

HEINZ-NIXDORF-LEHRSTUHL FÜR MEDIZINISCHE ELEKTRONIK
PROF. DR. RER. NAT. BERNHARD WOLF
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN



Aufbau eines "Lego-Mindstorm" Einachs-Rollstuhls

Forschungspraxis

von

Korbinian Müller

Korbinian.mueller@mytum.de

wohnhaft in:

Stöberlstraße 59
80686 München

Tel.: 0170/5335167

Betreuer: Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Wolf
M.Sc. Michael Häcker

Beginn: 05.03.2012

Abgabe: .01.2012

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen	1
1.1 Sensoren	1
1.1.1 Gyro	1
1.1.2 Acc-Sensor	2
1.2 Filter	2
1.3 Regelung	3
1.3.1 PID - Regler	3
1.3.2 Erweiterungen	3
1.4 Steuerung	4
1.5 Fehleranalyse	4
2 Aufbau	5
3 Ausblick	6
Abbildungsverzeichnis	7
A Anhang	9

1 Grundlagen

Das Programm besteht im wesentlichen aus einer While-Schleife, die solange durchlaufen wird bis die Abbruchbedingung (Drücken des Mittleren Knopfes auf dem NXT-Baustein) erfüllt ist. In dieser Schleife werden die Sensorwerte ausgelesen, außerdem werden die für die Regelung notwendigen Berechnungen durchgeführt. Die resultierenden Werte werden an die Motoren weitergegeben. Zusätzlich können verschiedene Zwischenwerte der Berechnung zur späteren Auswertung in einer Textdatei gespeichert werden. Vor dem Starten der Regelung wird zuerst in der Initialisierungsphase durchlaufen. Dabei wird der Gyro-Offsetwert bestimmt, die Textdatei (horst.txt) angelegt, sowie der Countdown zu Ausrichten des Rohstuhls gestartet. Direkt nach dem der Countdown (siehe A.2) beendet ist startet die Regelung zur Stabilisierung, innerhalb der While-Schleife. Nach dem Abbruch des Programms werden die Motoren gestoppt, die Textdatei wird geschlossen und die, für einen Schleifeindurchlauf benötigte Zeit δt wird für fünf Sekunden auf dem Display angezeigt.

1.1 Sensoren

1.1.1 Gyro

Der Gyro-Sensor ist der für die Regelung entscheidende Sensor. Er misst die Winkelgeschwindigkeit $\dot{\phi}$ in Grad pro Sekunde. Die Messung der Winkelgeschwindigkeit ist mit einem Offset behaftet. Um den tatsächlichen Wert von $\dot{\phi}$ bestimmen zu können ist es notwendig den Offset zu errechnen. Das geschieht einmalig im SubVI ¹ *Offset* während der Initialisierungsphase. Dafür wird aus 100 gemessenen Gyrowerten der Durchschnitt errechnet und als Offset ausgegeben. Für nähere Informationen siehe A.1

Die gemessene Winkelgeschwindigkeit wird anschließend integriert um den aktuellen Winkel zu erhalten. Die Integration erfolgt nach:

$$\phi(n) = \phi(n - 1) + \dot{\phi}(n) * \Delta t \quad (1.1)$$

¹Funktionsblöcke werden in LabVIEW als Virtuelle Instrumente (VIs) bezeichnet. Unterprogramme als Sub-VIs. jedes VI und Sub-VI ist eigenständig lauffähig.

Dabei bezeichnet Δt die Zeit eines Iterationsschrittes bzw. Schleifeindurchlaufs. Da die Integration nicht ganz exakt ist, entsteht in jedem Schleifeindurchlauf ein kleiner Fehler, der über die Zeit immer größer wird. Durch diesen Fehler bei der Integration stimmen der berechnete und der tatsächliche Winkel nicht überein. Die Differenz zwischen diesen beiden Winkeln muss aber für eine korrekte Regelung ausgeglichen werden. Dafür wird der zweite Sensor, der Beschleunigungssensor benötigt.

