anzusteuern und die Geschwindigkeit über ein Geberrad, welches mit einem Hall-Sensor detektiert wird, zu erfassen. Bei der Versuchsdurchführung wird zunächst versucht, das System mit einem Handregler einer vorgegebenen Geschwindigkeitsfunktion folgend zu steuern. Danach erfolgt ein Vergleich dieser Steuerung mit der Regeldynamik und -güte einer geschlossenen Regelschleife.

Zur Regelkreisdimensionierung wird dem System über einen Signalgenerator eine Sprungfunktion aufgeschaltet, aus dessen Sprungantwort die Reglerparameter zu ermitteln sind. Unter Verwendung oben genannter Komponenten ist dann ein geschlossener Regelkreis aufzubauen, dessen Verhalten zu bewerten und mit dem der Handsteuerung zu vergleichen.

## 2 Lernziele

Kennenlernen und Anwendung von:

- grafischen Programmiersystemen für Mess-, Steuer- und Regelanwendungen, hier am Beispiel von DASyLab
- Mikrocontroller-Systemen (mit PC-Anbindung über eine virtuelle COM-Schnittstelle)
- Testfunktionen zur Reglerdimensionierung
- einfachen Regelkreisen mit kontinuierlicher Messung und Rückführung der Regelgröße
- Vergleichskriterium zur Bewertung der Regelgüte von Regelvorgängen

## 3 Grundlagen

### 3.1 Struktur eines Regelkreises

Das nachfolgende Bild zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Regelkreises mit seinen Standardelementen und den wichtigsten Signalen.

#### Aufgabe 1:

- Betrachten Sie den Versuchsaufbau und analysieren Sie dessen Hard- und Software-Komponenten.
- Tragen Sie im Blockschaltbild die passenden Komponenten und physikalischen Größen zu den Elementen und Signalen ein.
- Fassen Sie jene Elemente zusammen, die entweder auf dem PC realisiert werden, zur Mikrocontroller-Hardware-Umgebung oder zum elektromechanischen Aufbau gehören.

