

Bernburg  
Dessau  
Köthen



**Hochschule Anhalt**  
Anhalt University of Applied Sciences

**emw**  
Fachbereich  
Elektrotechnik, Maschinenbau  
und Wirtschaftsingenieurwesen

## Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Engineering (B.Eng.)

**Chun Cui**

---

Vorname Nachname

Elektro-und Informationstechnik, 2013,  
4061328

---

Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Thema:

**Re-Engineering des Plattentransportsystems**

Prof. Dr. Anatoli Makarov

---

1.Prüfer/in

Dipl.-Ing. Ulf Heinisch

---

2.Prüfer/in

10.08.2017

---

Abgabe am

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet wurden.

Köthen, 02.08.2017

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Studierenden

## Sperrvermerk

Sperrver-  
merk:

ja

nein

wenn ja: Der Inhalt der Arbeit darf Dritten ohne Genehmigung der/des (Bezeichnung des Unternehmens) nicht zugänglich gemacht werden. Dieser Sperrvermerk gilt für die Dauer von X Jahren.

Köthen, 02.08.2017

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Studierenden

## Inhaltsverzeichnis

Selbstständigkeitserklärung.....	I
Sperrvermerk .....	I
1 Einleitung .....	4
1.1 Kurze Vorstellung des Gleichstrommotors.....	4
1.2 Kurze Vorstellung des SPS Siemens S7-300 .....	4
1.3 Zielstellung der Arbeit.....	5
1.4 Design-Ideen des Plattentransportsystems .....	5
2 Die Grundeigenschaften des Gleichstrommotors.....	6
2.1 Die Grundkonfiguration des Gleichstrommotors .....	6
2.1.1 Der Stator des Gleichstrommotors .....	6
2.1.2 Der Rotor des Gleichstrommotors.....	7
2.2 Prinzipielle Arbeitsweise eines Gleichstrommotors.....	8
2.3 Mathematisches Modell des Gleichstrommotors .....	9
3 Steuerung zur Drehzahl des Gleichstrommotors .....	10
3.1 Die Änderung des Widerstandes.....	11
3.2 Die Änderung des magnetischen Durchflusses .....	11
3.3 Die Änderung der Ankerspannung .....	12
4 PWM-Controller für den Gleichstrommotor .....	13
4.1 Einführung über PWM Controller .....	13
4.2 Zusammensetzung des PWM-Systems für den Gleichstrommotor .....	14
4.2.1 4Q-PWM-Servoregler .....	14
4.2.2 Regelprinzip des 4Q-PWM-Servoreglers .....	15
4.4.3 Steckerbelegung des 4Q-PWM-Servoreglers .....	17
5 Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) .....	21
5.1 Einführung in die SPS .....	21
5.2 Hardware einer SPS.....	21
6 Hardware Konfiguration für S7-300 in Step 7 .....	24
7 Vorbereitungen für das Programm .....	29
7.1 Funktionen der Gleichstrommotoren für das Projekt.....	29
7.2 Darstellung über die Startreihenfolge von drei Motoren.....	31
8 Programmierung mit FBD.....	34
8.1 Step 7 Programmsprache.....	34
8.2 FBD Programmierung für das Projekt.....	35
8.2.1 I/O Logik Tabelle.....	35
8.2.2 FBD mit Timer .....	36
8.2.3 Blockdiagramm.....	38

9	Zusammenfassung.....	41
10	Literaturverzeichnis.....	42
11	Abbildungsverzeichnis .....	43
13	Abkürzungsverzeichnis .....	45

# **1 Einleitung**

## **1.1 Kurze Vorstellung des Gleichstrommotors**

Der Gleichstrommotor ist ein Motor, der die Energie des Gleichstroms in mechanische Energie umwandeln kann.

Wegen seiner guten Steuerung der Drehzahl ist der Gleichstrommotor in der Industrieproduktion weit verbreitet. Man benutzt die Momente der Motorwelle, um die Maschine anzutreiben. Nach den Prozessanforderungen braucht der Gleichstrommotor die unterschiedliche Drehzahl. Deshalb muss die Drehzahl des Gleichstrommotors in dem benötigten Bereich eingestellt werden. Im Vergleich zum Wechselstrommotor hat der Gleichstrommotor die bessere Fähigkeit für die Einstellung der Drehzahl. Der DC-Motor hat nicht nur einen breiteren Einstellungsbereich, sondern auch den größeren Moment beim Starten und Stoppen.

Mit der Entwicklung der Mikroelektronik, Computertechnik, Sensortechnik und Leistungselektronik werden sich die Steuerungen des Motors ändern. Die Inverter-Technologie und PWM-Technologie sind heute die hauptsächlichste Weise, um die Motoren zu steuern. Für den DC-Motor werden überwiegend das digitale Drehzahlregler-System und das analoge Drehzahlregler-System angewendet. Das digitale Drehzahlregler-System spielt eine wichtigere Rolle als das analoge Drehzahlregler-System zur Steuerung des Gleichstrommotors.

## **1.2 Kurze Vorstellung des SPS Siemens S7-300**

SPS besteht überwiegend aus CPU Modul, Eingangsmodul, Ausgangsmodul und Programmmodul. Einige spezielle Module dienen speziellen Aufgaben. Beispielsweise wird das Modul FM357 zur Positionierung des Motors genutzt. Heute wird SPS weit verbreitet in der industriellen Produktion eingesetzt.

S7-300 ist eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) und ein Produkt des Siemens Unternehmens in Deutschland. S7-300 kann Relais ersetzen. Und sie wird auch in komplexen Steuerungssystemen angewendet. Wegen des kurzen Zyklus und der hohen Arbeitsgeschwindigkeit benutzt man verbreitet die S7-300 in der Industrieproduktion. S7-300 wird modular aufgebaut und ihre Konstruktion ist flexibler. S7-300 kann mit unterschiedlicher CPU verwendet werden. Und Funktionsmodul und I/O Modul können zum Benutzen ausgewählt werden.

Mit Hilfe der Software STEP 7 kann man die S7-300 programmieren. Software STEP 7 beinhaltet alle benötigten Funktionen für Starten, Durchführen, Testen und Service des Projekts. Bei STEP 7 kann man die Programmiersprachen SFC, LAD, STL, FBD auswählen. <sup>[1]</sup>

### **1.3 Zielstellung der Arbeit**

Mit Hilfe von Siemens S7-300/CPU315-2DP soll ein Plattentransportsystem aufgebaut werden. Und durch dieses Plattentransportsystem kann man nach den Anforderungen drei Gleichstrommotoren kontrollieren, um starten und stoppen zu können. In vorgegebener Zeit transportieren drei Gleichstrommotoren eine Platte von einem festen Platz bis zu einem anderem beliebigen Platz in einem Schrank. Die einfachste Weise ist, dass man mithilfe des I/O-Moduls von S7-300 direkt den Start und das Stoppen der Motoren steuern kann. Aber CPU315-2DP kann nicht direkt den Puls aus dem Encoder neben dem Motor lesen. CPU315-2DP hat kein hohes Zählmodul, um viel Puls zu erkennen. Deshalb braucht man auch ein Funktionsmodul FM357-2 für die exakte Positionierung des Motors. Die CPU wird mit einem Servoregler verbunden. Und dieser steuert direkt die Motoren. Die Schwierigkeit für dieses Projekt ist, dass aus den Einflüssen von Versorgungsspannung und Moment die reale Drehzahl des Motors eine Abweichung mit theoretischer Drehzahl des Motors hat. Außerdem wird das gesamte System eine Antwortverzögerung sein. Dazu musste in letzter Zeit viel Arbeit für die Korrektur des Systems aufgewendet werden.

### **1.4 Design-Ideen des Plattentransportsystems**

Der Gleichstrommotor arbeitet als ein Aktor. Und er wird von einem Servoregler direkt angetrieben und gesteuert. Dieser Servoregler ist der Ausgang und empfängt die analoge Größe und das Impulssignal aus dem SPS-System. Das SPS-System ist die Steuerzentrale. Der Encoder am Gleichstrommotor gibt das Impulssignal über die Motordrehzahl aus und koppelt weiter bei SPS zurück. Das SPS-System, ggf. mit Funktionsmodul, kann die Positionssteuerung durchführen und der Servoregler kann die Drehzahl des Motors steuern. Das ganze System ist geschlossen.

## 2 Die Grundeigenschaften des Gleichstrommotors

### 2.1 Die Grundkonfiguration des Gleichstrommotors

Anhand seiner Struktur besteht der DC-Motor aus dem Rotor und dem Stator. Der Stator des Motors wird hauptsächlich verwendet, um den Magnetfluss zu erzeugen und es erfolgt eine mechanische Unterstützung des Motors. Der Rotor wird in der Regel Anker genannt. Er kann induktives Potential und das magnetische Moment erzeugen. Im Folgenden werden die Hauptkomponenten von Stator und Rotor vorgestellt.

#### 2.1.1 Der Stator des Gleichstrommotors

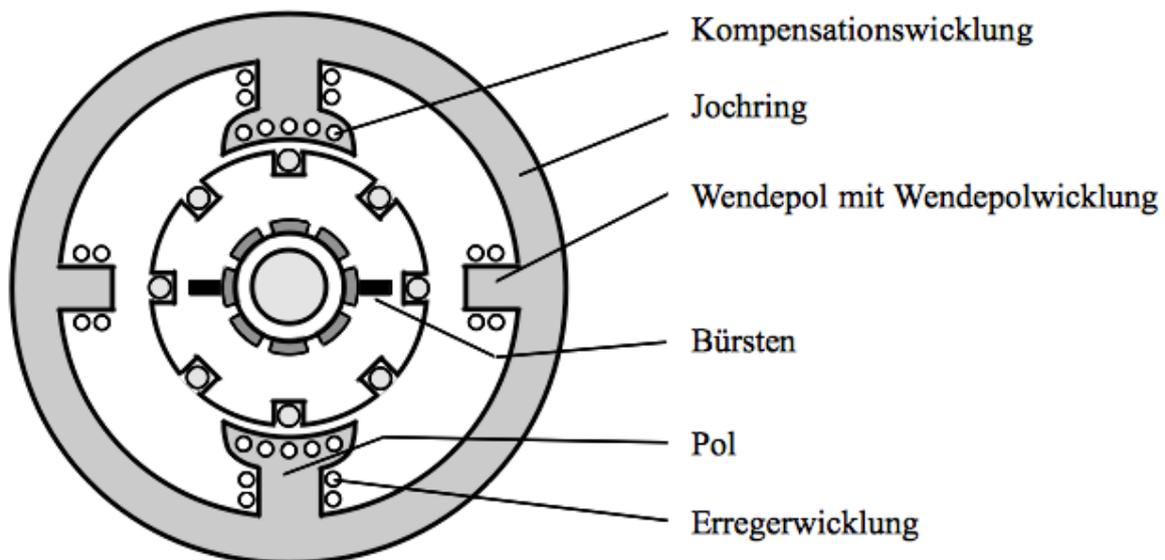


Abbildung 1: Komponenten des Stators

Quelle: <http://elektronik-kurs.net/elektrotechnik/gleichstrommotor/> (01.06.2017, 14:00 Uhr)

Der Stator besteht aus Erregerwicklung, Pol, Bürsten, Wendepol mit Wendepolwicklung, Jochring und Kompensationswicklung.