1.1.2 Acc-Sensor

Der Acc-Sensor misst die Beschleunigung in x,y und z-Richtung in m/s^2 . Für die Regelung werden aber nur die Beschleunigungswerte in Z-Richtung ausgewertet. In der aktuellen Einbauposition des Sensors entspricht die Z-Achse der Richtung der Erdbeschleunigung. Diese wird als Referenz für den Winkel des Rollstuhls herangezogen. Dafür wird der Beschleunigungswert ² zuerst auf eins normiert und anschließend in Grad umgerechnet. Mit der Kleinwinkelnäherung:

$$\sin x = x \quad (1.2)$$

ergibt sich folgender Umrechnungsfaktor:

$$\frac{1}{-9,898} * \frac{180}{\pi} = -5,78862 \quad (1.3)$$

Wird die gemessenen Beschleunigung in Z-Richtung mit diesem Faktor beaufschlagt so ergibt sich der absolute Winkel des Sensors bzw. Rollstuhls im Bezug auf die Erdbeschleunigung ϕ_{Acc} . Der Nachteil bei der Bestimmung des Winkels mit dieser Methode besteht darin, dass auch eine Beschleunigung des Gefährts, in oder gegen die normale Fahrtrichtung vom Sensor erfasst wird. Dadurch wird jede Bewegung als Winkeländerung interpretiert, auch wenn gar keine Winkeländerung vorliegt. Nur durch eine entsprechende Filterung und Zusammenführung der Daten beider Sensoren kann der tatsächliche Winkel errechnet werden.

1.2 Filter

Wie bereits erläutert müssen die Sensordaten aus den beiden Sensoren zusammengeführt und entsprechend gefiltert werden um den korrekten Winkel für die Regelung zu erhalten. Das passiert mit Hilfe eines Komplementärfilters. Dabei wird der Winkelwert aus dem Acc-Sensor tiefpassgefiltert, um die schnellen Schwankungen durch die Bewegung des Segways herauszufiltern. Der integrierte Winkelwert aus dem Gyrosensor wird durch einen Hochpass gefiltert. Dadurch werden nur die kurzzeitigen Änderungen aus diesem Sensor berücksichtigt.

²Der gemessene Maximalwert bei senkrechter Ausrichtung des Sensors beträgt $-9,898m/s^2$.

Im Ergebnis entsteht ein Filter, der die Vorteile beider Sensoren kombiniert und somit einen sehr guten Wert für den Winkel liefert. Die Berechnung des Winkels im Programm erfolgt nach:

$$\phi(n) = 0,98 * [\phi(n-1) + \dot{\phi}(n) * \Delta t] + 0,02 * \phi_{Acc} \quad (1.4)$$

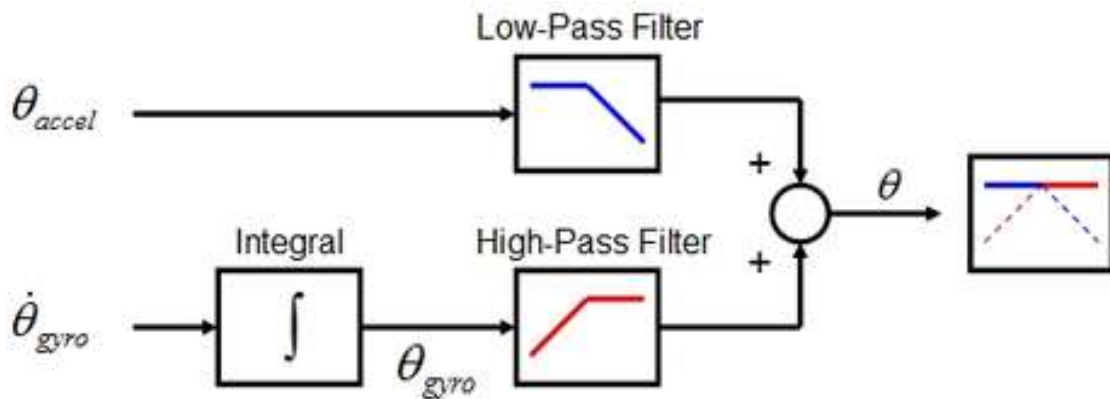


Abbildung 1.1: Komplementärfilter

Für nähere Informationen zum Filter sowie zu den verwendeten Werten sei auf [3] verwiesen.