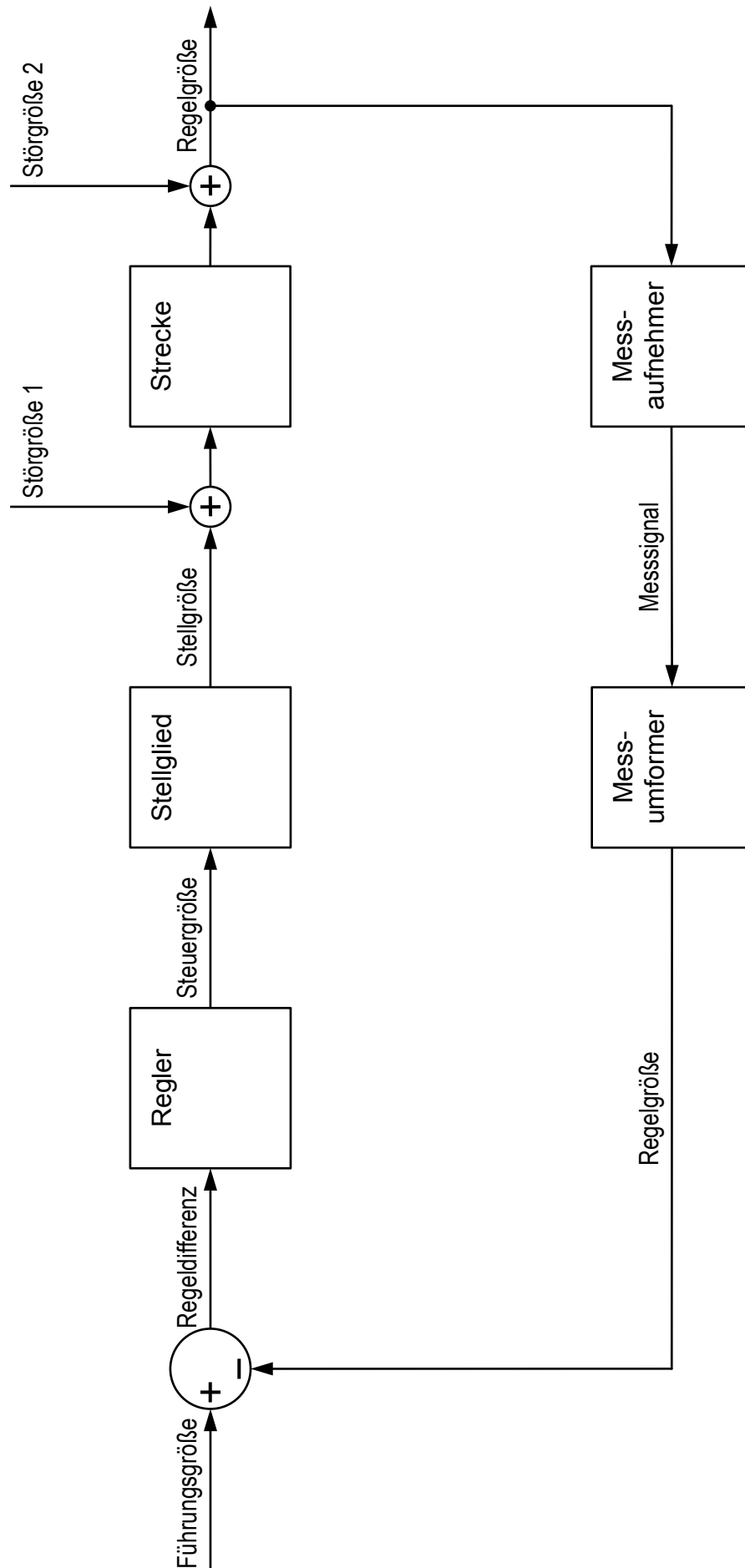


Bild 1: Blockschaltbild eines Regelkreises

## 3.2 Bestimmung von Regelparametern nach den Einstellregeln von Chien, Hrones und Reswick

Die Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick sind eine 1952 entwickelte Vorgehensweise zur günstigen Einstellung von Reglern. Sie gelten als eine Weiterentwicklung der zweiten Methode von Ziegler und Nichols. Der Vorteil liegt darin, dass die Reglerparameter wahlweise für ein günstiges Stör- oder Führungsverhalten ausgelegt werden können. Weiterhin wird noch zwischen Einstellregeln für ein Überschwingen von 20% und aperiodische Einschwingvorgängen unterschieden.

### Vorgehensweise:

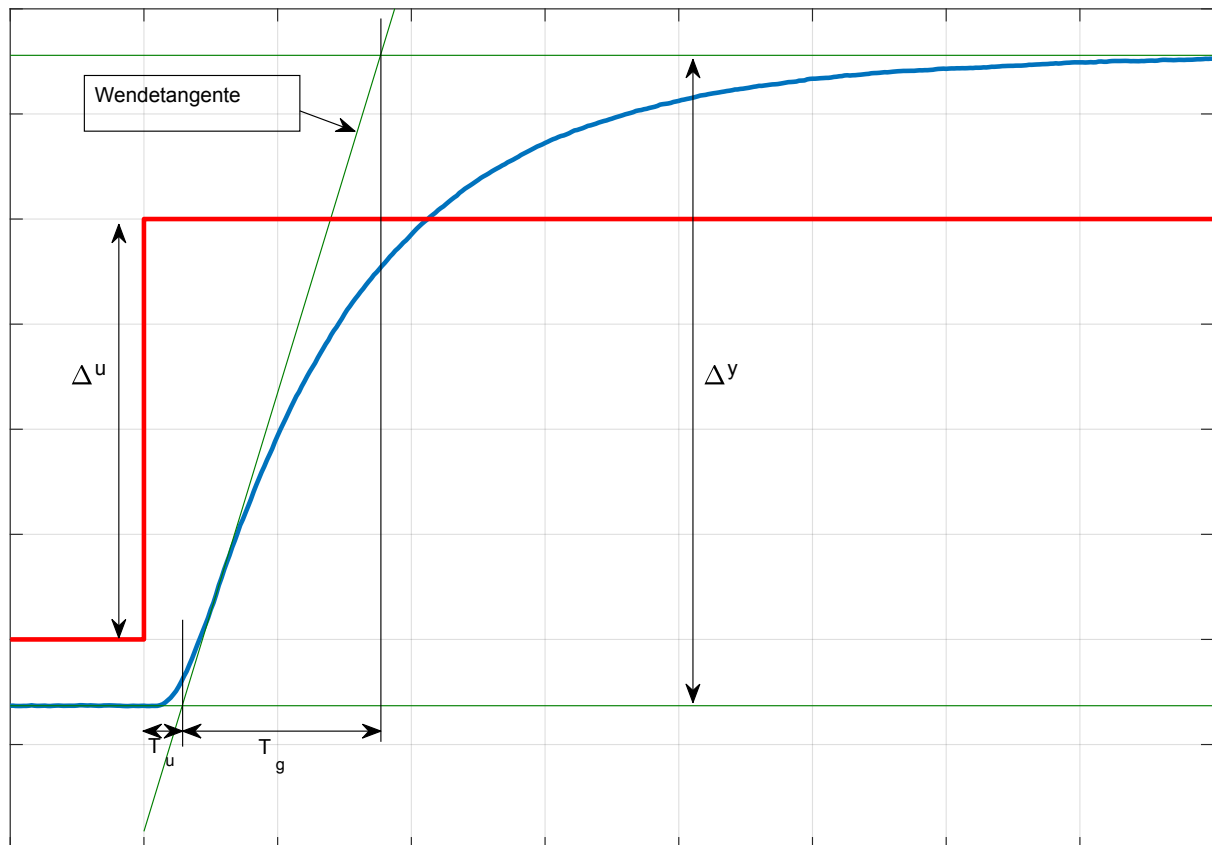
Wie in Bild 1 dargestellt, wird an die Sprungantwort einer Regelstrecke eine Wendetangente gelegt. Aus dem Schnittpunkt von Wendetangente und dem Startwert der Sprungantwort lässt sich die Verzugszeit  $T_u$  ermitteln, der Abstand zum Schnittpunkt mit dem Endwert ergibt die Ausgleichszeit  $T_g$ .

Aus dem Verhältnis der Sprunghöhe der Sprungantwort  $\Delta y$  zur Sprunghöhe der Stellgröße  $\Delta u$  wird die Streckenverstärkung  $K_s$  berechnet.

Mit den somit graphisch bestimmten Werten für  $T_u$ ,  $T_g$  und  $K_s$  entnimmt man dann Tabelle 1 für unterschiedliche Reglertypen (P, PI, PID) und der Vorgabe des Einschwingverhalten (aperiodisch bzw. mit 20%-igem Überschwingen) sowie der Auslegung auf optimiertes Führungs- bzw. Störverhalten günstige Einstellungen der Reglerparameter.

