

# **Regelung eines Hubantriebes auf einem Versuchsstand**

Firosh George(22220548)

Vipul Durgade(22213303)

Akshay Varaprasad(22220394)

Technischer Bericht im Studienfach „Fertigungsautomatisierung“

Bei

Prof. Dr. Ing. Reiner Schütt, Fachhochschule Westküste

vorgelegt am

22.01.2024

# INHALTSVERZEICHNIS

## 1 CONTENTS

---

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	ii
1 Einführung .....	0
1.1 Ziel des projekt:.....	1
1.2 Versuchsaufbau:.....	1
2 Klärung der Aufgabenstellung .....	3
2.1 Inbetriebnahme der Seilzugsensoren: .....	3
2.2 Aufbau, Parametrierung und Bewertung der Position Regelung mit Drehzahlvorsteuerung des „Brettes“ im Antriebsregler:.....	4
2.3 Optimierung der Positionsregelung mit der „positionskorrektur“ in den Achseinstellungen: .....	4
2.4 Vorgabe und Umsetzung parametrierbarer positionierprofile. ....	4
2.5 Untersuchung einer Umgesetzten Regelung mit variablen Lasten,gegebenenfalls Anpassung der regelungsparameter:.....	4
2.6 Schaffung einer geeigneten Bedienoberfläche unter TwinCAT3:.....	5
3 Ergebnisse.....	5
3.1 Inbetriebnahme der Selizugsensoren: .....	5
3.2 Aufbau, Parametrierung und Bewertung der Position Regelung mit Drehzahlvorsteuerung des „Brettes“ im Antriebsregler:.....	7
3.3 OPTIMIERUNG DER POSITIONSREGLUNG MIT DER „POSITIONSKORREKTUR“ IN DEN ACHSEINSTELLUNGEN: .....	9
3.4 Vorgabe und Umsetzung parametrierbarer positionierprofile .....	11
3.5 Untersuchung einer Umgesetzten Regelung mit variablen Lasten, gegebenenfalls Anpassung der regelungsparameter .....	14

3.6	Schaffung einer geeigneten Bedienoberfläche unter TwinCAT3 .....	15
4	Zusammenfassung und Ausblick .....	17
5	Quellenverzeichnis .....	18

## ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

---

Abbildung 1:	Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus (eigene Darstellung, 2024) .....	3
Abbildung 2:	Verhalten des Zugsensors in Abhängigkeit von der Höhe in m .....	6
Abbildung 3:	Kaskadenregler der Hubtriebe .....	8
Abbildung 4:	Verhalten des System mit $K_v=1.5$ .....	8
Abbildung 5:	Verhalten des System mit $K_v=0.17$ .....	8
Abbildung 6:	PI controller control Block .....	10
Abbildung 7:	Höhenwerte von Motor und Sensor mit Positionkorrektor und ohne Positionkorrektor .....	11
Abbildung 8:	Trapez Profil .....	12
Abbildung 9:	Sinus Profil .....	13
Abbildung 10:	Prüfung mit Gewichten auf beiden Seiten, wobei alle Parameter die gleichen sind wie ohne Gewicht .....	14
Abbildung 11:	Prüfung der Brette bewegung mit Gewichten nach Änderung der Filterzeitpositionskorrektur .....	14
Abbildung 12:	Bedienoberfläche .....	16

# 1 EINFÜHRUNG

---

Mit dem Streben nach Just-in-Time-Fertigung (JIT) und dem Erreichen eines höheren Produktivitäts- und Effizienzniveaus ist die Automatisierung in der Fertigung von entscheidender Bedeutung. Im Laufe der Jahrzehnte hat sich die Automatisierung zu einem standardisierten Produktionswerkzeug entwickelt, das den Herstellern eine bessere Kontrolle über ihre Abläufe und Produktionsprozesse ermöglicht. Durch die Fähigkeit der Automatisierung, sich wiederholende, gefährliche und langwierige Aufgaben zu rationalisieren, kann ein automatisiertes System Aufgaben wie das Be- und Entladen, die Verarbeitung, Inspektion, Montage oder Handhabung von Teilen unbeaufsichtigt oder ohne Licht durchführen, so dass ein Mitarbeiter gleichzeitig an mehreren Maschinen oder anderen Aufgaben arbeiten kann.

Die Automatisierung in der Fertigung kann dazu beitragen, die Kosten zu senken, die Sicherheit der Mitarbeiter zu verbessern, die Durchlaufzeiten in der Fabrik zu verkürzen, eine schnellere Kapitalrendite zu erzielen, die Wettbewerbsfähigkeit Ihres Unternehmens zu steigern, die Produktionsleistung zu erhöhen und vieles mehr. „Fast alle Automobilhersteller verwenden irgendeine Art von automatischen Prozessen, einschließlich Roboterarmen, Objektsortierern, mobilen Robotern und 3D-Druckern, um die Produktion von Automobilteilen zu steigern. Die gesteigerte Produktionsrate generiert enorme Einnahmen für diese Industrien. Große Unternehmen wie BMW, Ferrari, Tesla, Honda und Lamborghini setzen in ihren Werken automatisierte Prozesse zur Herstellung von Autos ein, vom Schneiden der Materialien bis zur Endmontage der Teile, Lackierung, Schweißen usw. Diese Technologie spart Zeit und Geld und funktioniert in kürzester Zeit. Im Jahr 2014 wurden in der japanischen Industrie etwas mehr als 1400 Roboter pro 10.000 Beschäftigte eingesetzt, und die Zahl steigt weiter an. In Deutschland, den USA und Südkorea wird eine große Anzahl von Robotern eingesetzt, im Jahr 2014 waren es jeweils etwa 1100 Roboter pro 10.000 Beschäftigte (Irmets, n.d.).“ Zu den automatisierten Robotern gehört ein automatisierter Hubantrieb. Dabei handelt es sich um ein System, das mit Hilfe von Automatisierungstechnik die Bewegung und den Betrieb von Aufzügen oder Fahrstühlen in

einer Produktionsanlage steuert. Diese Automatisierung kann die Effizienz, die Sicherheit und die Gesamtproduktivität bei der vertikalen Beförderung von Waren oder Personal in der Fertigungsumgebung verbessern.

## **1.1 ZIEL DES PROJEKT:**

Ein automatisierter Aufzugsantrieb in der Fertigung bezieht sich auf ein System, das Automatisierung und Technologie verwendet, um die Bewegung und den Betrieb von Aufzügen oder Fahrstühlen zu steuern, und hilft auch beim Transport von Material innerhalb einer Fertigungsanlage. Die Hauptkomponenten eines Aufzugsantriebs sind: Automatisiertes Steuerungssystem (SPS), Sensor- und Sicherheitssystem, automatische Positionierung, Benutzerschnittstelle. Das Ziel des Projekts ist die Automatisierung des Aufzugsantriebs mit Hilfe der Twincat3 PLC Software. Das Gerät soll so programmiert werden, dass es beim Einschalten des Systems einen Referenzpunkt ansteuert und die vom Benutzer vorgegebene Sollposition mit minimalem Ruck und maximaler Geschwindigkeit unter verschiedenen Belastungsbedingungen erreicht. Außerdem sollte der Winkel der Plattform innerhalb der zulässigen Grenzen liegen, um Verletzungen im Falle eines Unfalls zu vermeiden. Schließlich muss eine geeignete und einfach zu verstehende Benutzeroberfläche für den Benutzer entwickelt werden.