1.3 Regelung

1.3.1 PID - Regler

Bei der Regelung kommt ein PID-Regler zum Einsatz. Dieser ist in seiner Grundstruktur relativ einfach zu implementieren und hat außerdem den Vorteil das für die Berechnung nicht viel Rechenleistung benötigt wird. Die Herausforderung beim PID-Regler besteht vor allem darin, die Werte für die Regelung – den P-, I und D-Anteil – so zu bestimmen dass das optimal mögliche Regelergebnis erzielt wird. Für nähere Informationen zum PID-Regler allgemein sei auf folgendes Paper [1] verwiesen. Bei verschiedene Testsreihen haben sich folgende Werte als optimal Herausgestellt:

- Integral-Anteil (K_I) = 5
- Proportional-Anteil (K_P) = 40
- Differential-Anteil (K_D) = 5.

1.3.2 Erweiterungen

Zusätzlich zu dem normalen PID-Regler enthält die Regelung noch zwei Erweiterungen, die die Sensor-Werte der Motoren berücksichtigt. Diese wurden aus dem Labview Programm

HTWayLV der Firma HiTechnic [2], von der auch die verwendeten Sensoren stammen übernommen. Bei der ersten Erweiterung *motorPos* wird die Motorposition mit dem Faktor 0,044 bewertet und direkt zum Ausgabewert für die Motoren addiert. Bei zweite Erweiterung *motorSpeed* wird die Geschwindigkeit der Motoren bzw. der Räder mit dem Faktor 0,025 bewertet und ebenfalls addiert. Die Beiden Werte wurden experimentell bestimmt. Durch dieses direkte Feedback der Motorsensoren konnte die Regelung deutlich verbessert werden. Vor allem ein eine ungewollte Fahrt des Rollstuhls in eine bestimmte Richtung wird dadurch schneller und effektiver unterbunden als nur durch die PID-Regelung.

1.4 Steuerung

Auch die Geschwindigkeits- und Richtungssteuerung des Rollstuhls ist bereits implementiert. Dafür können die Vorgabewerte für die Geschwindigkeit und Richtung an den entsprechenden Stellen im Programm fest gewählt werden. Bei eine Steuerung per Fernbedienung müssen lediglich die festen Vorgabewerte im Programm entfernt und durch die zum Beispiel per Bluetooth übertragenen Werte ersetzt werden.

1.5 Fehleranalyse

Zur Fehleranalyse können alle möglichen Werte, die während dem Programmablauf berechnet werden, in der Textdatei *horst.txt* gespeichert und aufgezeichnet werden. Dies passiert im SubVI *Testwerte*. Näheres dazu findet sich hier: A.3 Dabei werden alle Testwerte sowie die Zeit gespeichert. Die Textdatei kann im Anschluss mit dem freien Programm *NeXT Tools* ³ von dem NXT-Baustein heruntergeladen werden. Mithilfe von *Matlab* lassen sich die Werte anschließend sehr einfach plotten und analysieren.

³Das Programm kann für verschiedene Betriebssysteme frei im Internet heruntergeladen werden.

2 Aufbau

Bild 2.1 zeigt den aktuellen Aufbau des Lego Modells. Dabei wurde versucht den tiefen Schwerpunkt, wie er im späteren realen Betrieb zu erwarten ist nachzubilden. Außerdem wurde versucht dass Modell auch optisch an einen Rollstuhl anzupassen. Da der gesamte Aufbau mit konventionellen Lego Bausteinen erfolgt ist, sollte ein Umbau bzw. eine Anpassung des Modells jederzeit schnell und einfach möglich sein.