Im vorliegenden Versuch sind folgende Vorgaben zu machen (rot umrandet):

- PI-Regler
- 20%-iges Überschwingen
- Optimiertes Führungsverhalten

Bild 2: Ermittlung von  $T_u$ ,  $T_g$  und  $K_s$  aus einer Sprungfunktion

Regler		Aperiodischer Regelverlauf		Regelverlauf mit 20 % Überschwingen	
		Störung	Führung	Störung	Führung
P	$K_p$	$0.3 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.3 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.7 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.7 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$
PI	$K_p$	$0.6 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.35 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.7 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.6 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$
	$T_n$	$4 \cdot T_u$	$1.2 \cdot T_g$	$2.3 \cdot T_u$	$1 \cdot T_g$
PID	$K_p$	$0.95 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.6 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$1.2 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.95 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$
	$T_n$	$2.4 \cdot T_u$	$1 \cdot T_g$	$2 \cdot T_u$	$1.35 \cdot T_g$
	$T_v$	$0.42 \cdot T_u$	$0.5 \cdot T_u$	$0.42 \cdot T_u$	$0.47 \cdot T_u$

Tabelle 1: Einstellregeln für Verstärkung  $K_p$ , Nachstellzeit  $T_n$  und Vorhaltezeit  $T_v$   
aus den graphisch ermittelten Werten  $T_u$ ,  $T_g$  und  $K_s$

### 3.3 Einführung in das grafische Programmiersystem DASyLab

DASyLab ist eine Programmierumgebung (ähnlich LabVIEW), die primär zur Aufzeichnung von Messdaten dient. Darüber hinaus können mit Hilfe dieser Messdaten auch Systeme gesteuert und geregelt werden.

Die Programmierung erfolgt grafisch, wobei es eine Schaltplan- und eine Layout-Ebene gibt, zwischen denen man über den Menüpunkt *Fenster* oder die entsprechenden Icons in der Werkzeugleiste wechseln kann. Im Schaltbild werden die einzelnen Module des Programms miteinander verknüpft, im Layout werden die Messwerte über verschiedene Anzeigeinstrumente wie Analoganzeige, Digitalanzeige, Signalschreiber, etc. dargestellt sowie Vorgabewerte über verschiedene Einstelloptionen wie Schieberegler, Auswahlfenster, etc. verändert.

Die Programme werden mit dem grünen **Play-Button** in der Werkzeugleiste gestartet und dem roten **Stop-Button** beendet. Änderungen im Schaltplan können nur bei angehaltenem Programmablauf durchgeführt werden.

#### 3.3.1 Schaltbild

Nach dem Öffnen des Programms erscheint folgendes Schaltbild, auf dem sich alle benötigten Module für den Versuch befinden. In der Ordnerstruktur links kann auf alle verfügbaren Module zugegriffen werden.

Die Module können via Drag&Drop an die gewünschte Stelle verschoben werden. Verbunden werden die Module (im eingestellten Autorouter-Modus) über Kanäle, indem man auf den gewünschten Ausgang eines Moduls oder Abzweigpunkt eines Kanals klickt und bei gedrückter Maustaste auf den gewünschten Modul-Eingang zieht. Leuchtet dieser gelb, kann die Maustaste losgelassen werden, die Module sind nun verbunden. Hierbei ist auf eine sinnvolle Anordnung der Module zu achten, da das Schaltbild ansonsten schnell unübersichtlich wird. Auflösen kann man Kanäle, indem man zweimal mit der rechten Maustaste draufklickt. Achten Sie darauf, dass alle Eingänge der Module angeschlossen sind!