Pol und Erregerwicklung erzeugen den Magnetfluss. Die Magnetflussdichte auf der Oberfläche der Anker wird nach einer bestimmten räumlichen Wellenform verteilt. Bürsten arbeiten für die Verbindung zwischen den drehenden Ankerkreisen und der externen Schaltung. Es ist stationär. Und die Zahlen der Bürsten ist normalerweise gleich mit den Zahlen der Magnetpole.

Wendepol mit Wendepolwicklung hat eine ähnliche Struktur wie der Magnetpol. Seine Funktion ist es, die Wende zu verbessern und den Funken zwischen dem Kommutator und den Bürsten zu beseitigen. Der Jochring arbeitet nicht nur als mechanische Unterstützung, sondern auch als magnetischer Kanal zwischen den Magnetpolen. Die Kompensationswicklung wird mit der Ankerwicklung in Reihe verbunden, um jederzeit zu gewährleisten, dass der Anker die magnetomotorische Kraft in jedem Lastzustand aufhebt, wodurch die Verzerrung durch den Ankerrückwirkungsmagnetluftspalt verursacht wird.

## 2.1.2 Der Rotor des Gleichstrommotors

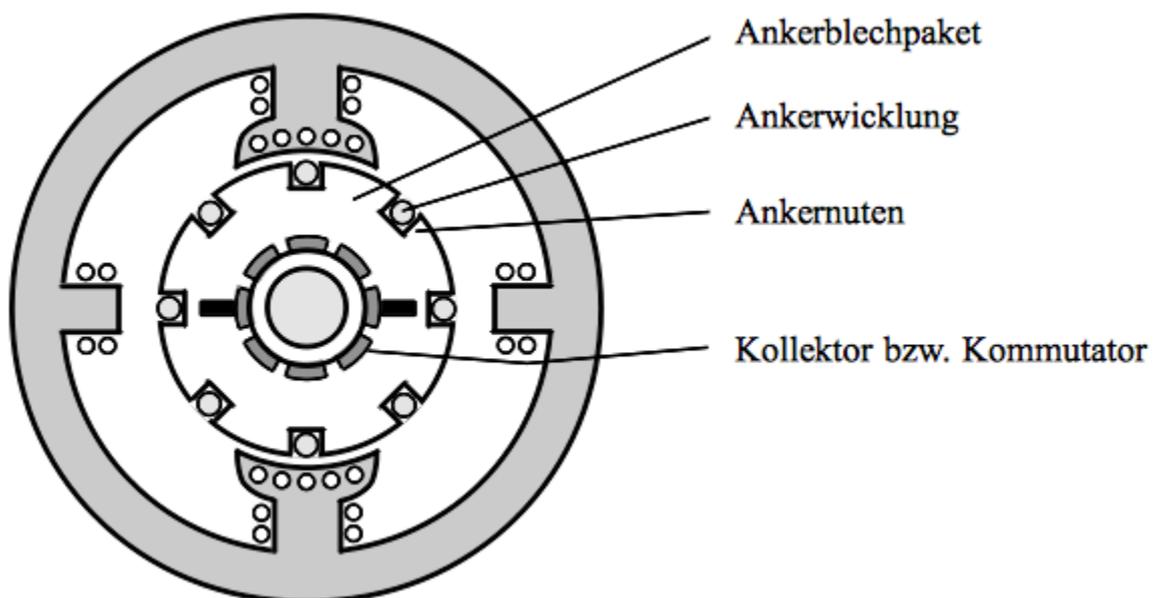


Abbildung 2: Komponenten des Rotors

Quelle: <http://elektronik-kurs.net/elektrotechnik/gleichstrommotor/> (02.06.2017, 15:20 Uhr)

Im Rotor sind folgende Komponenten enthalten:

- Ankerblechpaket
- Ankerwicklung
- Ankernuten
- Kollektor

Das Ankerblechpaket ist ein Teil des Hauptmagnetkreises. Normalerweise besteht es aus Siliziumstahlblech, um den Magnetverlust zu reduzieren. Die Ankerwicklung ist der Hauptstromkreis des DC-Motors. Wenn sich der Anker in dem Magnetfeld dreht, produziert die Ankerwicklung die induzierte elektromotorische Kraft. Wenn der Strom durch die Ankerwicklung fließt,

erzeugt die Ankerwicklung im Magnetfeld ein magnetisches Moment. Der Kommutator wandelt den Eingangsgleichstrom in Wechselstrom in den Ankerwicklungen um. Und es wird ein magnetisches Moment mit konstanter Richtung erzeugt.

## 2.2 Prinzipielle Arbeitsweise eines Gleichstrommotors

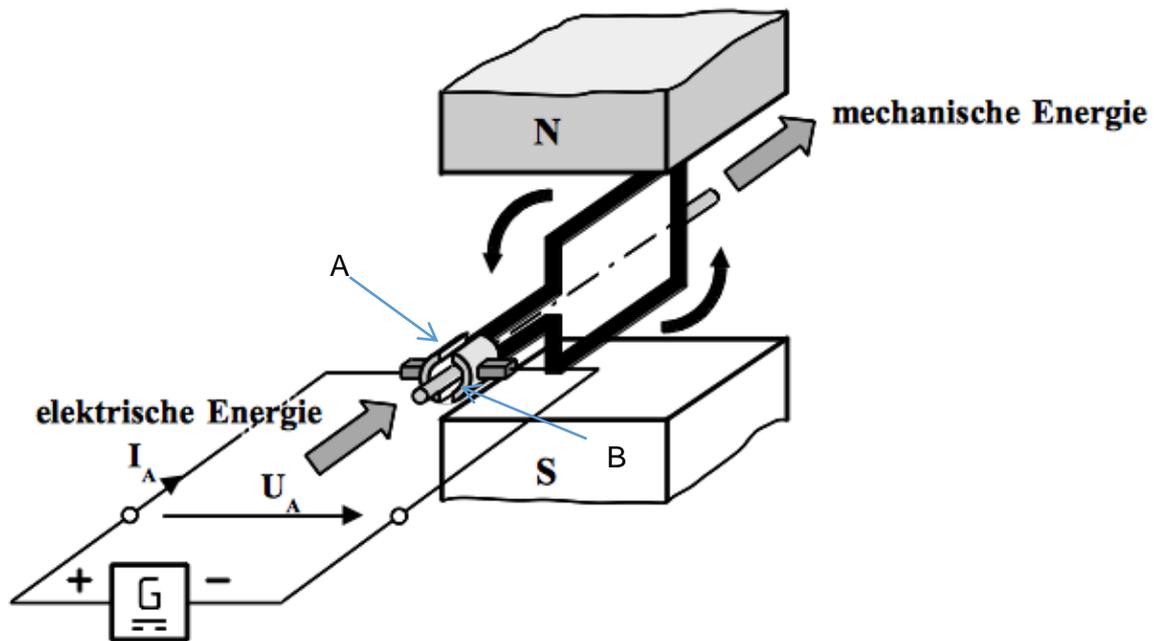


Abbildung 3: Prinzipielle Arbeitsweise eines DC-Motors

Quelle: <http://elektronik-kurs.net/elektrotechnik/gleichstrommotor/> (04.06.2017, 14:30 Uhr)

Anhand der Abbildung 3 kann man sehen, dass der Strom von Kollektor A nach Kollektor B im Uhrzeigersinn fließt. Nach dem elektromagnetischen Kraftgesetz wirkt die elektromagnetische Kraft auf den stromführenden Leiter ein. Nach der Links-Regel dreht sich der Rotor gegen den Uhrzeigersinn. Wenn sich der Rotor gegen den Uhrzeigersinn um 90 Grad dreht, fließt der Strom in dieser Zeit von Kollektor B nach Kollektor A. Nach der Links-Regel dreht sich der Rotor in dieser Zeit weiter gegen den Uhrzeigersinn. Das ist die prinzipielle Wirkungsweise des Gleichstrommotors. Die externe Stromquelle ist eine DC. Aber wegen der Wirkung der Bürsten und des Kollektors ist der Strom eine AC im drehenden Rotor. Dazu ist die Richtung des Drehmoments unveränderlich.

Der tatsächliche Rotor des Gleichstrommotors ist durch eine Vielzahl von Ankerwicklungen verbunden, um die elektromagnetische Drehmomentschwankung des Motors zu verringern.

## 2.3 Mathematisches Modell des Gleichstrommotors

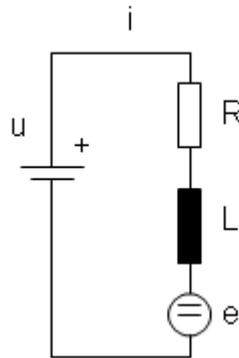


Abbildung 4: Ersatzschaltbild eines Gleichstrommotors

Quelle: [http://www.kramann.info/64\\_Regelungssysteme/05\\_Regleroptimierung/06\\_Gleichstrommotor/index.php](http://www.kramann.info/64_Regelungssysteme/05_Regleroptimierung/06_Gleichstrommotor/index.php) (04.06.2017, 19:15 Uhr)

Aus dem oberen Ersatzschaltbild ergibt sich die ausgleichende Spannungsgleichung ergeben:

$$U = R \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt} + E \quad \text{mit } E = K_e \cdot \Omega \quad \text{Formel (2.3.1)}$$

- U Versorgungsspannung
- R Widerstand des Ankers
- I Strom des Ankers
- L Induktion des Ankers
- E Gegen-Elektromotorische Kraft des Ankers
- $K_e$  Konstante der Gegen-Elektromotorischen Kraft
- $\Omega$  Winkelgeschwindigkeit

Und man kann auch die ausgleichende Momentgleichung erhalten:

$$J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = T_e - T_L - K_D \cdot \Omega \quad \text{mit } T_e = K_t \cdot I \quad \text{Formel (2.3.2)}$$

- J Trägheitsmoment
- $T_e$  Elektromagnetisches Drehmoment
- $T_L$  Lastmoment
- $K_D$  Dämpfungskoeffizient des Drehteils
- $K_t$  Konstantes elektromagnetisches Drehmoment

Die obigen Gleichungen werden nach der Laplace-Transformation umgewandelt. Dann ergeben sich folgende Funktionen:

$$U(s) = RI(s) + L \cdot S \cdot I(s) + E(s) \quad \text{Formel (2.3.3)}$$

$$E(s) = K_e \cdot \Omega(s)$$

$$J \cdot S \cdot \Omega(s) = T_e(s) - T_L(s) - K_D \cdot S \cdot \Omega(s)$$

$$T_e(s) = K_t \cdot I(s)$$

Dann kann man mithilfe der obigen Gleichungen ein Blockbild darstellen:

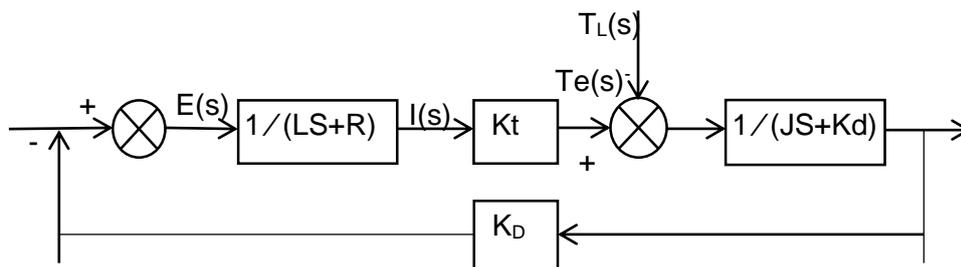


Abbildung 5: Mathematisches Modell des Gleichstrommotors

Quelle: Eigene Abbildung

### 3 Steuerung zur Drehzahl des Gleichstrommotors

Bei der tatsächlichen Produktion muss die Drehzahl des Motors nach dem Anspruch eingestellt werden. Durch Änderung der Parameter des Motors kann man unterschiedliche Drehzahlen erhalten. Die Drehzahl des Motors bestimmt durch den Schnittpunkt nämlich Arbeitspunkt der mechanischen Eigenschaften und die mechanischen Eigenschaften der Motorlast. Die Gleichung der Drehzahl des Gleichstrommotor lautet:

$$n = (U - IR) / K\phi \quad \text{Formel (3.1)}$$

U Ankerspannung

I Ankerstrom

R Widerstand am Ankerkreis

K Maschinenkonstante

$\Phi$  Magnetischer Durchfluss pro Pol

Aus obiger Gleichung ergeben sich die Informationen, dass die Drehzahl des Motors durch die Veränderung der Ankerspannung, des Widerstandes am Ankerkreis und des magnetischen Durchflusses pro Pol eingestellt werden kann.