## **1.2 VERSUCHSAUFBAU:**

Der Versuchsaufbau dient als Demonstrationsmodell für das Aufzugssystem. Das Aufzugssystem besteht aus einer Plattform, die mit Hilfe eines Seils aufgehängt ist. Das Seil läuft durch zwei Umlenkrollen auf jeder Seite, die oben am Versuchsstand aufgehängt sind, und das Seil wird weiter auf den Motor aufgewickelt. Durch die Bewegung des Motors im und gegen den Uhrzeigersinn wird das Seil abgewickelt und aufgewickelt, wodurch sich die Plattform auf und ab bewegt. Die Hardware-Komponenten des Aufbaus sind wie folgt organisiert und aufgelistet.

**Aktoren:**

- 2x Servomotoren AM8031 der Firma Beckhoff
- 2x Servoumrichter AX5101 der Firma Beckhoff

**Sensoren:**

- 1x Seilzugsensor SX-80-3000-10V-SA12 der Firma WayCon (S2)

**Steuereinheit:**

- Software SPS in TwinCat3 auf einem Labor-PC

**Kommunikation:**

- EtherCAT
- Buskoppler EK1814 mit EtherCAT Gateway

Die folgende Abbildung zeigt schematisch den Aufbau der Hubwerk System. Der Aufbau besteht im Wesentlichen aus zwei Servoantrieben, die jeweils mit einem Servomotor verbunden sind (Motor links und Motor rechts). Die Plattform ist an einem Kabel aufgehängt, das oben durch eine Rolle läuft und auf den Motor aufgewickelt ist. An der Unterseite befinden sich zwei Seilzugssensoren, die mit dem Brett verbunden sind. Außerdem befinden sich oben zwei Sicherheitssensoren, die die Bewegung der Plattform begrenzen. Die Sensoren und Aktoren kommunizieren mit dem Steuerungssystem über EtherCAT. Ein Gerät, der sogenannte Buskoppler, übersetzt die Signale der Sensoren in EtherCAT-Signale. Die Steuerungssoftware auf dem Rechner ist TwinCAT3 von Beckhoff.

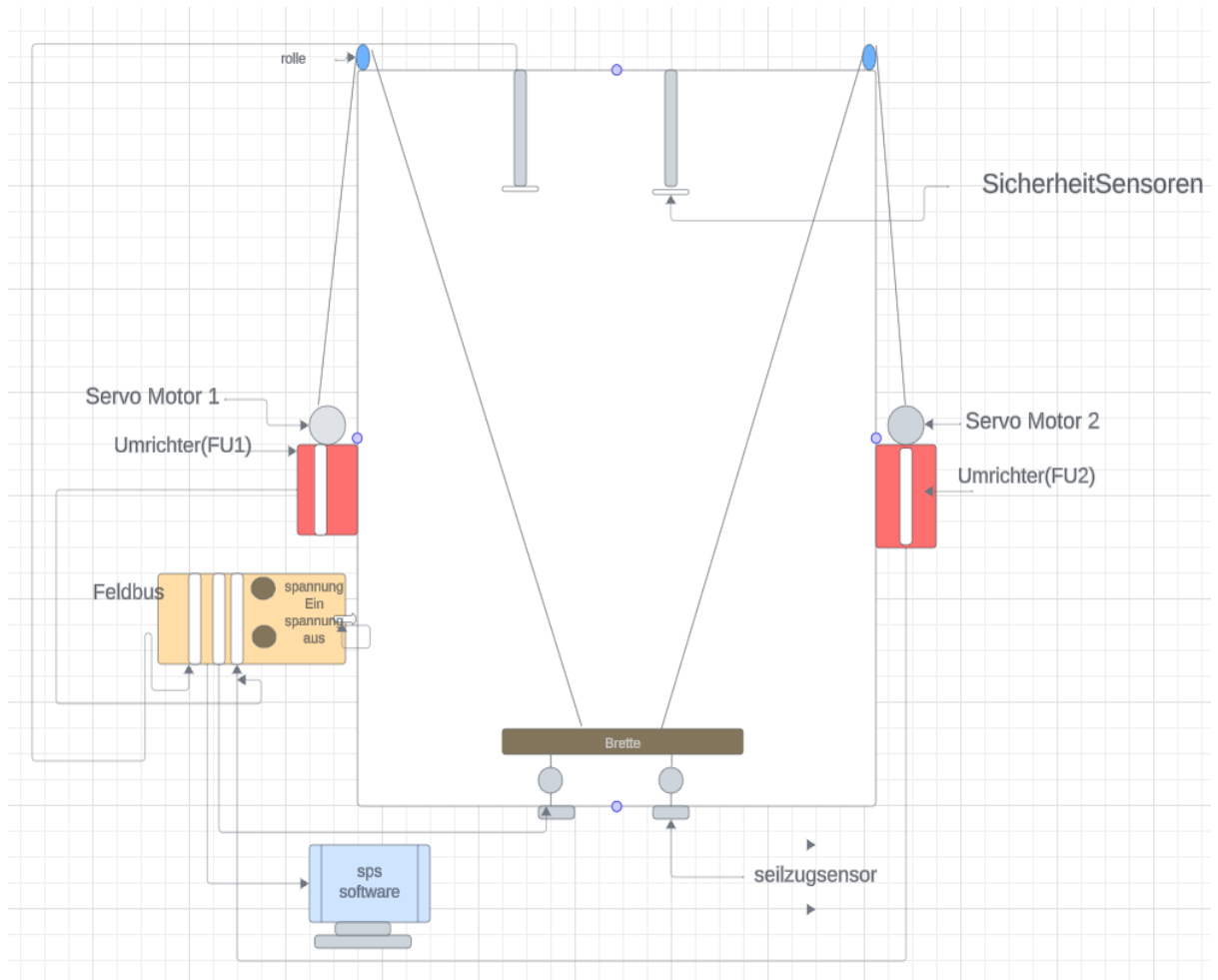


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus (eigene Darstellung, 2024)

## 2 KLÄRUNG DER AUFGABENSTELLUNG

Dieses Projekt konzentriert sich auf die Steuerung und Optimierung eines Aufzugsantriebssystems durch Software für Bewegungssteuerungsanwendungen. Das Gesamtziel wird in verschiedene Teilaufgaben aufgeteilt.

### 2.1 INBETRIEBNAHME DER SEILZUGSENSOREN:

Achten Sie beim Einrichten der Sensoren und Aktoren darauf, dass die Sensoren gut funktionieren und leicht zu verstehen sind. Stellen Sie den analogen Seilzugsensor sorgfältig ein und achten Sie besonders auf seine Einstellungen. Zeigen Sie die Sensorwerte so an und verwenden Sie sie so, dass sie in der Praxis Sinn machen.

## **2.2 AUFBAU, PARAMETRIERUNG UND BEWERTUNG DER POSITION REGLUNG MIT DREHZAHLVORSTEUERUNG DES „BRETTE“ IM ANTRIEBSREGLER:**

Die Kaskadenregelung in den Antriebsreglern wird auf Drehzahlregelung umgestellt. Dazu messen wir, wie die Antriebe auf Änderungen des Gewichts, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung bei leerem und vollem Gewicht reagieren. Dies wird uns helfen, die Parameter richtig einzustellen und den Regelkreis effektiv zu bewerten.