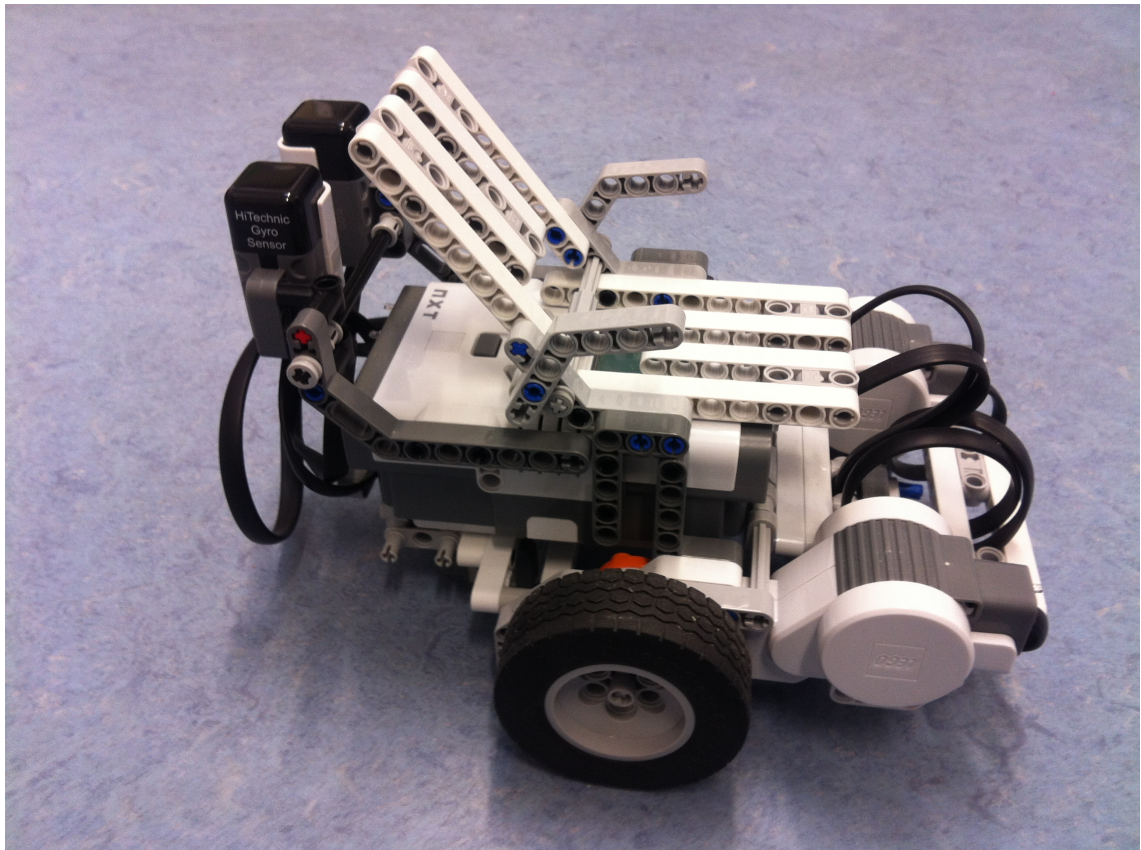


Abbildung 2.1: Aktuelles Lego-Rollstuhl Modell

3 Ausblick

In diesem Kapitel werden die weiteren Entwicklungsmöglichkeiten kurz erläutert. Als erster wesentliche Punkt ist hier die bereits zum Teil implementierte Schwerpunktkorrektur zu nennen. Da sich der Schwerpunkt im späteren Betrieb zum Beispiel durch die Bewegung des Patienten bzw. Rollstuhlfahrers ändern kann, ist es wichtig den geänderten Schwerpunkt in der Regelung zu berücksichtigen, um eine ungewollte Fahrt des Rollstuhls nach vorne oder hinten zu verhindern.

Eine weitere Entwicklungsmöglichkeit bietet der verwendete Filter. Kann der Komplementärfilter zum Beispiel durch einen Kalman-Filter ersetzt werden, so ist es unter Umständen möglich die Bestimmung des tatsächlichen Winkels des Rollstuhls noch besser zu realisieren. Dadurch kann die Regelperformance wesentlich verbessert werden.

Ein weiterer Punkt ist die Entwicklung der Fernsteuerung per Bluetooth. Um die Funktionsweise der Regelung auch während der Fahrt testen zu können ist es notwendig die bereits implementierte Steuerung per Bluetooth mit den entsprechenden Vorgaben für Geschwindigkeit und Richtung zu versorgen. Die kann sowohl vom Computer aus als auch, mit Hilfe einer App per Smartphone erfolgen.