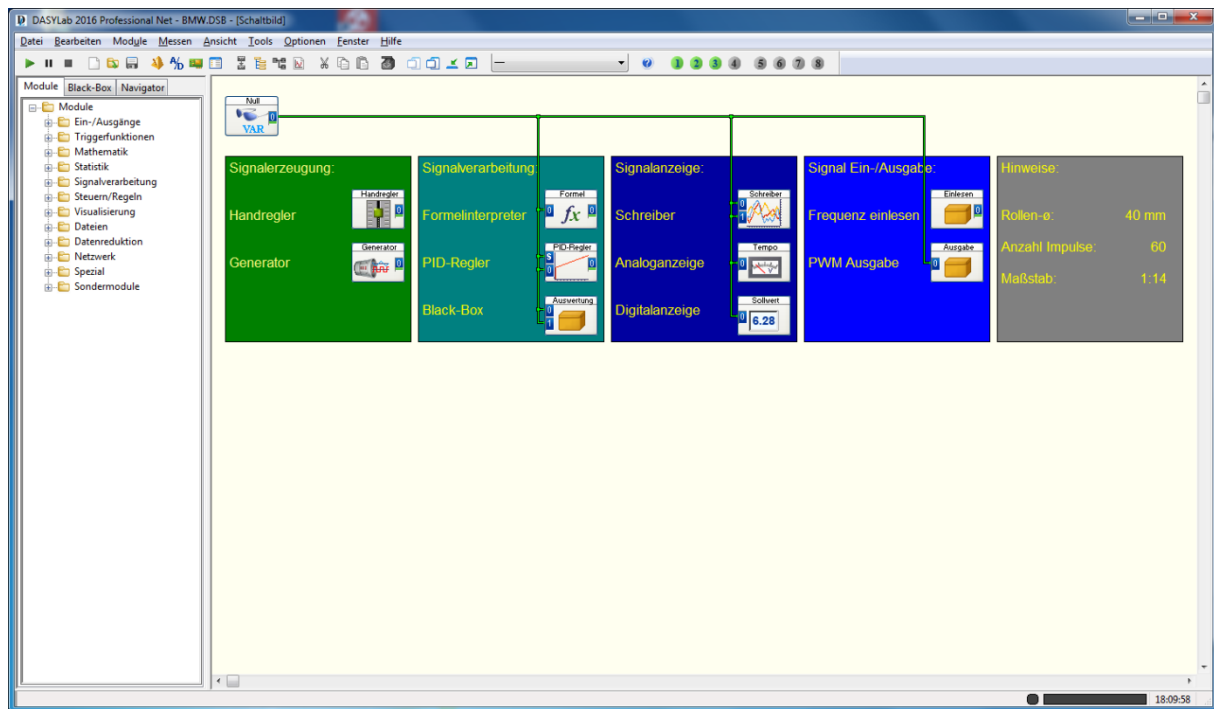


Bild 3: Schaltplan-Fenster von DASYLab

**Kurze Beschreibung der Module:**

- Handregler:** Manuelle Vorgabe von Größen
- Generator:** Vorgabe einer sich periodisch ändernden Größe
- Formelinterpreter:** Verarbeitung der Eingangssignale nach einer einzugebenden Formel.
- PID-Regler:** Zentraler Bestandteil des Regelkreises. Gibt in Abhängigkeit von Führungs- und Regelgröße eine Stellgröße aus.
- Black-Box:** Eine Art Subsystem, das aus einer Vielzahl weiterer Module besteht
- Schreiber:** Stellt Signalverläufe von Messgrößen über die Zeit dar
- Analoganzeige:** Zeigerinstrument zur Anzeige von Messwerten
- Digitalanzeige:** Anzeige von Messwerten
- Signal Ein-/Ausgabe:** Black-Boxen zum Einlesen und Ausgeben der Signale über die Schnittstelle. Enthalten alle notwendigen Module zur seriellen Kommunikation und zur Signalanpassung.



### 3.3.2 Layout

Auf der Layout-Oberfläche können Anzeige- und Steuerelemente platziert werden, indem man einen Rahmen aufzieht. Durch Doppelklick öffnet man das Eigenschaftsfeld; hier können den Rahmen Module aus dem Schaltplan zugeordnet werden.

Wenn Sie nun zum Layout wechseln, sehen Sie wie auf nachfolgender Abbildung dargestellt eine Anzahl vordefinierter Instrumente, die alle bereits mit den Modulen auf dem Schaltplan verbunden sind.