## **2.3 OPTIMIERUNG DER POSITIONSREGLUNG MIT DER „POSITIONSKORREKTUR“ IN DEN ACHSEINSTELLUNGEN:**

Aufgrund der Aufwicklung des Seils scheint es eine Überlappung des Seils auf dem Motor zu geben. Diese Überlappung ist auf beiden Seiten unterschiedlich, was zu einem Fehler führt, der etwas höher ist als die Sensorwerte. Um diesen Fehler zu beheben, wurde ein PI-Regler entwickelt, der als Positionskorrektor fungiert, wobei der Sollwert die Werte des Zugsensors und die Prozessvariable der vom Motor erkannte Höhenwert ist. Der Fehler, d.h. die Differenz zwischen Sollwert und Prozessvariable, wird durch den PI-Regler reduziert.

## **2.4 VORGABE UND UMSETZUNG PARAMETRIERBARER POSITIONIERPROFILE.**

Die Bewegung der Plattform ist so programmiert, dass sie sowohl einem trapezförmigen als auch einem sinusförmigen Profil folgt, was eine gleichmäßige Bewegung mit minimalem Ruckeln ermöglicht. Das Trapezprofil beinhaltet eine konstante Beschleunigung während des Starts, eine Phase mit konstanter Geschwindigkeit und eine konstante Beschleunigung während des Abbremsens, mit Optionen für mit und ohne Kriechgeschwindigkeit. Das Sinusprofil hingegen weist sowohl beim Beschleunigen als auch beim Abbremsen ein  $\sin^2$ -förmiges Geschwindigkeitsprofil auf. Eine Benutzerschnittstelle enthält eine Taste, mit der der Bediener je nach Bedarf zwischen diesen beiden Profilen umschalten kann.

## **2.5 UNTERSUCHUNG EINER UMGESETZTEN REGLUNG MIT VARIABLEN LASTEN, GEGEBENENFALLS ANPASSUNG DER REGELUNGSPARAMETER:**

Die Plattform wird zunächst mit denselben Steuerungsparametern getestet. Wenn diese Parameter nicht geeignet sind, sollten sie geändert und parametrisiert werden. Der



Schwerpunkt sollte auf dem Kaskadenregler im Antriebsmanager und dem Proportionalwert der Regelabweichung im PI-Regler liegen.

## **2.6 SCHAFFUNG EINER GEEIGNETEN BEDIENOBERFLÄCHE UNTER TWINCAT3:**

Für die allgemeine Bedienung der Anlage ist eine geeignete Benutzeroberfläche in der Programmierumgebung TwinCAT3 zu erstellen und zur Verfügung zu stellen. Diese soll dem Anlagenbediener mehrere Einstellmöglichkeiten bieten. So soll der Anwender z. B. eine Zielposition vorgeben können, ebenso soll der Anwender eine Geschwindigkeit vorgeben können und eine Referenzfahrt durchführen können. Des weiteren soll der Benutzer die Möglichkeit haben, das Trapiz- und Sin-Profil einzuschalten. Die Bedienoberfläche wird über die Visualisierungsfunktion der Beckhoff TwinCAT3-Entwicklungsumgebung programmiert und angesprochen. Generell ist bei der Implementierung auf eine physikalische Darstellung nach dem internationalen Einheitensystem (SI) zu achten. Weiterhin sind die physikalischen Grenzwerte im Hinblick auf Sach- und Personenschäden auszulegen. Bei der Programmierung der Anlage ist auch auf das Abfangen von Fehlereingaben und die umfassende Darstellung des Anlagenzustandes in der Visualisierung zu achten.

## **3 ERGEBNISSE**

---

### **3.1 INBETRIEBNAHME DER SELIZUGSENSOREN:**

Die digitalen analogen Zugsensoren werden an den Buskoppler des Systems angeschlossen. Für den Seilzugsensor wird ein spezielles Analogmodul verwendet. Der Buskoppler wandelt die Signale in digitale Signale um, die über das Gateway mittels EtherCAT an die Steuerung übertragen werden.

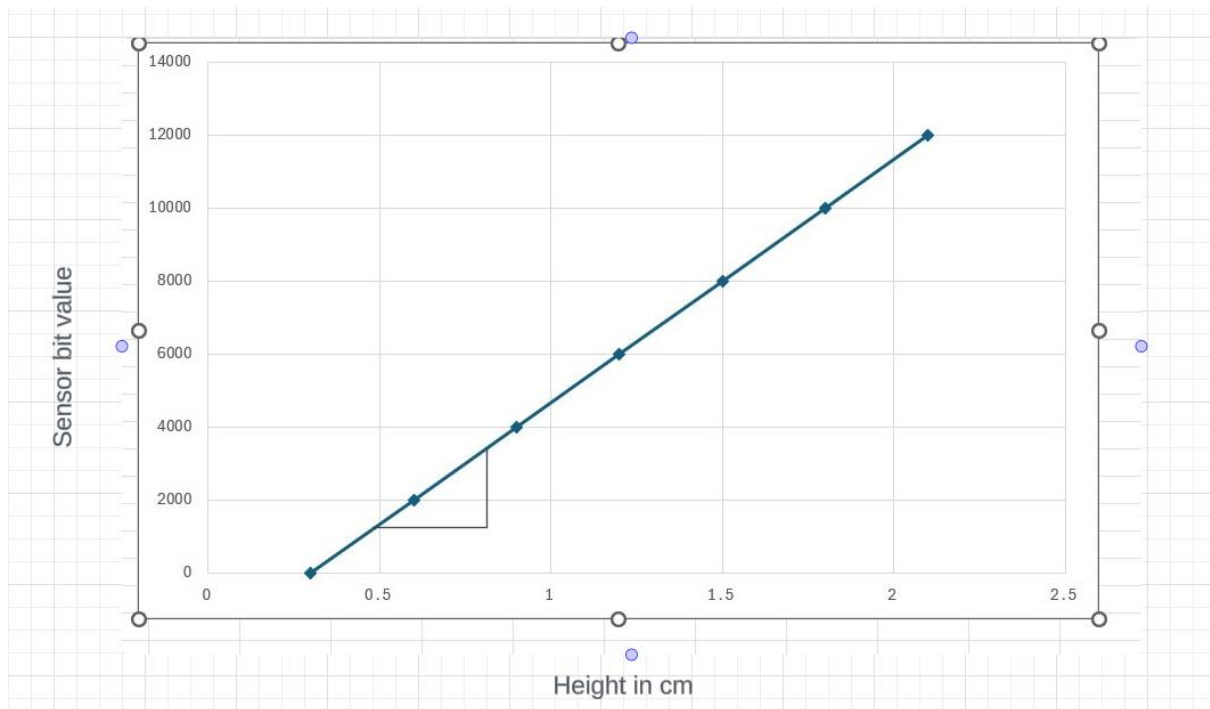


Abbildung 2: Verhalten des Zugsensors in Abhängigkeit von der Höhe in m

Um den Sensor in das Programm zu integrieren, müssen die Bitwerte des Sensors in physikalische Einheiten des SI-Systems umgewandelt werden. Dies geschieht durch die Bestimmung der Steigung der tatsächlichen Höhe gegenüber dem Bitwert des Sensors. Die lineare Beziehung zwischen dem Sensormesswert in Inkrementen und der tatsächlichen Höhe in Metern ist in der obigen Grafik dargestellt. Die Höhe der Plattform wird an 2 Punkten des Diagramms manuell abgelesen, ebenso wie die Bitwerte des Zugsensors. Anhand dieser Werte wird die Steigung der linearen Linie bestimmt. Dabei ist  $\Delta x$  die Differenz der Bit-Werte und  $\Delta y$  die Höhendifferenz in m. Die folgende Formel wird verwendet, um die Bit-Werte in reale Werte umzuwandeln.

$$Y = mx + c$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = m$$

Dabei ist der Wert von y die tatsächliche Höhe der Tafel nach der Umwandlung des Sensor-Bitwerts in einen realen physikalischen Wert in m. X ist der vom Sensor gemessene Höhenwert in Bits.