Als letzter Punkt für die weitere Entwicklung kann das Testen verschiedener Topologie (verschiedene Schwerpunkte und Gewichtsverteilungen), sowie verschiedener Räder genannt werden.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Komplementärfilter	3
2.1	Aktuelles Lego-Rollstuhl Modell	5
A.1	SubVI: Offset	9
A.2	SubVI: Start	10
A.3	SubVI: Testwerte	10

Literatur

- [1] Paper: PHYSIKALISCHES PRAKTIKUM FÜR FORTGESCHRITTENE
Thema: PID-REGLER
- [2] <http://www.hitechnic.com/downloadnew.php?category=17>
- [3] [http://www.chrismarion.net/index.php?option=com_content&view=article
&id=122:the-segway-theory&catid=44:robotics&Itemid=240](http://www.chrismarion.net/index.php?option=com_content&view=article&id=122:the-segway-theory&catid=44:robotics&Itemid=240)

A Anhang

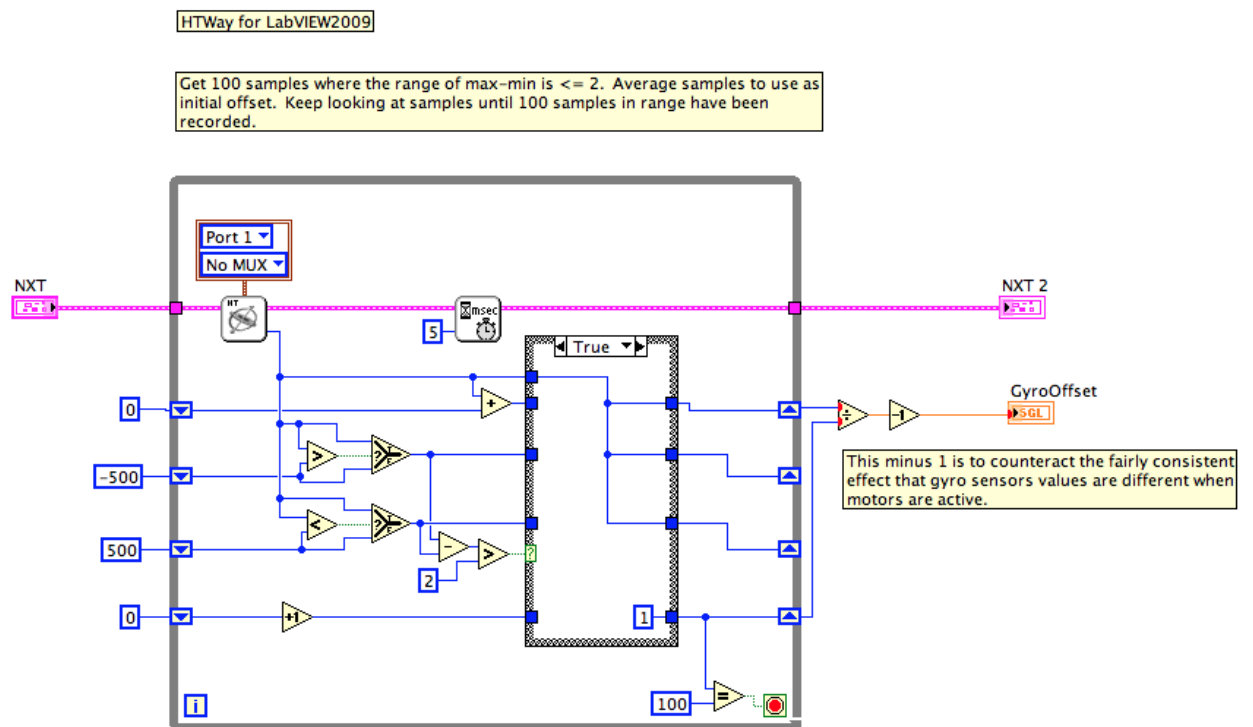


Abbildung A.1: SubVI: Offset

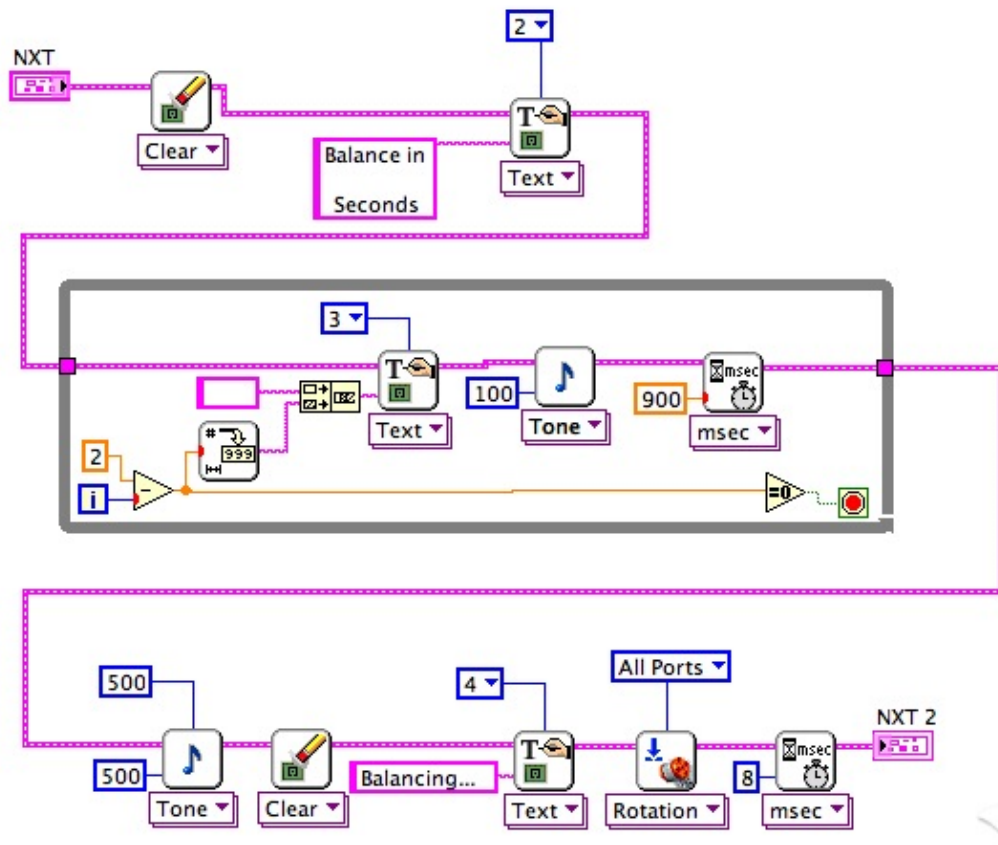


Abbildung A.2: SubVI: Start

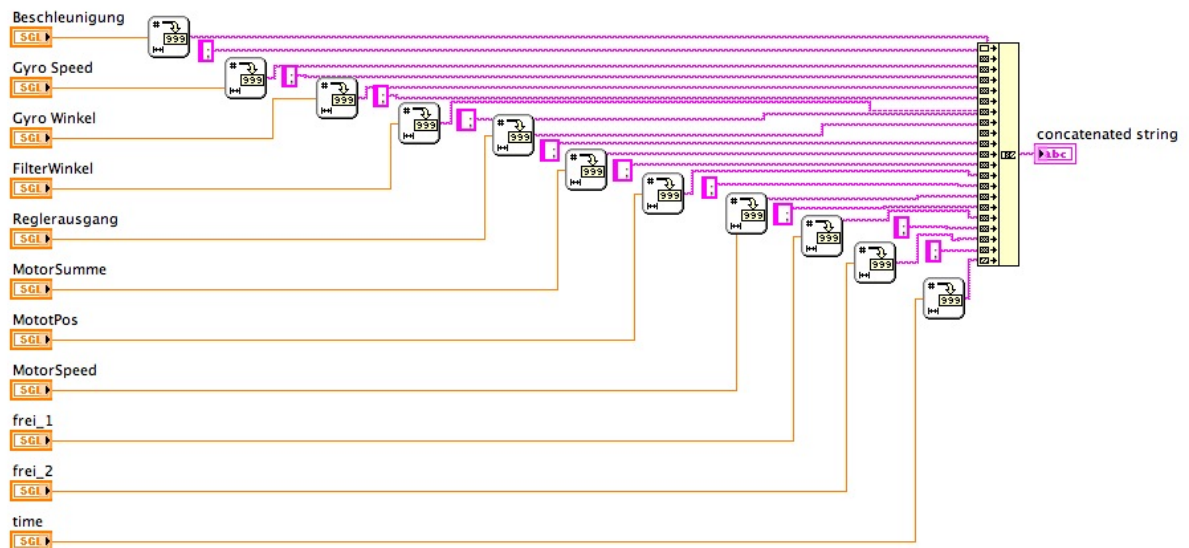


Abbildung A.3: SubVI: Testwerte