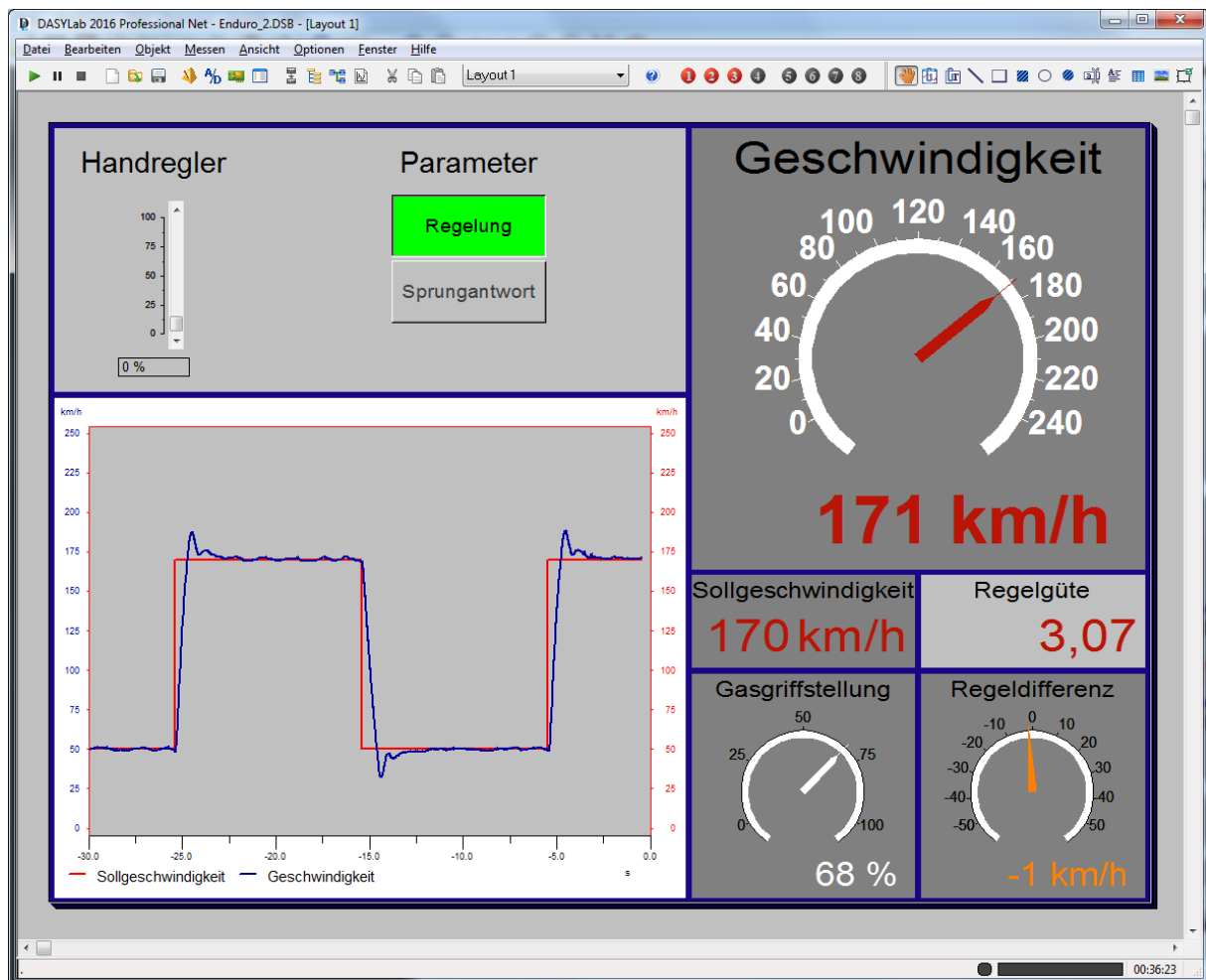


Bild 4: Layout-Fenster von DAYSLab

Am unteren Ende des Schaltplan-Fensters befinden sich weitere Fenster mit minimierten Instrumenten, die je nach Bedarf geöffnet werden können.

Verwenden Sie für die Bedienung während des Versuchs allerdings vorzugsweise das Layout!

## 4 Versuchsdurchführung

### 4.1 Manuelle Ansteuerung der Regelstrecke (Steuerung)

Im ersten Schritt wird ein Schaltplan wie nachfolgend dargestellt erzeugt. Dabei wird zunächst der Handregler mit dem Ausgabe-Modul verbunden:

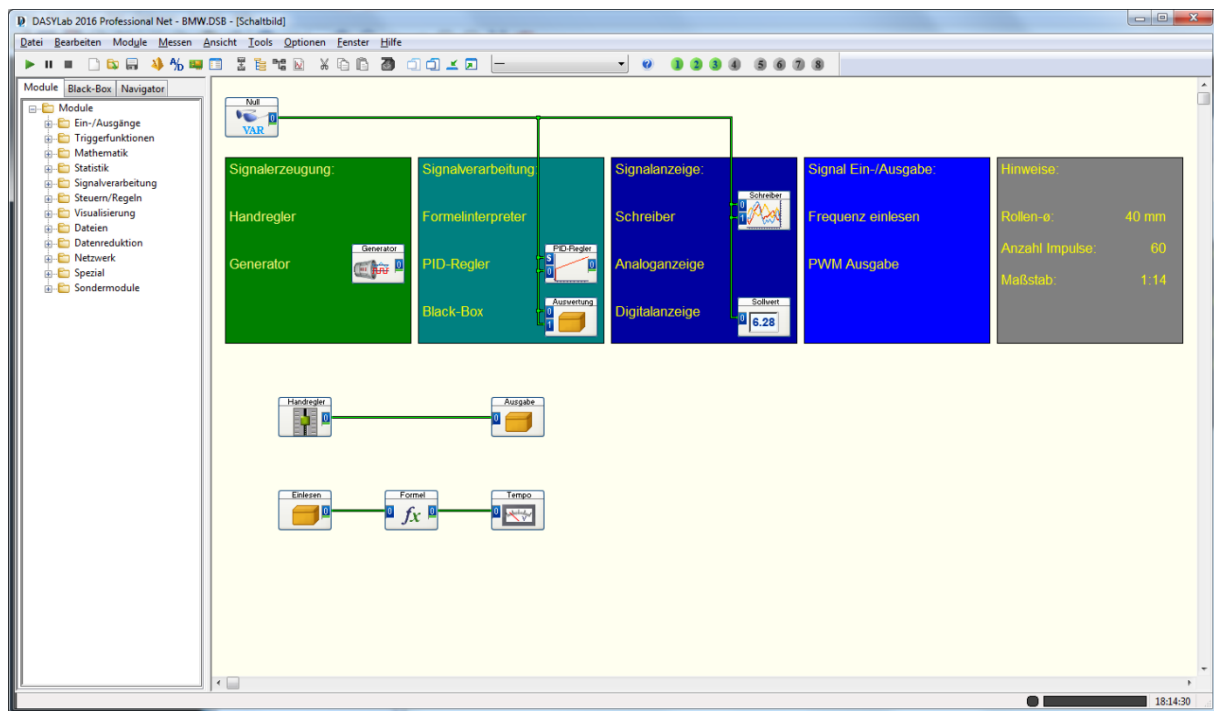


Bild 5: Schaltplan für Motoransteuerung

Danach wird das Einlesen-Modul platziert. Es liefert die Frequenz des Geberrades, die mit Hilfe des nachfolgenden Formelinterpreters in die Fahrzeuggeschwindigkeit umgerechnet wird. Tragen Sie hier unter Berücksichtigung des Rollendurchmessers, der Impulszahl des Geberrades und des Modell-Maßstabes die Formel zur Umrechnung von Frequenz zu Geschwindigkeit ein. Verbinden Sie anschließend wie gezeigt den Formelinterpreter mit der Analoganzeige zur Messung der Geschwindigkeit.

Machen Sie sich nach Programmstart mit der Funktionsweise vertraut, indem Sie mit dem Handregler verschiedene Geschwindigkeiten einstellen.

## 4.2 Manuelle Ausregelung der Regelstrecke

Nun sollen vorgegebene Geschwindigkeitswerte mit dem Handregler eingestellt werden. Dieser Sollwert wird vom Generator vorgegeben und in der Digitalanzeige angezeigt. Um das Ergebnis Ihrer manuellen Regelung zu bewerten, werden der Soll- und Ist-Wert der Geschwindigkeit wie auf nachfolgender Abbildung gezeigt an das Modul Auswertung angeschlossen.