### **3.2 AUFBAU, PARAMETRIERUNG UND BEWERTUNG DER POSITION REGLUNG MIT DREHZAHLVORSTEUERUNG DES „BRETTE“ IM ANTRIEBSREGLER:**

Die Kaskadenregelung ist eine Regelungsstrategie, die im Bereich der Prozesssteuerung eingesetzt wird, um die Leistungsfähigkeit eines Regelungssystems zu verbessern, insbesondere bei Systemen mit mehreren interagierenden Variablen. In TwinCAT 3, einer Softwareplattform für die PC-basierte Steuerungstechnik, kann die Kaskadenregelung implementiert werden, um die Präzision und Stabilität der Regelung in komplexen Prozessen zu verbessern.

Primäre und sekundäre Regelkreise: Bei der Kaskadenregelung gibt es typischerweise zwei Regelkreise - einen Primärkreis und einen Sekundärkreis. Der Primärkreis regelt die Hauptprozessvariable. In diesem Projekt ist die Hauptprozessvariable die Höhe der Plattform. Der Sekundärregelkreis regelt eine sekundäre Variable, die die primäre Variable beeinflusst. In diesem Fall ist die sekundäre Variable die Differenz zwischen dem Höhenwert des Motors und des Sensors. Die sekundäre Schleife ist in der primären Schleife verschachtelt.

Der Ausgang des Primärreglers beeinflusst den Sollwert des Sekundärreglers. Der Primärregler passt seinen Ausgang auf der Grundlage der Differenz zwischen dem gewünschten Sollwert und dem Istwert der primären Variablen an. Der Sekundärregler wiederum regelt seinen Ausgang anhand der Differenz zwischen dem gewünschten Sollwert für die Sekundärgröße und dem Istwert der Sekundärgröße.

Die mathematische Parametrisierung der Geschwindigkeitsregelung für den äußeren Regelkreis wurde durch die anfängliche Festlegung eines Wertes für beide Achsen bestimmt. Im inneren Regelkreis wurde ein Anfangswert für  $K_v$  (Geschwindigkeitsverstärkung) festgelegt, der unter Beobachtung der Systemreaktion schrittweise reduziert wurde. Nach Abschluss der Feinabstimmung wurde schließlich ein Sollwert für  $K_v$  von  $K_v = 0,17$  (1000/min) festgelegt, mit Werten von  $K_p$  (Proportionalverstärkung) =  $0,026$  A/(rad/s) und  $T_n$  (Integralzeit) = 8 ms.

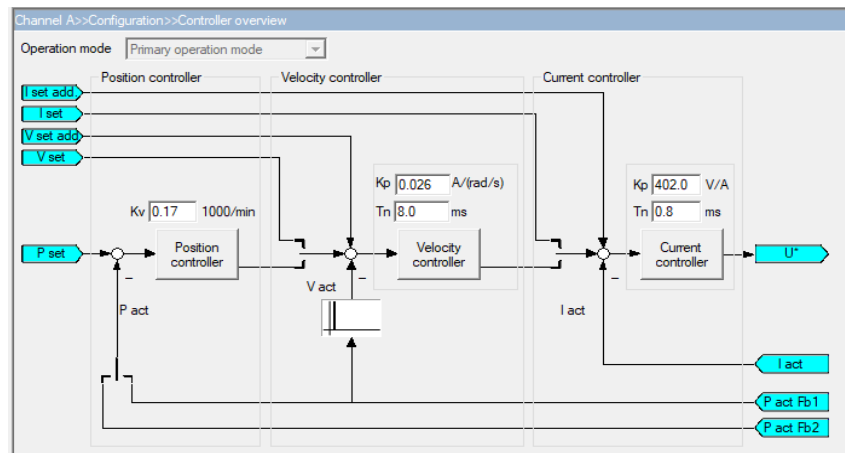


Abbildung 3: Kaskadenregler der Hubtriebe

Das folgende Diagramm veranschaulicht das Verhalten des Systems bei unterschiedlichen Sollwertvorgaben

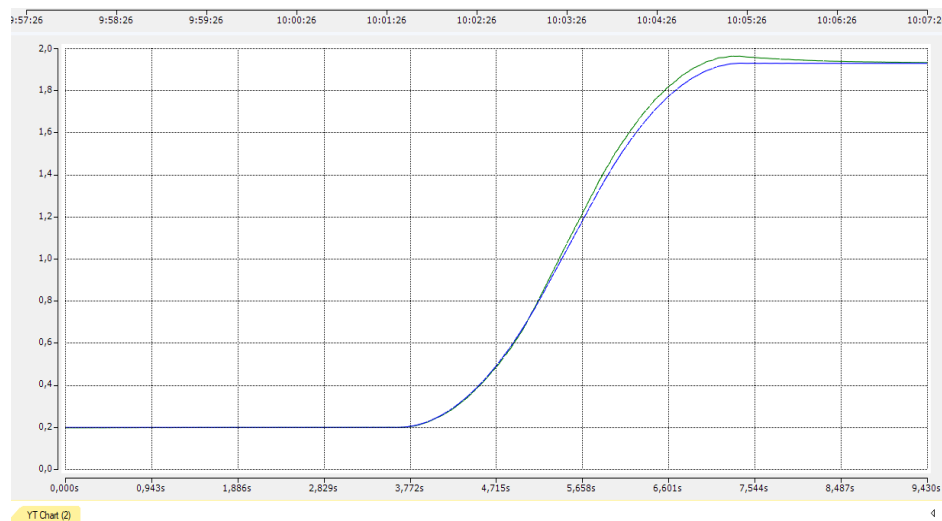


Abbildung 4: Verhalten des Systems mit  $K_v=1.5$

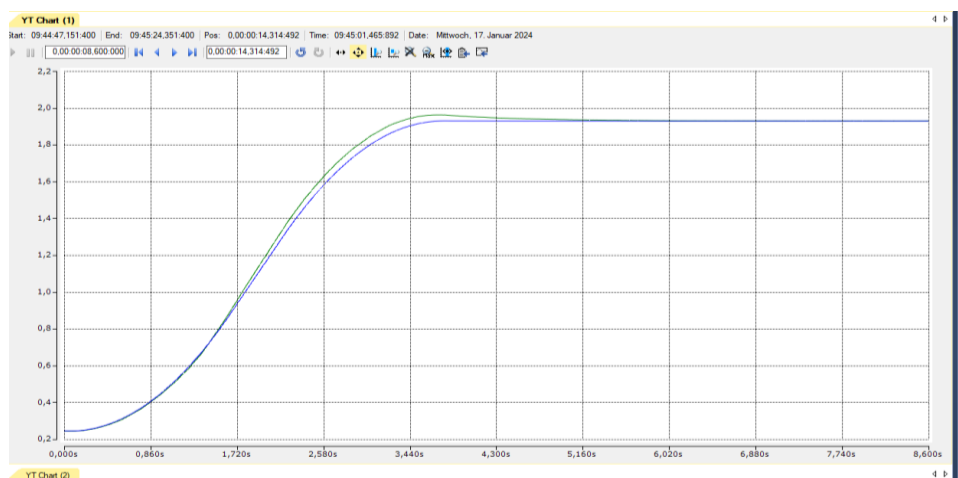


Abbildung 5: Verhalten des Systems mit  $K_v=0.17$

Aus dem Diagramm geht hervor, dass sich die Einschwingzeit und das Überschwingen verringern, wenn die Werte reduziert werden.