### 3.1 Die Änderung des Widerstandes

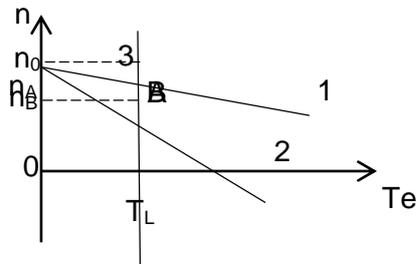


Abbildung 6: Einstellung der Drehzahl

Quelle: Eigene Abbildung

Wenn ein Motor mit höchster Leistung arbeitet, hat seine mechanische Linie 1 einen Schnittpunkt A mit Last Linie 3. In dieser Zeit arbeitet der Motor mit Drehzahl  $n_A$ . Wenn ein Widerstand in Reihe in Ankerkreise eingesetzt wird, verändert sich die mechanische Linie des Motors bis Linie 2. Dann ist es der Schnittpunkt B. Der Motor dreht sich von  $n_A$  bis  $n_B$ . Die Einstellung der Drehzahl wird künstlich realisiert.

Aber diese Arbeitsweise des Motors hat eine schlechte Glätteeigenschaft und Leistung zur Folge.

### 3.2 Die Änderung des magnetischen Durchflusses

Aus der Gleichung  $n=(U-IR)/K\phi$  ergibt sich, dass sich durch die Verringerung des magnetischen Durchflusses die Drehzahl des Motors erhöhen kann. Diese Art der Verringerung des magnetischen Durchflusses hat auch viele Nachteile:

- Langsame Dynamic Response
- Kleiner Drehzahlbereich

Bei der tatsächlichen Produktion wird das Verfahren des magnetischen Flusses selten zur Reduzierung verwendet. Manchmal werden beide Verfahren auch zur Reduzierung der Spannung zusammen eingesetzt, um die Zwei-Wege-Drehzahlregelung zu realisieren und um den Einstellbereich der Drehzahl zu vergrößern.

### 3.3 Die Änderung der Ankerspannung

Aus der mechanischen Gleichung  $n = U / (C_e \cdot \phi) - R \cdot T_e / (C_e \cdot C_T \cdot \phi^2)$  ergibt sich die Information, wenn Widerstand und magnetischer Durchfluss konstant sind, wird die Drehzahl  $n$  von der Spannung gesteuert.

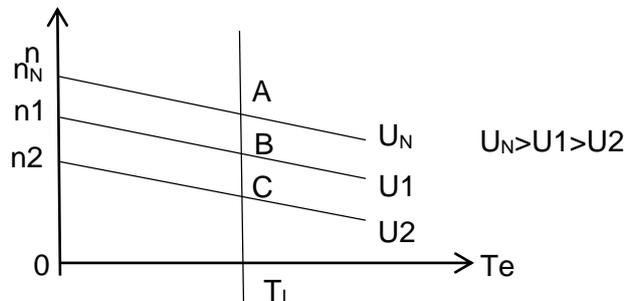


Abbildung 7: Drehzahlstellung durch die Verringerung der Ankerspannung

Quelle: Eigene Abbildung

Die obige Abbildung zeigt die mechanischen Eigenschaften für die Drehzahlstellung durch die Verringerung der Ankerspannung. Unter der Nennspannung arbeitet der DC-Motor. A ist der Arbeitspunkt und die Drehzahl ist  $n_N$ . Von  $U_N$  bis  $U2$  verringert sich die Ankerspannung. Dazu ist die Drehzahl immer kleiner. Gleichzeitig verändert sich der Arbeitspunkt von A bis C. Wenn die Ankerspannung kontinuierlich einstellbar ist, ist es möglich, eine kontinuierliche Veränderung der Drehzahl zu erhalten.

Um die Ankerspannung zu ändern, gibt es drei Möglichkeiten, nämlich rotierende AC-Einheit, stationäre AC-Einheit und PWM.

Die rotierende AC-Einheit besteht aus AC-Motor und DC-Generator, um eine einstellbare Spannung zu bekommen. Dieses System wird auf der ganzen Welt als Ward Leonard System bezeichnet. Dies ist das erste variable Spannungssteuersystem. Und es besitzt gute Fähigkeiten, die Drehzahl zu steuern. Aber dieses System ist komplex. Es hat ein großes Volumen und auch eine niedrige Leistung. Dann gilt es, dieses System wesentlich zu verbessern.

1950 entwickelte man die stationäre AC-Einheit mit Hilfe eines Thyristors, um die rotierende AC-Einheit zu ersetzen. Diese Anlage ist wirtschaftlich und zuverlässig. Man nennt es auch stationäres Ward Leonard System. Der Winkel für die Berechnung des Zündzeitpunktes des Thyristors wird durch Änderung der Steuerspannung verändert. Dadurch wird die Stärke der gleichgerichteten Spannung verändert, um die Einstellung der Drehzahl des DC-Motors zu realisieren. Dieses System hat viele Vorteile für die Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit. <sup>[2]</sup>

Der PWM-Regler wird auch DC-Chopper genannt. Durch das Ausschalten und Einschalten des Leistungsschalters kann die Steuerung realisiert werden. Er kann das Verhältnis der Aus-/Ein-Zeit einstellen und die ständige Gleichspannung in steuerbarer Spannung umwandeln. Man kann den PWM-Regler auch die DC-DC-Wandlung nennen. Durch PWM kann die Ankerspannung steuert werden, um die Drehzahl einzustellen. PWM wird heute verbreitet für die Steuerung des Gleichstrommotors verwendet.

## **4 PWM-Controller für den Gleichstrommotor**

### **4.1 Einführung über PWM Controller**

Die Drehzahl des Gleichstrommotors ist einfach zu steuern. Und die Leistung seines Einschaltens und Stoppens ist gut. Wegen der Vorteile wird der DC-Motor in der Industrie, z. B. in der mechanischen Produktion, verbreitet verwendet. Es gibt zwei überwiegende Steuerungsweisen für die Drehzahl des Gleichstrommotors, nämlich Ankerspannungssteuerung und Erregungssteuerung. Die Ankerspannungssteuerung ist häufig zu benutzen. Mit dem Fortschritt der Leistungstechnik wurden viele Arten für die Ankerspannungssteuerung entwickelt. PWM ist eine der wichtigsten Methoden.

PWM ist die Abkürzung von Pulse-width-Modulation. Durch die Schaltfrequenzsteuerung der DC-Stromversorgung der konstanten Spannung kann PWM die Lastspannung ändern. Im PWM-System wird die Stromversorgung unter konstanter Frequenz eingeschaltet und ausgeschaltet. Nach den Anforderungen werden die Teile der Ein- und Ausschaltzeiten innerhalb eines Zeitraums geändert. Durch die Veränderung des Tastverhältnisses der Ankerspannung des DC-Motors kann die Größe der mittleren Spannung gesteuert werden. Daraufhin kann man die Drehzahl des DC-Motors regeln.

Die Gründe für die Auswahl des PWM-Systems werden wie folgt genannt beschrieben:

- Einfache Hauptkreise des PWM-Systems und wenige benötigte Leistungsgeräte
- Hohe Frequenz des Ein- und Ausschaltens und kontinuierlicher Strom
- Breiter Bereich zur Steuerung der Drehzahl und gute Low-Speed-Fähigkeit
- Hoher Wirkungsgrad

## 4.2 Zusammensetzung des PWM-Systems für den Gleichstrommotor

Der Servoregler hat normalerweise zwei Befehlsmodi, nämlich den digitalen Puls und das analoge Signal. Ein digitaler Servoregler funktioniert in der Betriebsart Lageregelung. Die Vorteile von digitalen Servoreglern sind einfaches System-Debugging und Carry-Interferenz. Der Nachteil ist die langsame Reaktion des Servosystems. Unter dem analogen Signal sendet das Motion-Control-System einen analogen Spannungsbefehl +/- 10 V zum analogen Servoregler. Gleichzeitig empfängt der analoge Servoregler die Stellungsrückmeldung aus dem Encoder des Gleichstrommotors. Der Servoregler arbeitet in einem Geschwindigkeitssteuermodus. Der geschlossene Regelkreis für die Position wird von dem Motion-Control-System gesteuert. Der Vorteil des analogen Servoreglers ist die schnelle Reaktion des Servosystems. Aber die Nachteile sind das komplexe System-Debugging und die hohe Empfindlichkeit gegenüber Störungen.

### 4.2.1 4Q-PWM-Servoregler



Abbildung 8: 4Q-PWM-Servoregler

Quelle: <https://www.mattke.de/MTRG-25-2E-MTRG-25-2D.81.0.html> (15.05.2017, 13:45 Uhr)

Der analoge Servoregler wie in der obigen Abbildung 8 wurde ausgewählt für dieses Projekt. Der Transistor-Verstärker MTRG 25/2 funktioniert für die Pulsbreitenmodulation im Europakarten-format. 4Q bedeutet Vierquadrante. Das heißt, dass der Gleichstrommotor in beiden Richtungen antreiben sowie bremsen kann. Dieser Verstärker wird von einer Gleichspannung oder

über einen Transistor versorgt. Die Nennausgangsspannung ist 24 V und der Ausgangsdauerstrom ist 2 A.