Um dies zu ermöglichen, öffnen Sie durch einen Doppelklick den Eigenschaftsdialog des Tempo- bzw. Sollwert-Moduls und wählen dort jeweils die Option **Eingänge kopieren an**.

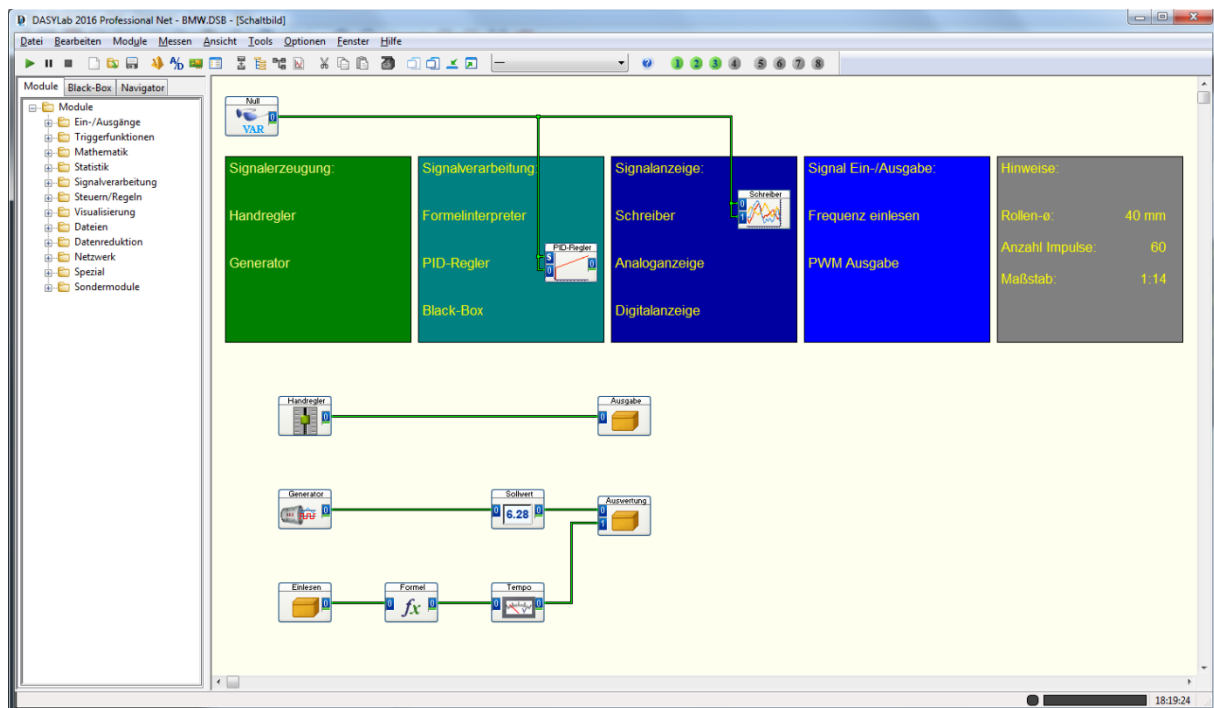


Bild 6: Schaltplan für Handregelung

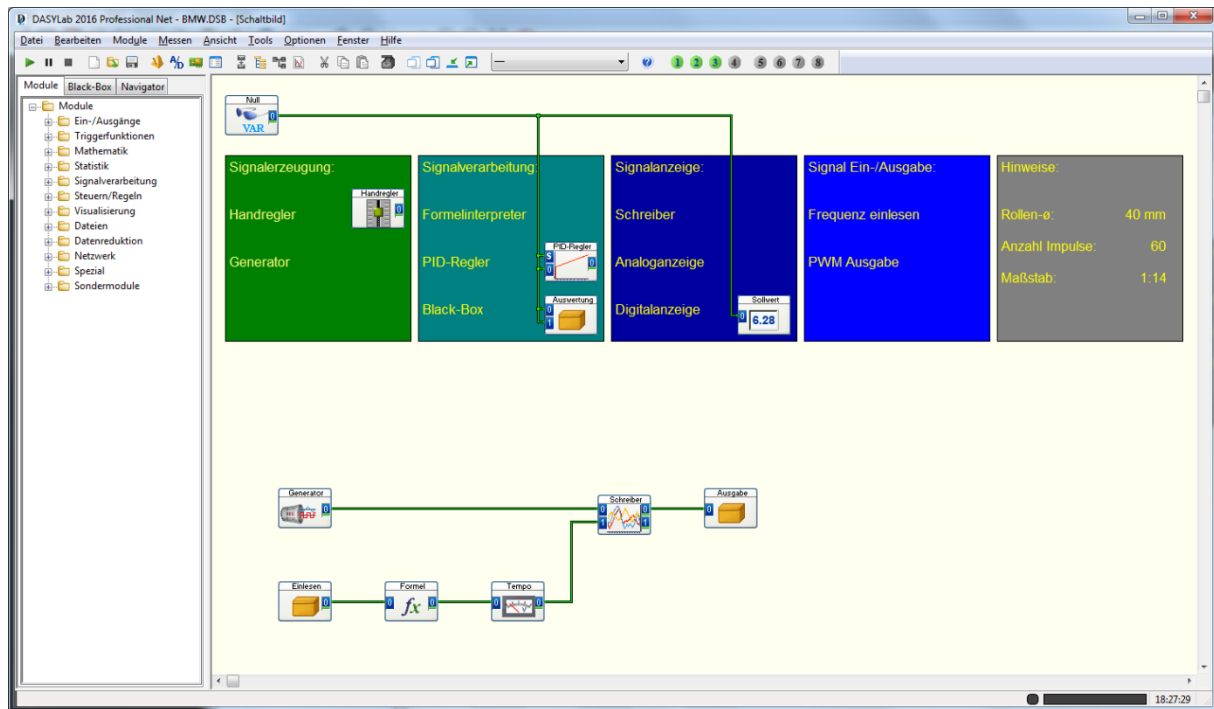
Versuchen Sie nun mit dem Handregler die Ist-Geschwindigkeit der Soll-Geschwindigkeit nachzuführen. Nach Beendigung der Messzeit wird in einem Anzeigefeld die Regelgüte ausgegeben.