### **3.3 OPTIMIERUNG DER POSITIONSREGLUNG MIT DER „POSITIONSKORREKTUR“ IN DEN ACHSEINSTELLUNGEN:**

Die Plattform ist mit Hilfe eines Seils mit dem Motor verbunden und auf den Motor aufgewickelt. Durch das Aufwickeln des Seils auf den Motor entsteht eine Überlappung, d.h. die Seile wickeln sich übereinander. Diese Überlappung führt dazu, dass sich die Plattform einige Zentimeter über der Zielposition befindet. Wenn man die Werte der Höhe von den Seilzugsensoren und den Wert vom Motor vergleicht, gibt es einen Fehler. Es entsteht ein Fehler von 1,06-2% zwischen den Werten des Seilzugsensors und dem Wert des Motors.

Um diesen Fehler zu beseitigen, wurde ein P.I.-Regler mit der TwinCat3 Bibliothek implementiert. Dieser Regler erzeugt die notwendige Korrekturwirkung auf das System, indem er den tatsächlichen Ausgang in Richtung des gewünschten Ausgangs zieht. Das Proportional-Integral erzeugt ein zur Regelabweichung proportionales Stellsignal u. Dies ermöglicht es dem tatsächlichen Ausgang, dem gewünschten Ausgang zu folgen. Liegt die Regelabweichung jedoch über einem bestimmten Schwellenwert, ist ein Proportionalregler allein nicht ausreichend. Andererseits erzeugt das System aufgrund der ihm innewohnenden Beschränkungen einen stationären Fehler. Das Integral des Fehlers hilft bei der Minimierung des stationären Fehlers. Diese Idee der Verwendung einer konstanten Regelabweichung über die Zeit ist der Integralregler.

Ursprünglich wurden die Werte für die Proportionalverstärkung  $K_p$  und  $T_n$  auf 0,2 bzw. 20 ms festgelegt. Diese Werte waren jedoch nicht sinnvoll, da die Plattform stark sprang, was zu einer instabilen Bewegung führte. Später wurden die Werte manuell durch die Versuch-and-Irrtum-Methode optimiert, bis ein vernünftiger Wert erreicht wurde, bei dem eine gleichmäßige Bewegung der Plattform erzielt wurde. Der optimierte Wert von  $K_p$  und  $T_n$  wurde mit 0,5 und 400 ms festgelegt.

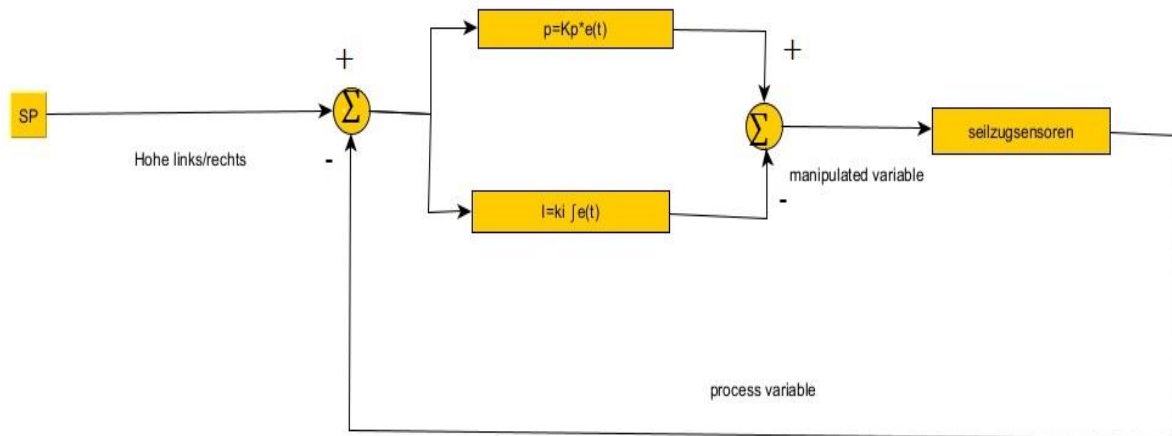


Abbildung 6: PI controller control Block

Somit hilft der PI-Regler, die Einschwingzeit zu beschleunigen und den über die Zeit konstanten Fehler zu reduzieren.

Der Ausgang des Reglers ist gegeben durch

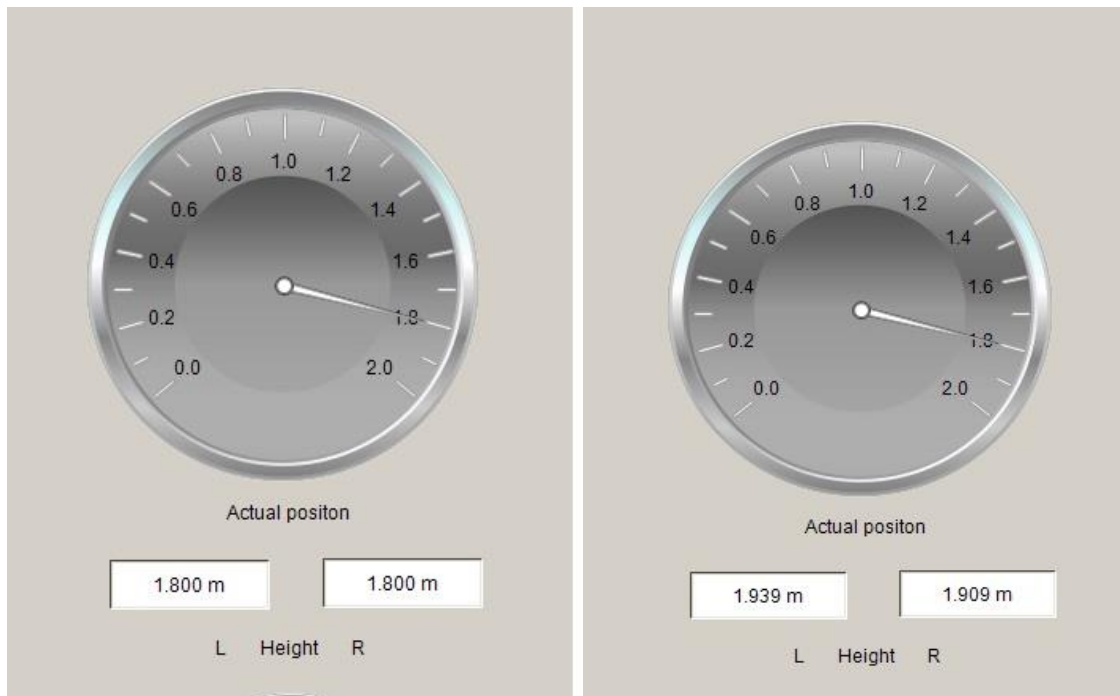
$$K_p \Delta + K_i \int \Delta dt$$

Dabei ist  $\Delta$  der Fehler oder die Abweichung des tatsächlichen Messwerts (Pv) vom Sollwert (Sp)

$$\Delta = Sp - Pv$$

Sp= wert von Seilzugsensor(Hohe links/Rechts in m)

Pv= wert von Motoren



*Abbildung 7: Höhenwerte von Motor und Sensor mit Positionskorrektor und ohne Positionskorrektor*

Das obige Bild 1 von der Benutzeroberfläche zeigt die Bewegung der Plattform ohne Positionskorrektor und Bild 2 zeigt die Bewegung der Plattform mit Positionskorrektor. Es wird aufgezeichnet, dass es ohne Positionskorrektor eine große Schwankung zwischen Sensorwert und Motorwert gibt. Mit der Positionskorrektur wird diese Schwankung jedoch auf Null reduziert.