Diese Geräte haben überwiegend folgende Vorzüge:

- Keine Hilfsspannung notwendig
- Hoher Wirkungsgrad durch Taktendstufe
- Strombegrenzung mittels externer Spannung 0.....10 V
- 1 oder 2 unabhängige Regler auf einer Europakarte

#### 4.2.2 Regelprinzip des 4Q-PWM-Servoreglers

Dieser analoge Servoregler funktioniert nach dem Prinzip der Drehzahlregelung mit folgendem Stromregelkreis:

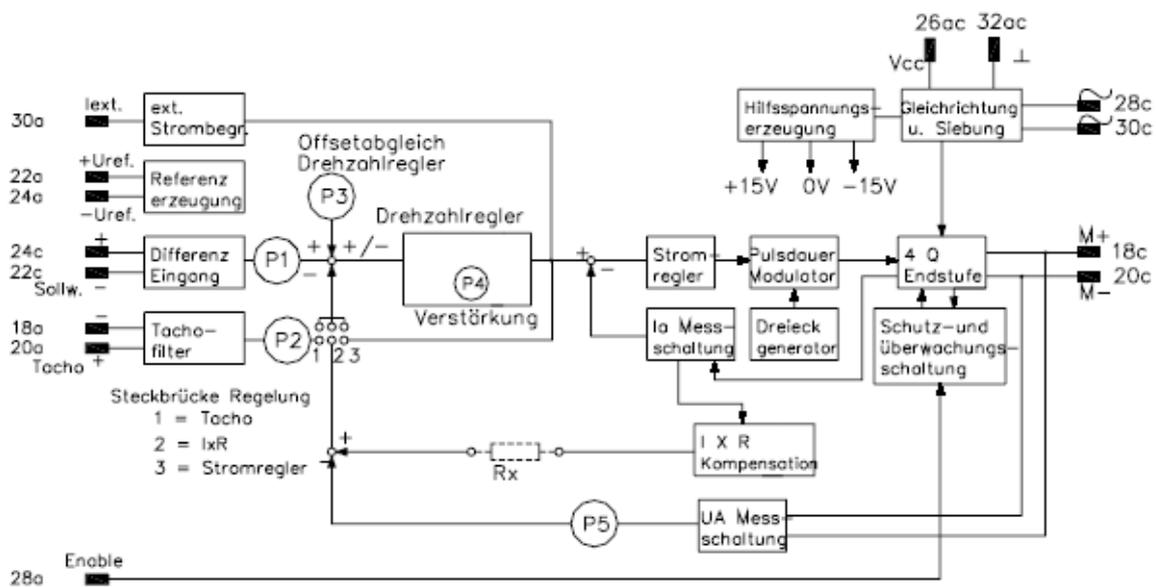


Abbildung 9: Stromregelkreis des Servoreglers

Quelle: <https://www.mattke.de/Servoregler.176.0.html>, Gespeichert als: mtrg 25\_2d\_e.pdf

Der Stromkreis besteht aus Stromregler, Pulsdauer Modulator, Verstärker Endstufe und Messschaltung. Am Ausgang der Endstufe wird der Strom-Istwert ermittelt und weiter auf den Summierpunkt zurückgekoppelt. Der Drehzahlregler erzeugt den Strom-Sollwert. Durch den Vergleich von Soll- und Istwert wird die Differenz dem Stromregler zurückgemeldet. Über den Drehzahlregelkreis gibt es normalerweise Stromregelkreis, Drehzahlregelkreis und Motor.

Man kann den Drehzahlsollwert z. B. mit dem Potentiometer vorgeben. Der Drehzahl-Istwert wird direkt, z. B. durch einen Encoder, neben dem Motor ermittelt. Am ersten Summierpunkt wird der Drehzahl-Istwert mit dem Drehzahl-Sollwert verglichen. Der somit errechnete Wert ist die Eingangsgröße des Drehregelkreises.

Dieses Regelprinzip hat einige Vorteile:

- Einfache realisierbare Strombegrenzung
- Schutz für Motor und Verstärker

### 4.4.3 Steckerbelegung des 4Q-PWM-Servoreglers

Für diesen 4Q-PWM-Servoregler gibt es 32 Stecker. In dem folgenden Abschnitt werden sie genau dargestellt.

32 POL-DIN-41612 Bauform D-MALE

- 2a: Tacho –
- 2c: Motor +
- 4a: Tacho +
- 4c: Motor -
- 6a: +10 V Referenzspannung
- 6c: Sollwerteingang invertierend
- 8a: -10 V Referenzspannung
- 8c: Sollwerteingang nicht invertierend
- 10a: Versorgungsspannung max.33 V DC
- 10c: Versorgungsspannung max.33 V DC
- 12a: Enable (bei Verbindung mit Masse)
- 12c: Wechselspannungsversorgung max.22 V AC (max.22.5 V AC)
- 14a: Strombegrenzungseingang 0-10 V
- 14c: Wechselspannungsversorgung max.22 V AC (max.22.5 V AC)
- 16a: Leistungsmasse
- 16c: Leistungsmasse
- 18a: Tacho –
- 18c: Motor +
- 20a: Tacho +
- 20c: Motor -
- 22a: +10 V Referenzspannung
- 22c: Sollwerteingang invertierend
- 24a: -10 V Referenzspannung
- 24c: Sollwerteingang nicht invertierend
- 26a: Versorgungsspannung max.33 V DC
- 26c: Versorgungsspannung max.33 V DC
- 28a: Enable
- 28c: Wechselspannungsversorgung max.22 V AC (max.22.5 V AC)
- 30a: Strombegrenzungseingang 0-10 V
- 30c: Wechselspannungsversorgung max.22 V AC (max.22.5 V AC)
- 32a: Leistungsmasse
- 32c: Leistungsmasse

Der 4Q-PWM-Servoregler hat die Funktion für zwei Verstärker. Verstärker 1 umfasst die Anschlüsse 18-32. Verstärker 2 umfasst die Anschlüsse 20-32. Nicht alle Steckerbelegungen werden für ein Projekt verwendet. Über einige wichtige Steckerbelegungen folgen nun weitere Erläuterungen und Ausführungen.

### Motoranschlüsse (2c 4c, 18c 20c)

Diese vier Anschlüsse werden an den Gleichstrommotor angeschlossen. Gleichzeitig sind sie die Ausgänge der Endstufe des Verstärkers. Wenn der positive Anschluss des Motors an die Klemme 2c bzw.18c und der negative Anschluss des Motors an die Klemme 4c bzw.20c angeschlossen werden, dann dreht sich der Motor in die definierte positive Richtung. Sonst dreht sich der Motor in die definierte negative Richtung.

### Tachoanschlüsse (2a 4a, 18a 20a)

Diese vier Anschlüsse funktionieren als Verbindung mit dem Gleichspannungs-Tachogenerator, um die Drehzahl des Motors zurückzumelden. Um die Nennausgangsspannung zu erreichen, sollte die Tachospaltung innerhalb von 12V bis 73V betragen.

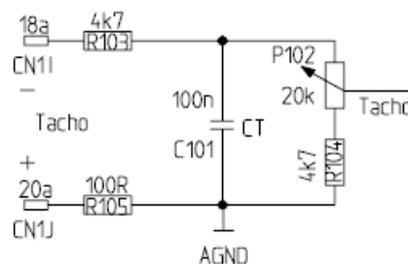


Abbildung 10: Darstellung des Tachos

Quelle: <https://www.mattke.de/Servoregler.176.0.html>, Gespeichert als: mtrg 25\_2d\_e.pdf

### Sollwertanschlüsse (6c 8c, 22c 24c)

Solche Anschlüsse sind die Eingänge des Differenzverstärkers, um den Parameter des Drehzahl Sollwerts des Motors vorzugeben. Die Anschlüsse 8c bzw. 24c funktionieren als positiver Pol gegenüber 6c bzw. 22c. Die Differenzspannung soll mit +/- 10 V DC eingegeben werden.

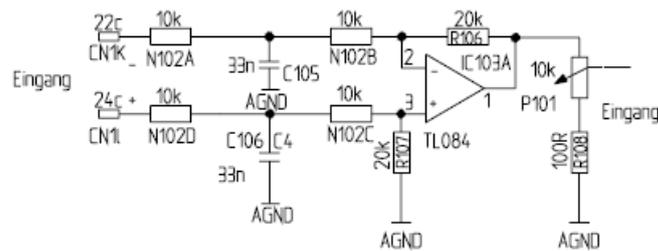


Abbildung 11: Die Schaltung des Sollwertanschlusses

Quelle: <https://www.mattke.de/Servoregler.176.0.html>, Gespeichert als: mtrg 25\_2d\_e.pdf

### Referenzspannungsanschlüsse (6a 8a, 22a 24a)

Die Anschlüsse 6a und 22a zeigen +10 V Referenzspannung an. Für die Referenzspannungsausgänge wird beiden Anschlüssen eine positive Spannung zur Verfügung gestellt. Die Ausgänge können die Vorgabe des Sollwerts an einem Potentiometer für Strom und Drehzahl ausreichen.

Auf der Gegenseite werden die Anschlüsse 8a und 24a mit einer negativen Spannung von -10 V versorgt. Sie sind der negative Sollwert, um die Motordrehzahl zu erzeugen. Die vier Anschlüsse dürfen mit max. 3 mA belastet werden.

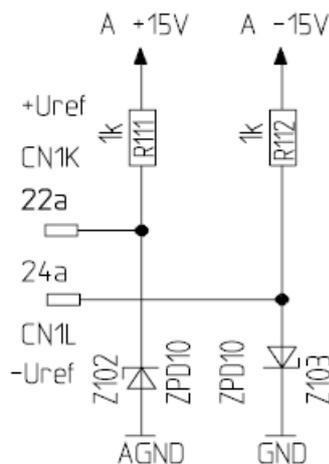


Abbildung 12: Schaltung der Referenzspannungsanschlüsse

Quelle : <https://www.mattke.de/Servoregler.176.0.html>, Gespeichert als: mtrg 25\_2d\_e.pdf

## Gleichspannungsversorgung (10a 10c, 26a 26c) (16a 16c, 32a 32c)

Wenn der 4Q-PWM-Servoregler mit Gleichspannungsversorgung verbunden werden soll, werden die vier Anschlüsse benutzt. Die Anschlüsse 10a, c und 26a, c werden mit dem positiven Pol der Gleichspannungsversorgung angeschlossen. Und die Anschlüsse 16a, c und 32a, c werden mit dem negativen Pol angeschlossen. Die Gleichspannung versorgt den Motor mit einer Spannung von 20 V DC bis 33 V DC.

Wenn es notwendig ist, unterschiedliche Geräte masseseitig miteinander zu verbinden, werden die Klemmen 16a,c und 32a,c auch benutzt.

## Enable (12a 28a)

Für die Geräte sind Anschlüsse von 0 V notwendig, um diese zu erden. Wenn der Eingang offen ist, gibt es beim Motor keinen Stromdurchfluss. <sup>[3]</sup>

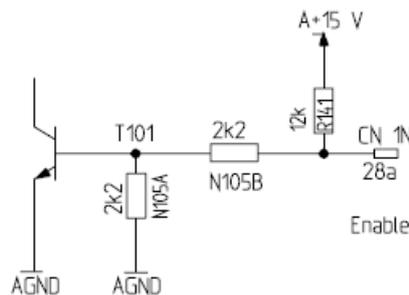


Abbildung 13: Darstellung des Enable

Quelle: <https://www.mattke.de/Servoregler.176.0.html>, Gespeichert als: mtrg 25\_2d\_e.pdf

Der Servoregler, der Servoverstärker heißt, ist ein wichtiges Teil für das ganze Steuerungssystem. Als Ausgang kann der Servoregler direkt die Gleichstrommotoren kontrollieren. Durch die Steuerung der Ankerspannung des Motors steuert der Servoregler die Drehzahl und Antriebsdrehmoment des Motors. Das ist die oft genutzte Weise zur Steuerung des Gleichstrommotors. Normalerweise hat der Servoregler zwei Eingangssignale, nämlich die analoge Größe und das Impulssignal. Die analoge Größe ist auch die Spannung. Beispielsweise liegt der Bereich der Eingangsspannung von -10 V bis 10 V. -10 V bedeutet die minimale Drehzahl für den Gleichstrommotor. 0 V bedeutet keine Drehzahl für den Gleichstrommotor. Und 10 V bedeutet die maximale Drehzahl für den Gleichstrommotor. Das Impulssignal kommt aus SPS oder vom

Funktionsmodul. Die Frequenz des Impulssignals bestimmt die Drehzahl des Gleichstrommotors. Das Servosystem ist geschlossen. Deshalb kann es genau die Motordrehzahl steuern.