### Aufgabe 2:

Jeder Teilnehmer soll den Versuch mindestens einmal durchführen. Notieren Sie Ihre Ergebnisse und beurteilen Sie diese. Welche Aussage für die Regelgüte lässt sich ableiten?

### 4.3 Aufnahme der Sprungantwort der Regelstrecke

Der Generator wird nun zur Erzeugung des Stellwertsprungs genutzt. Dessen Parametrierung wird über den entsprechenden Umschalter im Layout angepasst. Dieser ist auf **Sprungantwort** zu stellen. Der Generator wird an Stelle des Handreglers mit dem Ausgabe-Block verbunden. Zusätzlich wird der Stellwert neben der Geschwindigkeit mit dem Schreiber aufgezeichnet.



**Bild 7: Schaltplan zur Aufnahme der Sprungantwort**

Sie erhalten nun ein Arbeitsblatt mit einer ausgedruckten Sprungantwort des vorliegenden Systems sowie des zugehörigen Stellgrößensprungs.

### Aufgabe 3:

Starten Sie das Programm und zeichnen Sie die Sprungantwort auf. Vergleichen Sie diese mit der Sprungantwort auf dem Arbeitsblatt. Stimmen die Sprungantworten überein?

## 4.4 Ermittlung der Regelparameter

Das folgende Bild zeigt das Beispiel einer Sprungantwort des zu regelnden Systems wie auf dem Arbeitsblatt zu sehen.

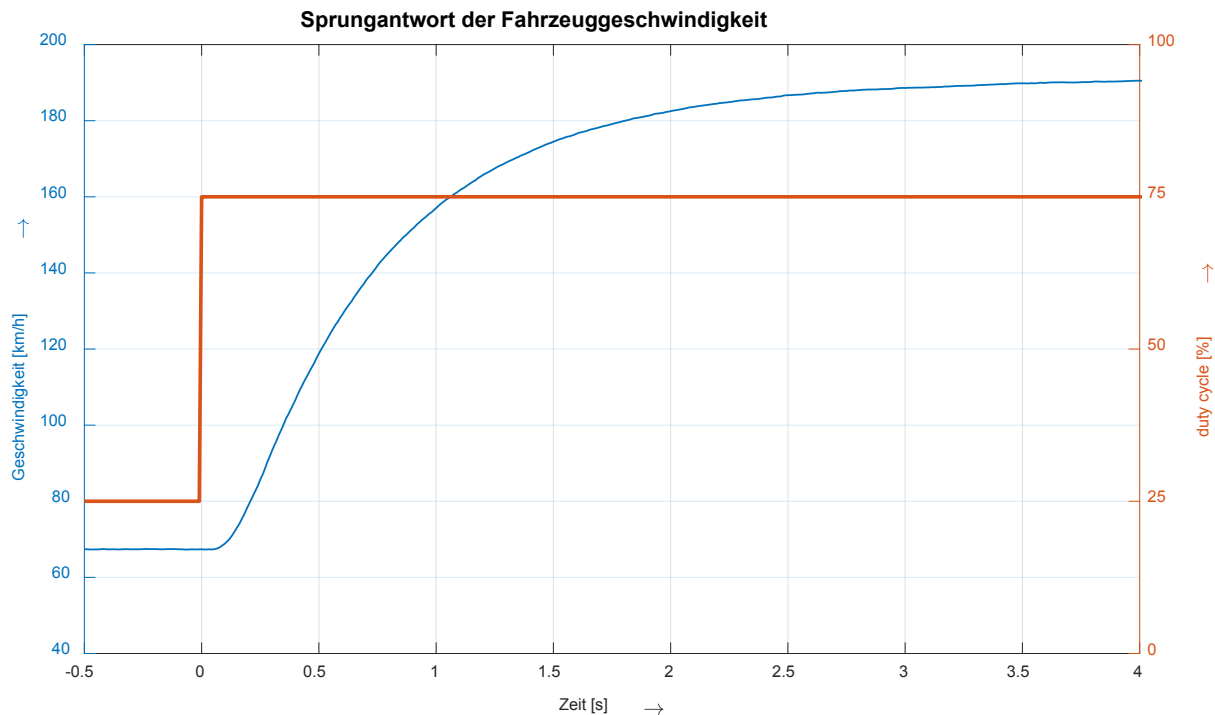


Bild 8: Beispiel einer Sprungantwort einer Geschwindigkeits-Regelstrecke

### Aufgabe 4:

Bestimmen Sie aus der gedruckten Sprungantwort die Regelparameter eines PI-Reglers nach den Einstellregeln von Chien, Hrones und Reswick für ein Führungsverhalten mit 20% Überschwingen.