### **3.4 VORGABE UND UMSETZUNG PARAMETRIERBARER POSITIONIERPROFILE**

Die abrupte Geschwindigkeitsänderung der Plattform verursacht plötzliche Rucke und Stöße. Dies kann zu mechanischer Belastung und Instabilität führen. Es kann auch mehr Energie verbraucht werden, da eine plötzliche Änderung des Drehmoments erforderlich ist, was zu einer Überhitzung des Motors und zu erhöhtem Verschleiß führen kann. Um diese Probleme zu überwinden, wird ein Bewegungsprofil verwendet, um die Bewegung mit konstanter Beschleunigung, Verzögerung und Ruck zu steuern. In diesem Projekt werden ein Trapezprofil und ein Sinus-Quadrat-Profil verwendet, um die Bewegung der Plattform zu steuern.

Das trapezförmige Profil ist durch unterschiedliche Phasen der Beschleunigung, der konstanten Geschwindigkeit und der Verzögerung gekennzeichnet, was zu einem trapezförmigen Diagramm der Geschwindigkeit über der Zeit führt. Während der Beschleunigungsphase steigt die Geschwindigkeit des Systems allmählich von einer Anfangsgeschwindigkeit (Null) bis zu einer gewünschten konstanten Geschwindigkeit (Zielgeschwindigkeit). Die Beschleunigungsrate ( $0,5\text{m/s}^2$ ) wird kontrolliert, um eine gleichmäßige und kontrollierte Bewegung zu gewährleisten. Sobald die gewünschte Geschwindigkeit erreicht ist, hält das System die konstante Geschwindigkeit für eine bestimmte Dauer oder bis eine bestimmte Strecke zurückgelegt ist. Diese Phase stellt eine stationäre Bewegung ohne jegliche Geschwindigkeitsänderung dar. In der Verzögerungsphase nimmt die Geschwindigkeit des Systems allmählich von der konstanten Geschwindigkeit auf Null ab. Die Verzögerungsrate ( $0,5\text{m/s}^2$ ) wird kontrolliert, um abrupte Stopps zu vermeiden und eine gleichmäßige Bewegung zu gewährleisten. Die Werte für Beschleunigung ( $\text{m/s}^2$ ), Verzögerung ( $\text{m/s}^2$ ), Zielposition und Zielgeschwindigkeit ( $\text{m/s}$ ) werden vom Motor benötigt, um dieses Profil umzusetzen.

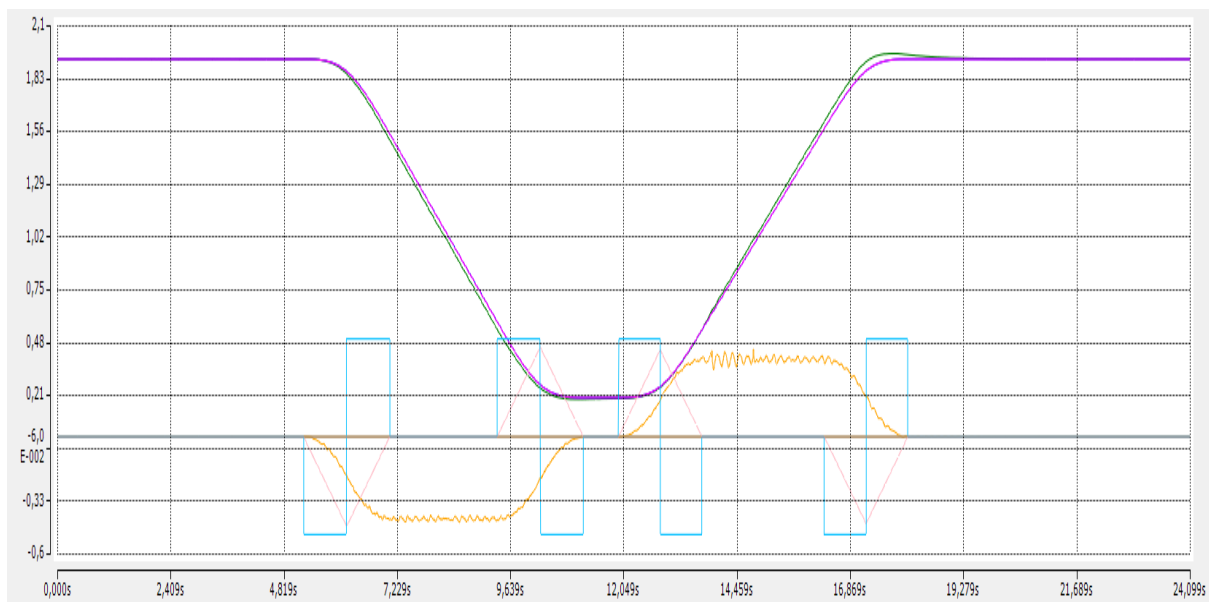


Abbildung 8: Trapez Profil



Ähnlich wie das Trapezprofil wird auch das Sinus-Quadrat-Profil verwendet, um die Bewegung der Plattform zu glätten. Dieses Profil implementiert eine sinusförmige Eingabe für die Beschleunigungs- und Verzögerungsphase anstelle der konstanten Beschleunigung im Trapezprofil. Die Werte für Beschleunigung ( $\text{m/s}^2$ ), Verzögerung ( $\text{m/s}^2$ ), Ruck ( $\text{m/s}^3$ ), Zielposition und Zielgeschwindigkeit ( $\text{m/s}$ ) werden vom Motor benötigt, um dieses Profil zu implementieren.