## 5 Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)

### 5.1 Einführung in die SPS

Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) ist heute der hauptsächlichste Gerätetyp, um die Automatisierungsaufgaben zu lösen. Nach der VDI-Richtung 2880 wird die speicherprogrammierbare Steuerung wie folgt definiert: Speicherprogrammierbare Automatisierungsgeräte mit anwenderorientierter Programmiersprache, die mit Schwerpunkt zum Steuern eingesetzt werden. SPS hat einen programmierbaren Speicher, indem die logische Operation, die Ablaufsteuerung, das Timing, die Zahlen usw. durchgeführt werden. In einigen Ländern, z. B. in China, nennt man diese Steuerung PLC (Programmable Logic Controller).

Das traditionelle Relais hat viele Nachteile, z. B. ein großes Volumen, ist schwer umgestaltbar und ist sehr schlechte Zuverlässigkeit. Dazu wurde SPS 1968 von Fa. General Motors (USA) entwickelt. Der Ingenieur hoffte, dass dieser Steuerungstyp speicherprogrammierbare, verbindungsprogrammierte Kontakt- oder Elektroniksteuerungen besitzen sollte, um das traditionelle Relais zu ersetzen. Mit der Entwicklung der Halbleitertechnologie gab es die Möglichkeit, die Anforderung für SPS zu erreichen. 1974 wurde die erste SPS in Deutschland entwickelt. 1980 wurde der Mikroprozessor für die speicherprogrammierbare Steuerung entwickelt. Über die Jahre hat der Hersteller einen internationalen Standard geschaffen, der heute noch akzeptiert wird.<sup>[4]</sup>

### 5.2 Hardware einer SPS



Abbildung 14: Aufbau einer SIMATIC S7-300

Quelle: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/53814828/sitrain-trainings-for-si-matic-s7-300-400?dti=0&lc=en-WW> (06.06.2017, 14:40 Uhr)

Die speicherprogrammierbare Steuerung SPS ist heute die am Häufigsten verwendete Hardware-Plattform für die Steuerungstechnik. Anhand der Abbildung 14 kann man sehen, dass SIMATIC S7-300 die Modulkonstruktion hat, die kompakt ist und keine Slot-Einschränkungen hat. Power Modul (PS), CPU Modul, Signal Modul (SM), Funktionsmodul (FM) und Anschlussmodul (I/O) können auf eine DIN Standardschiene montiert werden. Im einfachsten Fall besteht SPS aus Power Module, CPU Module und digitalen Eingangs- und Ausgangsbaugruppen sowie einem internen Bussystem. Bei Bedarf können auch einige spezielle Baugruppen, z. B. Funktionsmodule, Zähler und Regler usw. montiert werden. Jede Schiene kann bis zu acht Signalmodule, Funktionsmodule oder Kommunikationsprozessormodule aufnehmen. Als modulare Systeme ist die speicherprogrammierbare Steuerung geeignet für verschiedene Anforderungsniveaus. <sup>[5]</sup>

## **CPU**

CPU besteht aus Steuerwerk, Rechner und Register. Und sie werden in einen Chip integriert. Durch den Datenbus, Adressbus, Steuerbus und Power-Bus wird die CPU mit Speicher, I/O Anschlüssen, Stromversorgung und Programmgeräten verbunden.

## **Speicher**

Das Systemprogramm, das Anwenderprogramm und die Daten werden in Speicher gespeichert. Der Speicher enthält den Systemspeicherbereich (ROM, EPROM, FLASH, E2ROM) und den Anwenderspeicherbereich (RAM).

## **I/O Anschlüsse**

Die I/O Anschlüsse arbeiten, um die SPS mit Feldsteuerung, Aktoren oder Sensoren anzuschließen. Die Input-Anschlüsse der SPS erfassen die verschiedenen Steuerungssignale aus der Feldsteuerung oder den Sensoren. Durch die Schaltung der Input-Anschlüsse werden solche Steuerungssignale in die Signale umgewandelt, die die CPU akzeptieren und bearbeiten kann. Output-Anschlüsse haben verschiedene Arten, z. B. Transistorausgang oder Relaisausgang. Die Schaltung der Output-Anschlüsse kann das schwache Steuerungssignal aus der CPU in ein starkes Steuerungssignal für die Feldsteuerung umwandeln, um den Schaltschutz oder das Magnetventil anzutreiben.

## Stromversorgung (PS)

PS der SPS versorgt die Energie für die integrierte Schaltung von verschiedenen Modulen. Normalerweise gibt es zwei unterschiedliche Stromversorgungen, nämlich 220 V AC und 24 V DC.

## Programmierer

Mit Hilfe des Programmierers kann der Benutzer programmieren und die Daten weiter in die CPU laden. An dem Programmierer kann der Benutzer auch das Programm prüfen und korrigieren. Und der Durchführungsprozess des Programms wird auch am Programmierer überwacht. Außerdem werden der SPS-Status und die Parameter der internen Komponenten und des Systems am Programmierer angezeigt. [6]

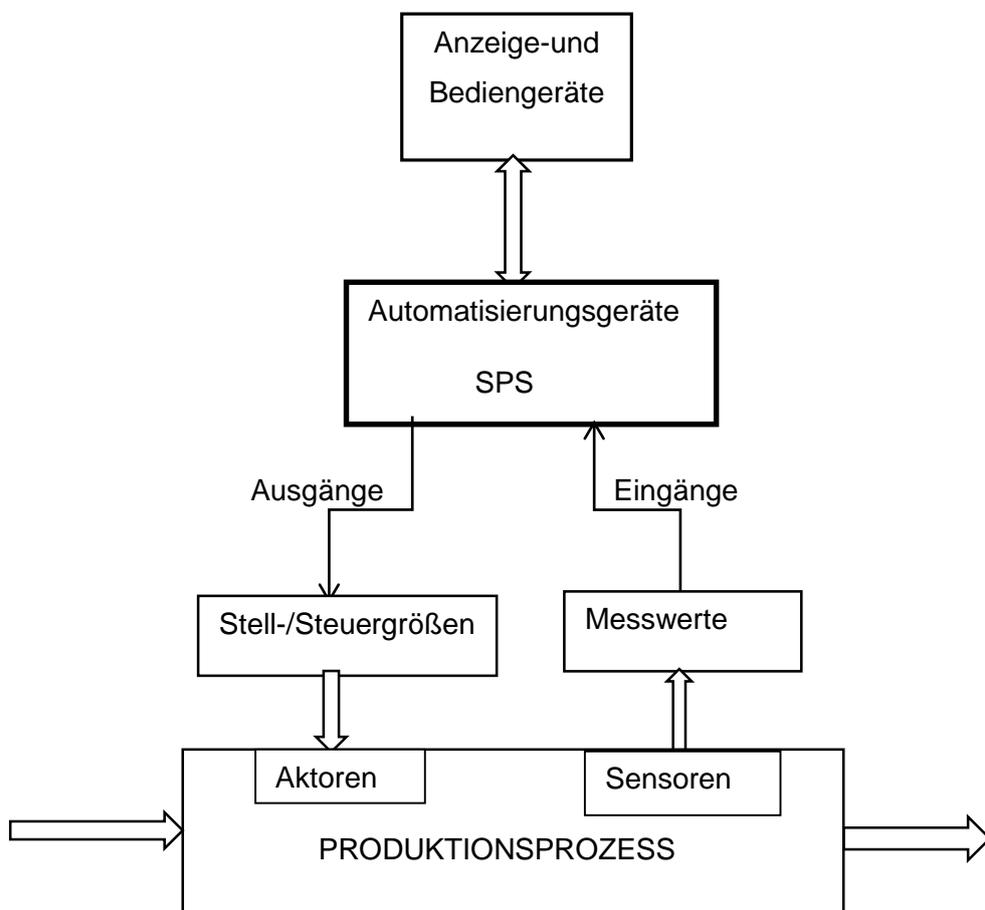


Abbildung 15: Automatisierungsstruktur mit SPS

Quelle: SPS Programmierung nach IEC 61131-3, Heinrich Lepers

Bei einer typischen Automatisierungsstruktur werden Prozesssignale mit Sensoren erfasst. Die Messwerte werden in SPS rückgekoppelt und weiter als Eingänge gezeichnet. Als Ausgänge werden die Stell-/Steuergröße mit Aktoren weitergegeben. Die Ein- und Ausgänge werden parallel an Signalmodule einer SPS gekoppelt. [7]

## **6 Hardware Konfiguration für S7-300 in Step 7**

Step 7 ist eine Programmsoftware der Firma Siemens. Und es ist der wichtigste Teil des SIMATIC Programms. Step 7 hat folgende Funktionen bzw. Charakter:

- Hardwarekonfiguration
- Parametereinstellung
- Kommunikationskonfiguration
- Programmierung
- Testen
- Starten und Pflegen
- Dateiarchivierung
- Operation und Diagnose

In Software Step 7 werden Hardware und Software eines Automatisierungssystems mit einem Projekt verwaltet. Mit Hilfe des SIMATIC Managers kann ein Projekt verwaltet und behandelt werden. Im SIMATIC Manager können die Daten von SIMATIC S7, C7, M7 und WinAc günstig durchgelesen werden. [8]

SIMATIC Manager ist das Main Interface von Step 7. Man kann eine Lösung der Automatisierungsaufgabe mit dem SIMATIC Manager durchführen. Im folgenden Abschnitt wird die Projekterstellung und die Hardwarekonfiguration für SPS S7-300 vorgestellt:

- Zuerst doppelklickt man den Icon SIMATIC Manager an. Dann gründet man ein neues Projekt mit dem Namen, z. B. Projekt 1.

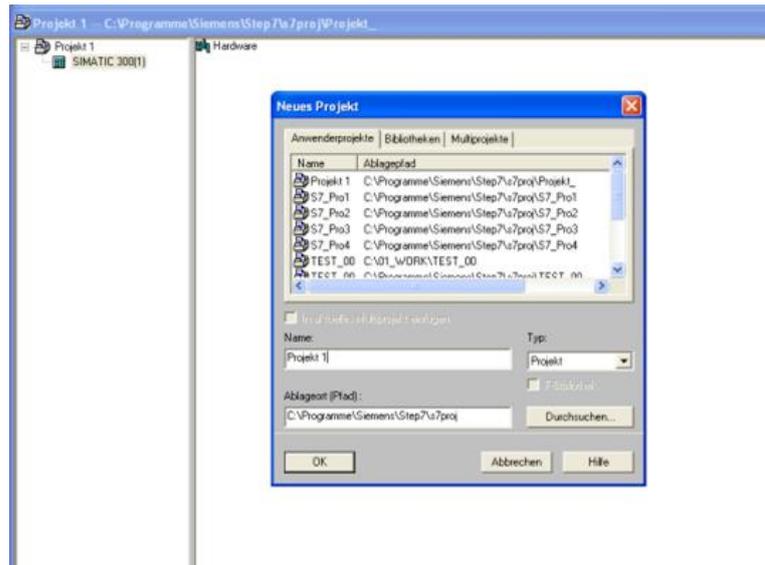


Abbildung 16: Gründung eines neuen Projekts

Quelle: Eigene Abbildung

- Klickt man rechts auf „Projekt 1“, um eine S7-300 Station einzufügen. Klickt man weiter „+“ neben Projekt 1 und die „Hardware“ von S7-300 wird erscheinen.