$$T_u = \quad T_g = \quad K_s =$$

$$K_p = \text{-----} = \text{-----} =$$

$$T_n = \quad = \quad =$$

## 4.5 Regelung des geschlossenen Kreises

Zum Regeln der Strecke wird nun das Modul PID-Regler gemäß folgender Abbildung an das Ausgabe-Modul angeschlossen:

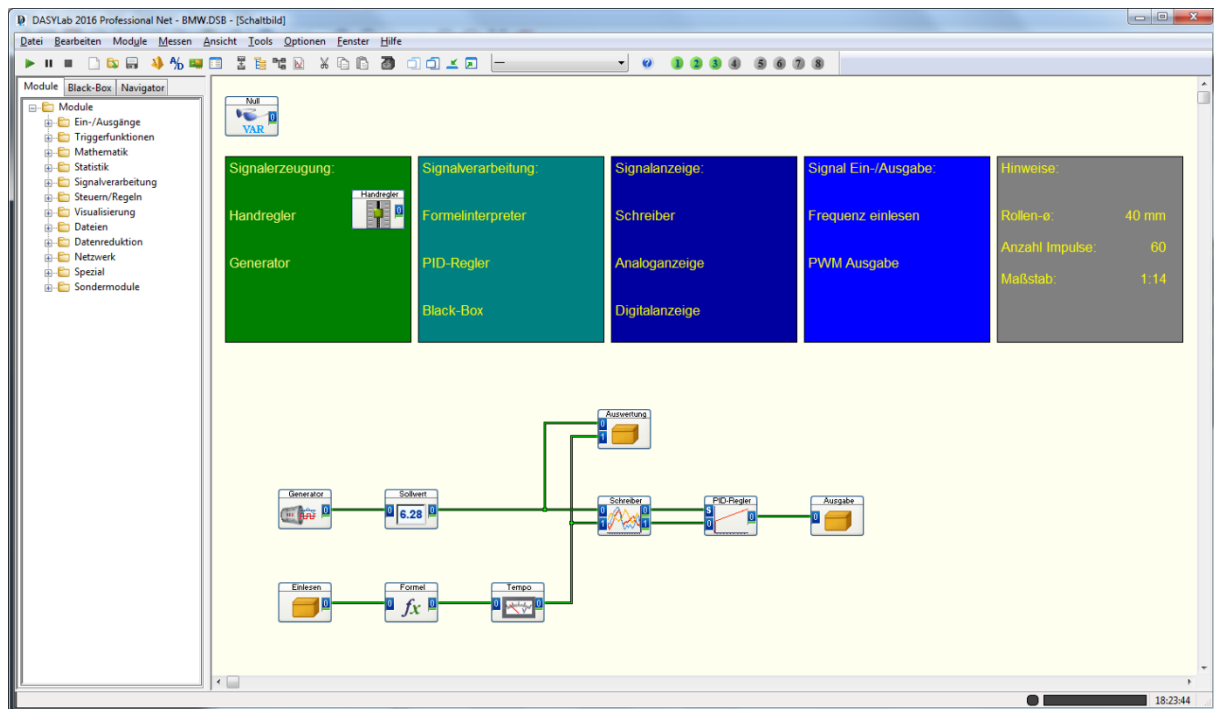


Bild 9: Schaltplan zur Regelung

Öffnen Sie dieses Modul und wählen Sie **Reglertyp**-Einstellung **P, I, D (I begrenzt)**. Die Reglerparameter müssen vor dem Eintragen noch umgerechnet werden. Nach Vorlesung gilt für den PI-Regler in additiver bzw. multiplikativer Form:

$$G_{PI}(s) = K_P + \frac{K_I}{s} = K_p \cdot \left[ 1 + \frac{1}{s \cdot T_n} \right]$$

### Aufgabe 5:

Die Reglerparameter P und I sind für die Eingabe unter DASYLab nach folgenden Äquivalenzen zu berechnen:

$$P = K_P = K_p = \quad \quad \quad I = K_I = \frac{K_p}{T_n} = \text{---} =$$

Vor dem Schließen ist noch ein geeigneter Wert für die **Regelbegrenzung** einzutragen. Bei der Auswahl ist zu bedenken, dass nun der Regler das Stellsignal für die Ausgabe zur Verfügung stellt.

Der Generator wird jetzt wieder zur Vorgabe der Führungsgröße eingesetzt und die Parameter sind wieder auf **Geschwindigkeits-Regelung** umzuschalten.

## 5 Bewertung der Regelergebnisse

Starten Sie die Regelung und beobachten Sie das Ergebnis.

### Aufgabe 6:

Wie sieht die Regelgüte der digitalen Regelung im Vergleich zur Handregelung aus?

### Aufgabe 7:

Bringen Sie durch Belastung eine Störung auf. Wie verhält sich der Regelkreis?

Was passiert beim Erreichen der Stellgrenzen? Wie wirkt sich die Regelbegrenzung aus?

**Aufgabe 8:**

Testen Sie den Regelkreis mit einem PID-Regler. Die Parameter hierfür sind nach den entsprechenden Einstellregeln zu berechnen. Wie ändert sich das Führungs- und Stör-Verhalten?

**Aufgabe 9:**

Testen Sie den Regelkreis mit einem P-Regler. Die Parameter hierfür sind nach den entsprechenden Einstellregeln zu berechnen. Wie ändert sich das Führungs- und Stör-Verhalten?

Vergleichen Sie das Verhalten mit dem von Regelkreisen, deren Regler einen I-Anteil enthält. Wie erklären Sie sich die Unterschiede?