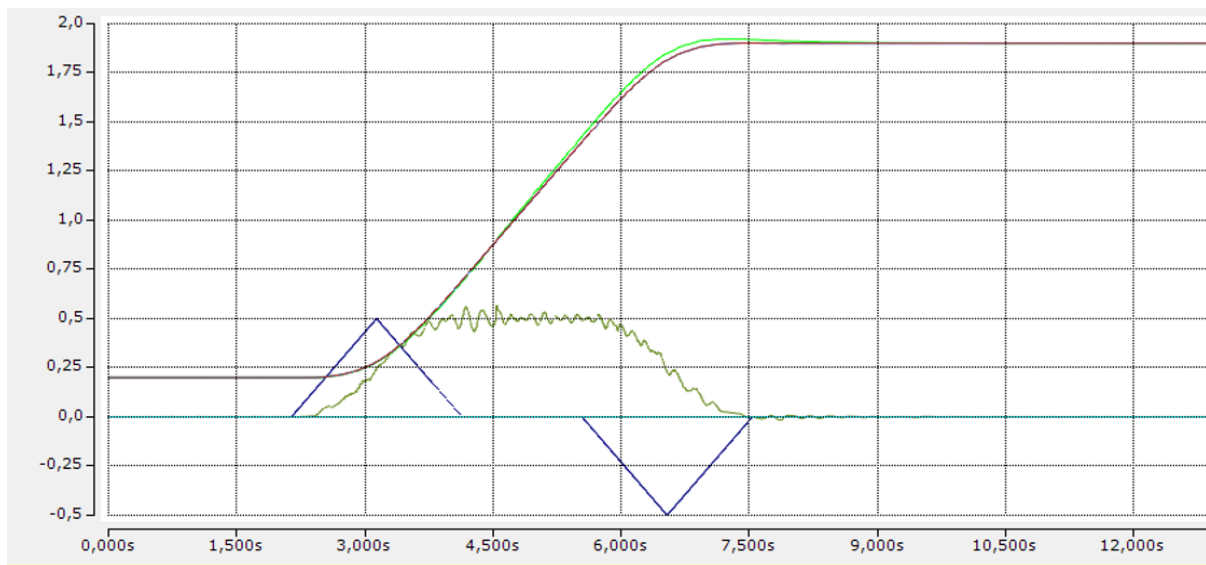


Abbildung 9: Sinus Profil

Das Profil wird im Programm zwischen einem Trapezprofil und einem Sinus-Quadrat-Profil umgeschaltet, wobei ein Kippschalter verwendet wird, der die Standardwerte für Beschleunigung, Verzögerung und Ruck in den Motor eingibt, wenn das Sinus-Quadrat-Profil ausgewählt ist, und den Wert des Rucks auf  $0\text{m/s}^3$  ändert, wenn das Trapezprofil ausgewählt ist. Ein YT-Scope wurde verwendet, um das Funktionieren des Bewegungsprofils zu überprüfen.

### 3.5 UNTERSUCHUNG EINER UMGESETZTEN REGELUNG MIT VARIABLEN LASTEN, GEGEBENENFALLS ANPASSUNG DER REGELUNGSPARAMETER

Da die Bewegung der Plattform ohne Gewichte reibungslos verlief, wurde mit den Tests mit Gewichten auf beiden Seiten begonnen. Bei den ersten Tests wurden alle Parameter wie ohne Gewichte beibehalten. Wie in der nachstehenden Grafik dargestellt, führte dies zu einer sehr ruckartigen Bewegung der Plattform aufgrund starker Schwankungen in der Geschwindigkeit des Motors und war unerwünscht.

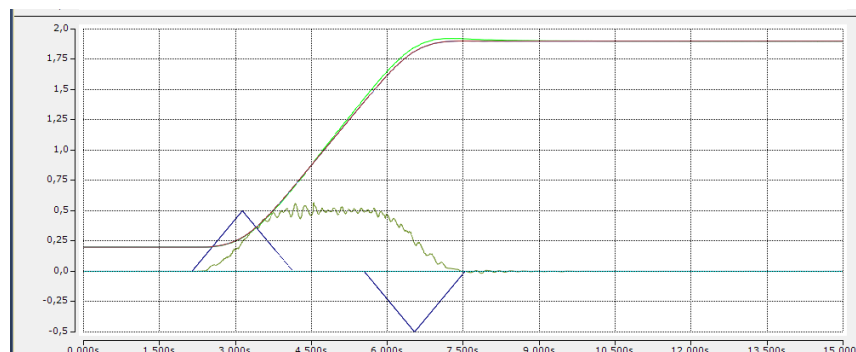


Abbildung 10: Prüfung mit Gewichten auf beiden Seiten, wobei alle Parameter die gleichen sind wie ohne Gewicht

Um dies zu beheben, wurde der Wert der Filterzeitpositionskorrektur auf 0,2 geändert und anschließend getestet. Dies führte zwar zu einer gleichmäßigeren Bewegung (wie in der Grafik unten dargestellt), verursachte aber auch ein starkes Ruckeln der Plattform in dem Moment, in dem die Positionskorrektur eingeschaltet wird.

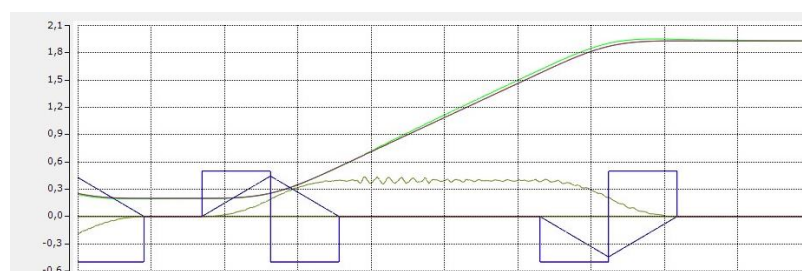


Abbildung 11: Prüfung der Brette bewegung mit Gewichten nach Änderung der Filterzeitpositionskorrektur

Um dieses Problem zu lösen, wurde ein Programm geschrieben, das das Programm mit einem Wert von 30 Sekunden in der Filterzeitpositionskorrektur initialisiert, wenn die Maschine eingeschaltet wird, und dann den Wert nach einer Verzögerung von 0,01 Sekunden nach dem Einschalten des Positionsreglers auf 0,2 Sekunden zurückschreibt. Dies führte dazu, dass die Maschine vom Einschalten bis zum Einschalten des Positionsreglers einen Wert von 30 in der

Filterzeitpositionskorrektur hatte und dann während des Betriebs auf einen Wert von 0,2 Sekunden umschaltete.

### **3.6 SCHAFFUNG EINER GEEIGNETEN BEDIENOBERFLÄCHE UNTER TWINCAT3**

Die Entwicklung einer benutzerfreundlichen FAV-Aufzugsschnittstelle wurde erfolgreich durch die Implementierung von TwinCat3 erreicht. Die FAV-Lift-Benutzeroberfläche ist in drei Hauptbereiche unterteilt, um den Benutzern die Bedienung zu erleichtern und sie zu schützen. Jeder Bereich hat eine bestimmte Aufgabe.

Im ersten Bereich kann der Benutzer das Gerät ein- und ausschalten. Ein grünes Licht zeigt an, dass das Gerät einsatzbereit ist. Wenn ein Fehler auftritt, zeigt ein rotes Licht ein Problem an. Um den Benutzer bei der Behebung des Problems zu unterstützen, wird ein Fehlercode mit einer Meldung angezeigt. Außerdem gibt es eine Reset-Taste zur Behebung von Hardware- oder Softwareproblemen. Im mittleren Teil der Benutzeroberfläche befindet sich eine Stopptaste. Sie ist für Notfälle gedacht oder wenn das Gerät schnell angehalten werden muss. Auf der rechten Seite der Benutzeroberfläche befindet sich eine Taste zur Positions-korrektur. Dies ist hilfreich, wenn bei Tests Unterschiede in der Höhenberechnung zwischen Sensoren und Motoren festgestellt werden. Mit der Positions-korrekturtaste kann der Benutzer die Position für eine genaue Leistung anpassen und ausrichten.

Der zweite Teil des FAV-Lift steuert, Sobald die Maschine eingeschaltet wird, beginnt die Maschine mit der Referenzierung der Plattformhöhe und kommt bei 25 cm zum Stillstand. Um die Maschine in Bewegung zu setzen, gibt es einen Schalter, mit dem der Benutzer zwischen verschiedenen Bewegungsstilen wählen kann - z. B. einem Trapez oder einem sinusförmigen Quadrat. Auf diese Weise kann sich die Maschine so bewegen, wie es für die jeweilige Aufgabe am besten geeignet ist. Es gibt auch Tasten mit der Bezeichnung "Obere" und "Untere Position", mit denen die Plattform schnell auf eine Höhe von 1,9 m und 0,2 m bei einer Geschwindigkeit von 0,8 m/s angehoben werden kann. Dies sind bequeme voreingestellte Positionen, mit denen sich die Höhe der Maschine leicht einstellen lässt, ohne dass die Parameter manuell eingegeben werden müssen. Für eine präzisere Steuerung kann der Benutzer auch eine Zielposition und Geschwindigkeit manuell eingeben. Auf diese Weise kann sich die Plattform mit einer bestimmten Geschwindigkeit an eine bestimmte Stelle bewegen, wodurch der Benutzer noch mehr Kontrolle über die Bewegung der Maschine

erhält. Kurz gesagt, mit dem zweiten Teil des FAV-Lift-Profils kann der Benutzer die Bewegung der Maschine auf verschiedene Weise steuern - von der automatischen und manuellen Referenzierung bis hin zur Auswahl verschiedener Bewegungsarten und der Einstellung bestimmter Positionen und Geschwindigkeiten.