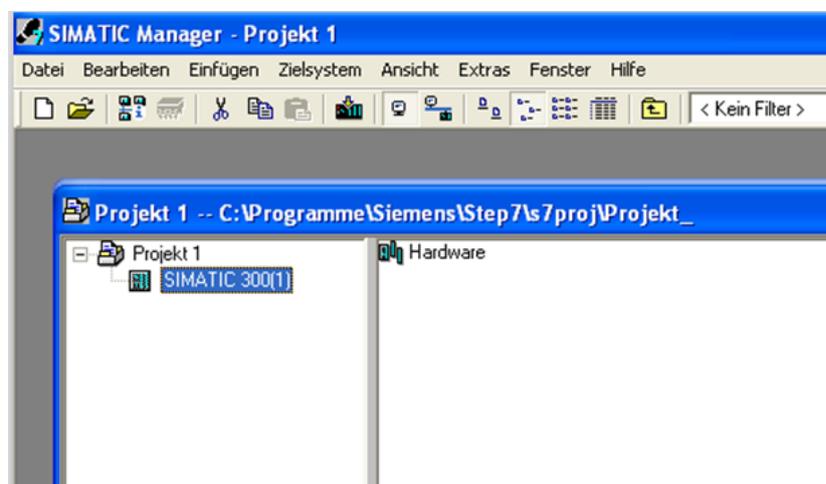


Abbildung 17: Hardware von S7-300

Quelle: Eigene Abbildung

- Nach dem Doppelklick der „Hardware“ erscheint Interface der Hardwarekonfiguration. Zuerst wählt man „RACK-300“ aus. Dies ist die Grundlage für weitere Hardwarekonfigurationen.

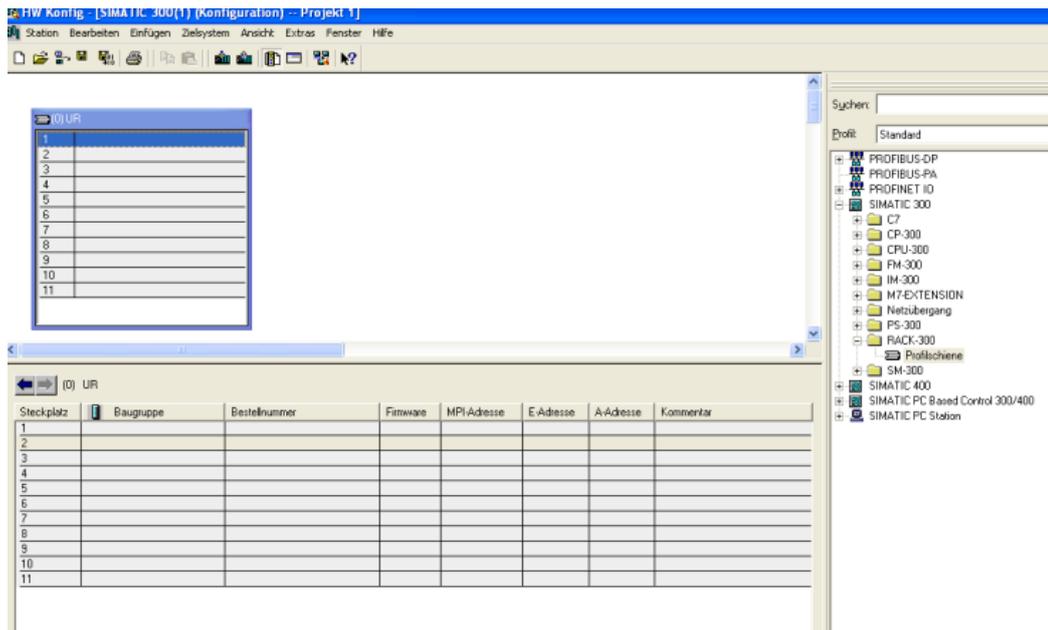


Abbildung 18: Interface der Hardwarekonfiguration

Quelle: Eigene Abbildung

- Nach dem eigentlichen Modul im Schrank kann jede Seriennummer und Bestellnummer angesehen werden, die in der Konfigurationsliste beim SIMATIC Manager gefunden werden. Z. B. in der ersten Schiene wird das Modul „PS 307 5A“ ausgewählt. In der zweiten Schiene wird das Modul „CPU 315-2DP“ ausgewählt. Die dritte Schiene ist leer für die Anschlussmodule. In einer weiteren Schiene wird Signalmodul oder Funktionsmodul ausgewählt.

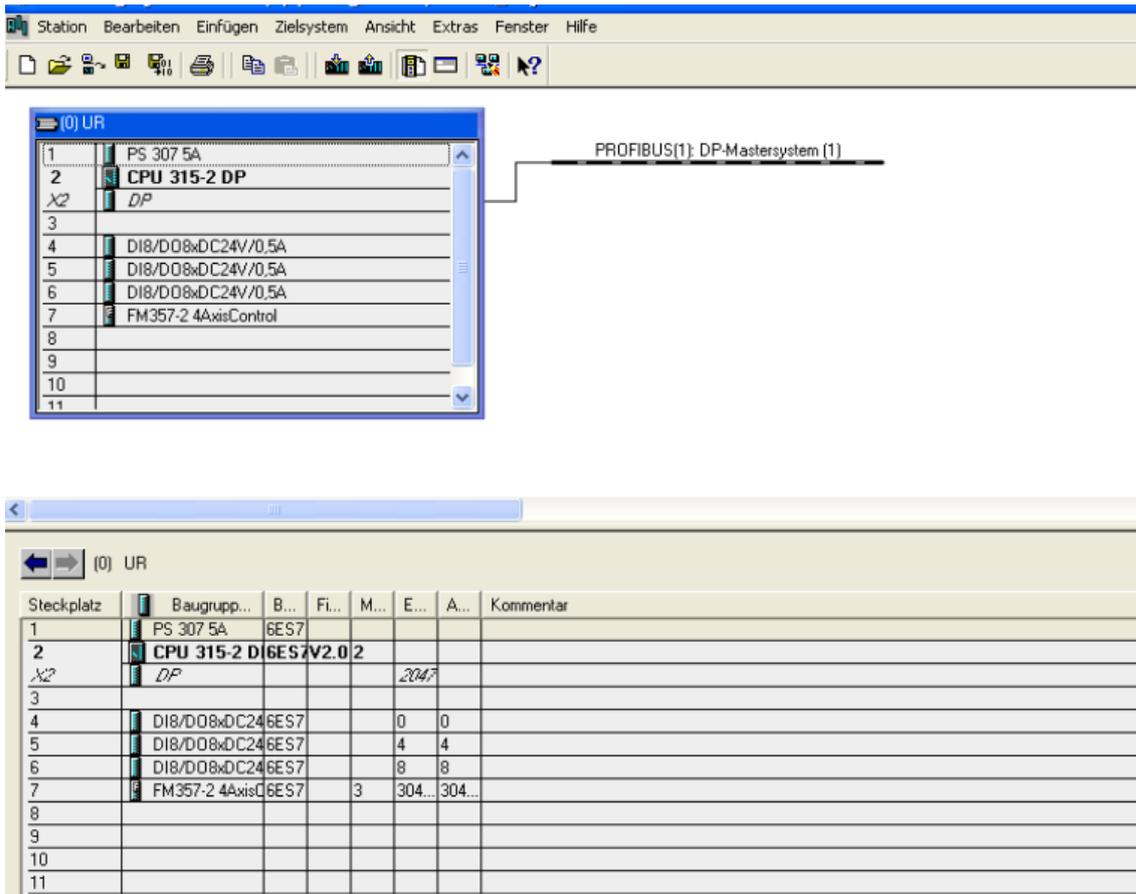


Abbildung 19: Interface der Hardwarekonfiguration

Quelle: Eigene Abbildung

- Doppelklick auf das CPU-Modul und ein Fenster für die PROFIBUS-DP Konfiguration erscheint. Man wählt die DP Adresse „2“ aus. Dann wird ein PROFIBUS-DP Netzwerk fertiggestellt. Auf PROFIBUS-DP können verschiedene Kommunikationsmodule hinzugefügt werden. Jede Adresse des angeschlossenen Moduls kann eingestellt werden.

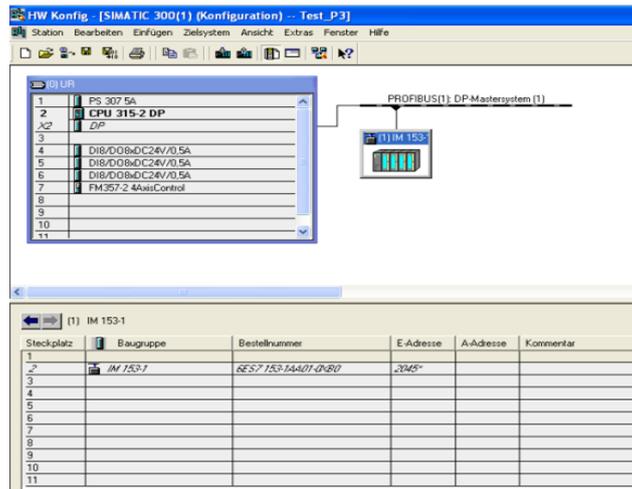


Abbildung 20: PROFIBUS-DP

Quelle: Eigene Abbildung

Durch die Hardwarekonfiguration kann die SPS wissen, welche Module verwendet werden und wie das Netzwerk funktioniert. Nach den verschiedenen Anforderungen kann man verschiedene Hardware konfigurieren.

## 7 Vorbereitungen für das Programm

### 7.1 Funktionen der Gleichstrommotoren für das Projekt

Nach den Anforderungen müssen mit Hilfe von SPS S7-300 drei Gleichstrommotoren kontrolliert werden. Die Schwierigkeit bzw. der Schwerpunkt besteht darin, in welcher richtigen Reihenfolge die drei Gleichstrommotoren kontrolliert werden sollen. Natürlich ist die Reihenfolge des Drehs der Gleichstrommotoren nicht die einzige Schwierigkeit. Zuerst werden Informationen zum Projekt gegeben.

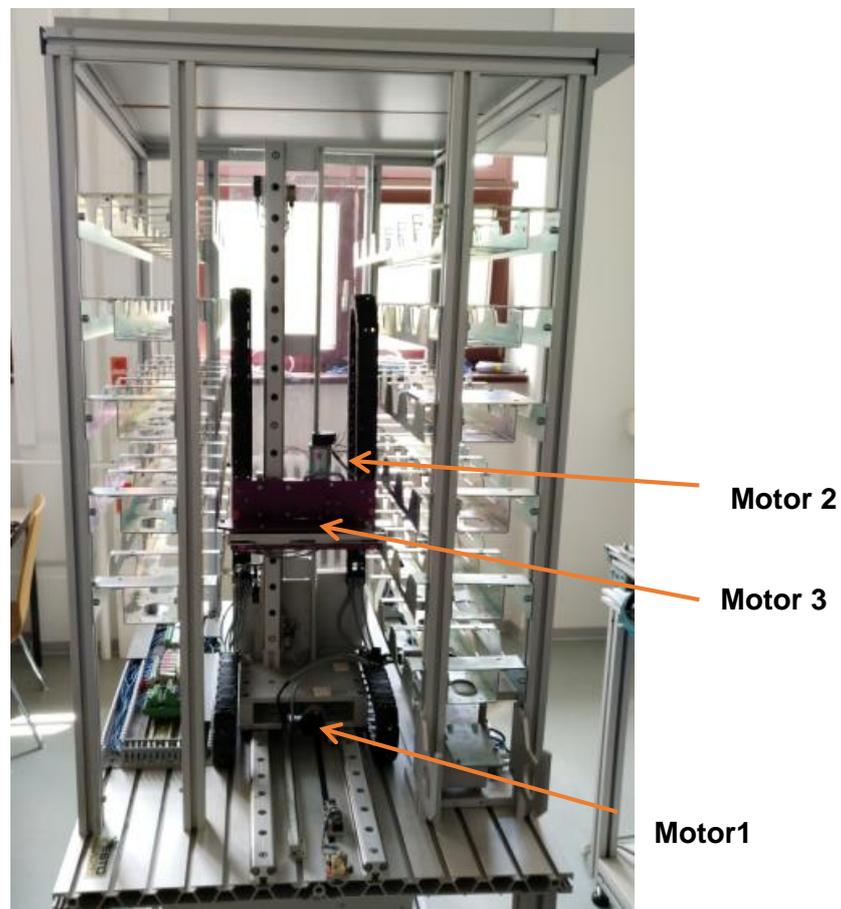


Abbildung 21: Vorderseite des Schrankes

Quelle: Eigene Abbildung

Motor 1, Motor 2 und Motor 3 sind alle Gleichstrommotoren. Motor 1 steuert die Bewegung der Plattform vorwärts oder rückwärts. Motor 2 steuert die Plattform nach oben oder unten. Und Motor 3 steuert die Plattform nach links oder rechts.

Motor 1 und Motor 2 haben die gleiche Spezifikation. Sie sind wie folgt dargestellt:

- Drehrichtung nach links oder rechts
- Lange Lebensdauer wegen mechanischer Kommutierung über einen vierteiligen Kollektor
- Standard über Motorwelle

Und die genauen Parameter werden in folgender Tabelle vorgestellt:

<b>Nennspannung</b>	<b>V</b>	<b>24</b>
Nennstrom	A	1,20
Nenndrehmoment	Ncm	5,70
Nenndrehzahl	rpm	3100,00
Leerlaufdrehzahl	rpm	3800,00
Nennleistung	w	18,50
Drehmomentkonstant	Ncm/A	5,84
Anlaufstrom	A	5,68
Leerlaufstrom	A	0,17
Entmagnetisierungsstrom	A	10,50

Tabelle 1: Parameter von Motor 1 und Motor 2

Quelle:

<http://www.dunkermotoren.de/produkte/gleichstrommotoren/detail/8842702010/> (10.06.2017, 20:00 Uhr)

Der Motor 3 ist ein anderer Gleichstrommotor. Er hat eine ähnliche Spezifikation wie Motor 1 und Motor 2:

- Drehrichtung nach links oder rechts
- Lange Lebensdauer wegen mechanischer Kommutierung über einen vierteiligen Kollektor
- Standard über Motorwelle
- Gleichstrommotor mit Permanentmagnet

<b>Nennspannung</b>	<b>V</b>	<b>24</b>
Nennstrom	A	0,30
Nenndrehmoment	Ncm	1,00
Nenndrehzahl	rpm	3000,00
Leerlaufdrehzahl	rpm	5000,00
Nennleistung	w	3,10
Drehmomentkonstant	Ncm/A	4,35
Anlaufstrom	A	0,77
Leerlaufstrom	A	0,80
Entmagnetisierungsstrom	A	11,50

Tabelle 2: Parameter von Motor 3

Quelle: <http://www.dunkermotoren.de/produkte/gleichstrommotoren/detail/8861506403/>  
(10.06.2017, 20:50 Uhr)

## 7.2 Darstellung über die Startreihenfolge von drei Motoren

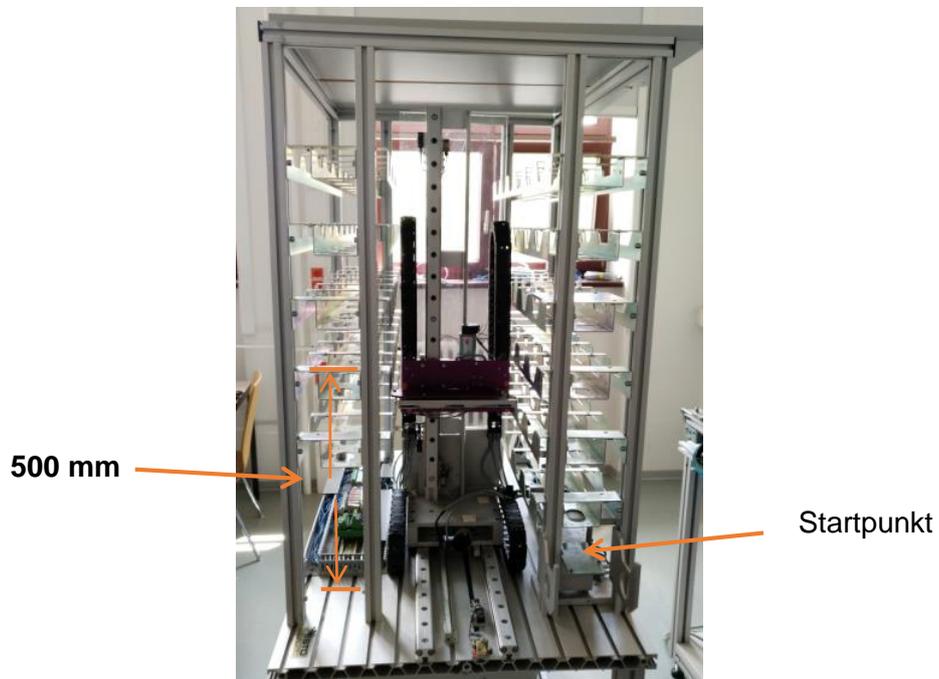


Abbildung 22: Die Messung des Weges

Quelle: Eigene Abbildung

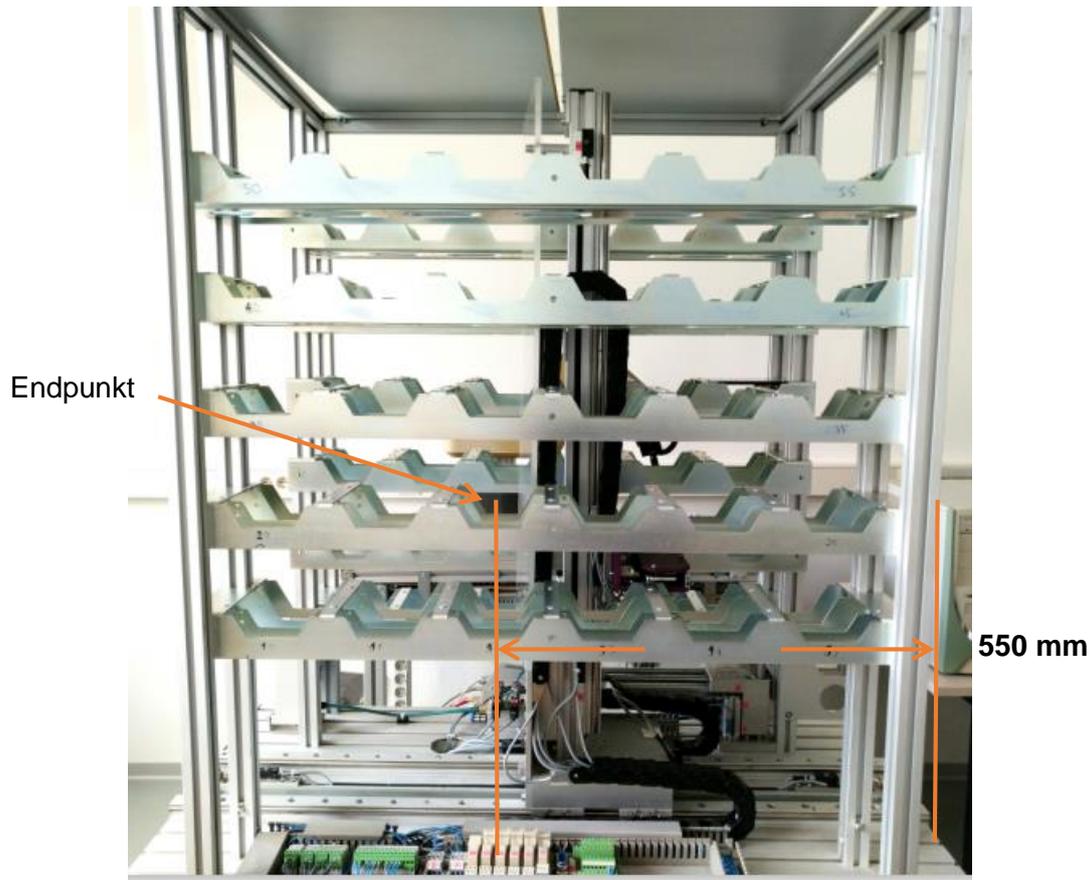


Abbildung 23: Die Messung des Weges

Quelle: Eigene Abbildung

Vom Startpunkt bis zum Endpunkt wird ein Eisenstück von der Plattform mit Hilfe von drei Gleichstrommotoren transportiert. Der Startpunkt ist fest. Aber dieser Endpunkt ist ein beliebiger Platz des Schrankes. Man wählt den Endpunkt aus, wie in Abbildung 23 dargestellt. Wenn der Startpunkt und der Endpunkt festgelegt sind, kann man wissen, wie lange sich die Plattform bewegt oder wie lange sich die Motoren drehen.

Nach der Messung bekommt man die Daten über den Motor 1 und Motor 2: Der Umfang des Zahnrades von Motor 1 und Motor 2 beträgt  $45.8 \cdot 3.14$  mm, nämlich 143.812 mm. Das Zahnrad von Motor 1 und Motor 2 dreht sich um 143.812 mm, um 1.145 Sekunden zu benötigen. Das heißt, die Geschwindigkeit des Zahnrades von Motor 1 und Motor 2 ist 125.6 mm pro Sekunde. Man braucht die Geschwindigkeit des Motors 3 nicht zu wissen, weil das Stoppen des Motors 3 von drei Sensoren gesteuert wird.

Die Startreihenfolge von drei Motoren ist unterschiedlich. Normalerweise startet Motor 3 zuerst. Es wird angenommen, dass das rational ist. Motor 3 startet und die Plattform bewegt sich nach rechts. Wenn der Sensor 3 die Plattform erfasst, wird der Motor 3 stoppen. Dann startet Motor 2. Und die Plattform bewegt sich nach oben um 50 mm. Das Eisenstück wird aufgehoben.

Danach wird Motor 3 nochmals gestartet. Die Plattform bewegt sich nach links. Wenn der Sensor 2 die Plattform erfasst, stoppt der Motor 3. In dieser Zeit startet Motor 1. Und die Plattform bewegt sich vorwärts um 550 mm. Dann treibt der Motor 2 die Plattform nach oben um 550 mm an. Der Motor 3 treibt die Plattform weiter nach links an. Wenn der Sensor 1 die Plattform erfasst, stoppt der Motor 3. Der Motor 2 treibt die Plattform weiter nach unten um 50 mm an. Das Eisenstück wird an den Endpunkt gelegt. Schließlich bewegt sich die Plattform zurück. Mit dem Blockbild kann dieser Prozess intuitiv dargestellt werden.