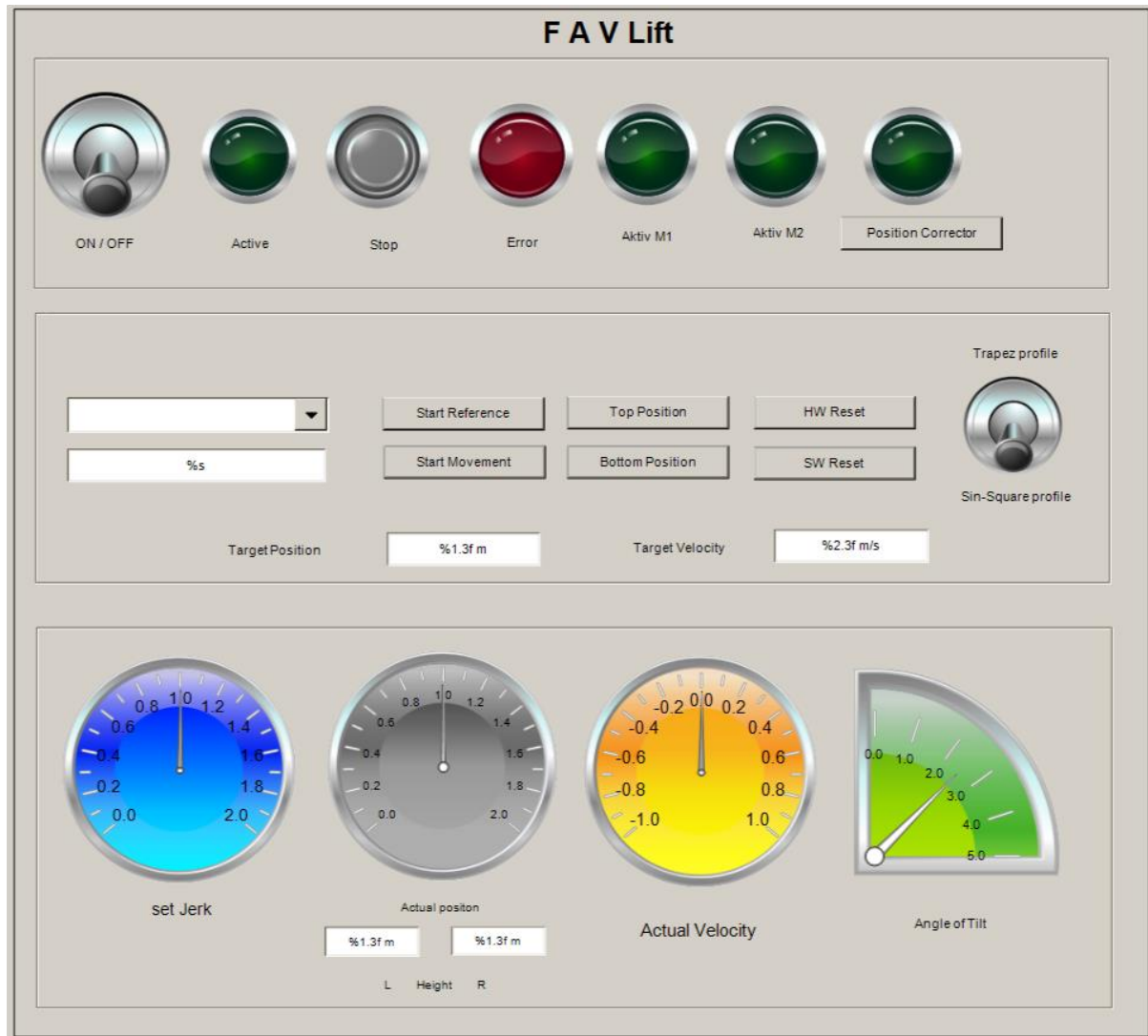


Abbildung 12: Bedienoberfläche

Der dritte Teil der FAV-Lift-Benutzeroberfläche ist so konzipiert, dass er durch verschiedene Anzeigen Rückmeldungen gibt. Sie konzentriert sich hauptsächlich auf die Anzeige des Status der Sensoren. Die Ist-Positionsanzeige zeigt den vom Servomotor gemessenen Wert an. Darunter befinden sich zwei Anzeigen, die die vom Seilzugsensor gemessene Höhe anzeigen. Diese Information ist entscheidend für das Verständnis der vertikalen Position der Maschine. Zur Bestimmung des Neigungswinkels kann der Benutzer die Winkelanzeige im mittleren rechten Bereich der Benutzeroberfläche heranziehen. Wenn die Neigung mehr als  $3^\circ$  beträgt,

stoppt die Maschine automatisch ihren Betrieb. Sie stellt die Neigung der Plattform visuell dar und gibt wichtiges Feedback über ihre Ausrichtung. Am unteren Rand der Benutzeroberfläche finden die Benutzer Anzeigen für die aktuelle Geschwindigkeit und den Set-Jerk der Plattform während der Bewegung. Diese Informationen helfen den Nutzern, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Plattform zu überwachen, und gewährleisten ein klares Verständnis ihres dynamischen Verhaltens.

## **4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK**

---

Die Plattform ist sehr flexibel, da sie sich in trapezförmigen oder sinusförmigen Profilen bewegen kann, was eine hervorragende Kontrolle über die gesamte Maschine ermöglicht. Durch die Implementierung eines robusten Sicherheitsprotokolls wurde die Sicherheit des Benutzers in den Vordergrund gestellt. Brette ist in der Lage, sowohl die oberste als auch die unterste Position schnell zu erreichen, was eine schnelle und effektive Kontrolle ermöglicht. Die empfohlene Höchstgeschwindigkeit für Brette liegt bei 0,8 m/s, mit einer Beschleunigung von  $0,5 \text{ m/s}^2$ , was schnelle und kontrollierte Bewegungen beim Heben und Senken ermöglicht. Das System legt großen Wert auf Benutzerfreundlichkeit und bietet eine intuitive Schnittstelle für eine einfache Bedienung. Darüber hinaus ist das Programm auf Anpassungsfähigkeit ausgelegt, so dass der Benutzer sowohl die Position als auch die Geschwindigkeit der Brette nach seinen Wünschen verändern kann. Diese Funktion erhöht die Vielseitigkeit des Systems und ermöglicht die Anpassung an spezifische Benutzeranforderungen und Einsatzszenarien.

## 5 QUELLENVERZEICHNIS

---

1. <https://www.productivity.com/benefits-of-automation/>
2. [https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue\\_10\\_october\\_2020/4295/1628083168.pdf](https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue_10_october_2020/4295/1628083168.pdf)
3. <https://controlsacademy.com/0007/0007.html>
4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916002295>
5. [https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/tf4100\\_tc3\\_controller\\_toolbox/245432715.html&id=](https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/tf4100_tc3_controller_toolbox/245432715.html&id=)