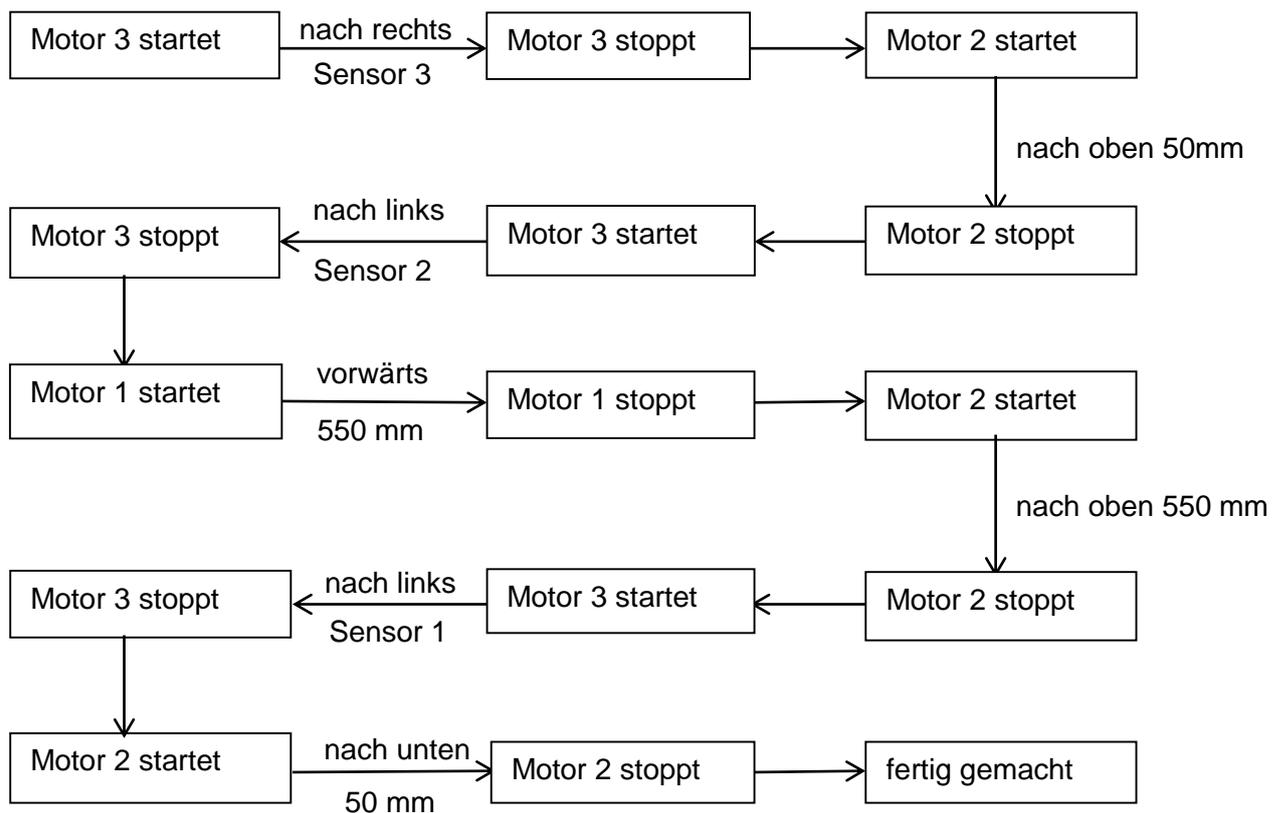


Abbildung 24: Startreihenfolge von drei Motoren

Quelle: Eigene Abbildung

Wenn der Prozess der Startreihenfolge klar ist, kann dann die SPS Programmierung fertiggestellt werden. Für die Programmiersprache der Startreihenfolge wird FBD ausgewählt.

## 8 Programmierung mit FBD

### 8.1 Step 7 Programmiersprache

Für Step 7 Basis-Version gibt es drei Programmiersprachen, nämlich FBD, LAD und STL. Diese drei Programmiersprachen werden am häufigsten für die SPS Programmierung benutzt. Natürlich können sie auch unabhängig voneinander angewendet werden. Nach der entsprechenden Situation wählt man die Programmiersprache aus.

#### Programmiersprache FBD

FBD benutzt die Grafikklogik Symbole, die ähnlich mit der Booleschen Algebra ist, um die Steuerlogik zu zeichnen. Einige komplexe Funktionen werden durch den Befehlsblock dargestellt, wie folgende Abbildung zeigt:

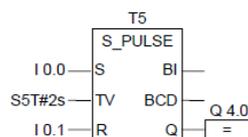


Abbildung 25: Timer aus FBD

Quelle:

<http://www.ad.siemens.com.cn/download/docMessage.aspx?id=1831> (12.06.2017, 15:00 Uhr)

#### Programmiersprache LAD

LAD ist eine Grafiksprache. Sie ist plastisch und einfach zu erlernen. LAD hat eine ähnliche Darstellung mit der Relaischaltung. LAD ist geeignet für die digitale Logiksteuerung, wie folgende Abbildung zeigt:

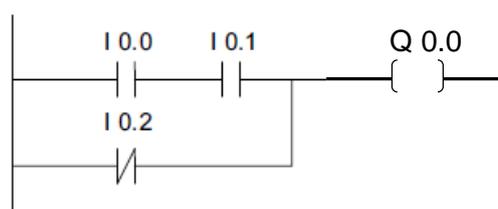


Abbildung 26: LAD Beispiel

Quelle: Eigene Abbildung

## Programmiersprache STL

STL ist eine textbasierte Programmiersprache, die ähnlich wie die Computer Assemblersprache ist. Das Programm von STL besteht aus einigen Sätzen. STL ist geeignet für die Programmierung von advanced Programmen, wie folgende Abbildung zeigt:

```

STL
-----
A   I 2.0
FR  T1

A   I 2.1
L   S5T#10s
SI  T1

A   I 2.2
R   T1

A   T1
=   Q 4.0

L   T1

T   MW10
    
```

Abbildung 27: STL Programmierung

Quelle:

<http://www.ad.siemens.com.cn/download/docMessage.aspx?id=1818> (12.06.2017, 21:00 Uhr)

## 8.2 FBD Programmierung für das Projekt

### 8.2.1 I/O Logik Tabelle

Signale	E/A	KZ	Logische Zuordnung
Steuerungsschalter	E	E 0.0	=1 -----> ein/ =0 -----> aus
Sensor 1	E	E 0.1	=1 -----> M3 aus/ =0 -----> M3 ein
Sensor 2	E	E 0.2	=1 -----> M3 aus/ =0 -----> M3 ein
Sensor 3	E	E 0.3	=1 -----> M3 aus/ =0 -----> M3 ein
Motor 1 vorwärts	A	A 0.1	=1 -----> Anforderung vorwärts
Motor 2 nach oben	A	A 0.2	=1 -----> Anforderung nach oben
Motor 2 nach unten	A	A 0.5	=1 -----> Anforderung nach unten
Motor 3 nach links	A	A 0.3	=1 -----> Anforderung nach links
Motor 3 nach rechts	A	A 0.4	=1 -----> Anforderung nach rechts

Tabelle 3: I/O Logik-Tabelle

Quelle: Eigene Tabelle

## 8.2.2 FBD mit Timer

Nach den tatsächlichen Anforderungen des Projekts wurde Timer für FBD ausgewählt. Aber welcher Timer ist dafür geeignet? Auf Englisch nennt man es S\_PULSE. Auf Deutsche ist es S\_IMPULS.

Die Abbildung 25 ist ein Beispiel für Timer S\_PULSE. Wenn sich der Zustand des Eingangssignals I 0.0 von 0 bis 1 verändert, startet der Timer T5 sofort. Solange das Eingangssignal I 0.0 immer 1 ist, arbeitet der Timer zwei Sekunden. Vor dem Ende der Zeit, der zwei Sekunden, verändert sich der Zustand des Eingangssignals I 0.0 von 1 bis 0. Dann stoppt der Timer sofort. Während der Timer-Betrieb den Zustand des Eingangssignals I 0.1 von 0 bis 1 verändert, führt der Timer die Reset-Operation durch. Solange der Timer läuft, ist das Ausgangssignal Q 4.0 der Zustand 1.

In der folgenden Abbildung 28 wird der Arbeitsprozess des Timers dargestellt.

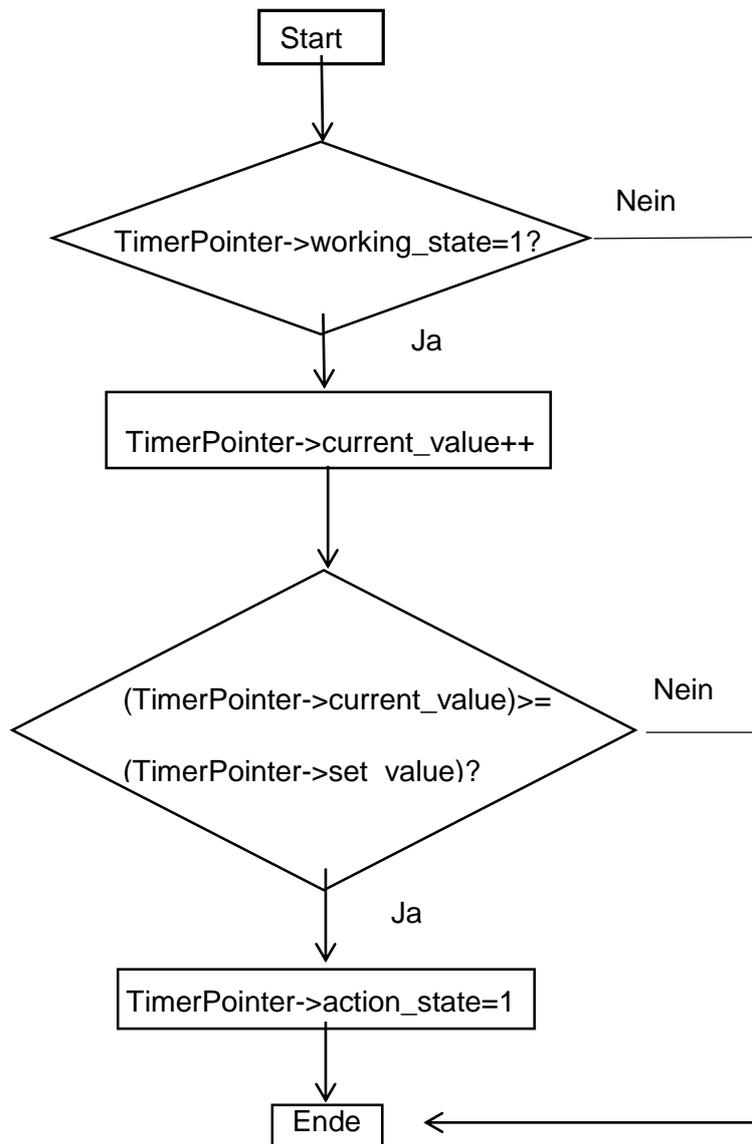


Abbildung 28: Flussdiagramm des Timers

Quelle: Eigene Abbildung

### 8.2.3 Blockdiagramm

**Netzwerk 1:** Motor 3 startet und die Plattform bewegt sich nach rechts.



Abbildung 29: Netzwerk 1

Quelle: Eigene Abbildung

**Netzwerk 2:** Motor 3 stoppt, wenn der Sensor 3 die Plattform erfasst.



Abbildung 30: Netzwerk 2

Quelle: Eigene Abbildung

**Netzwerk 3:** Motor 3 hat schon gestoppt. Dann startet Motor 2 und die Plattform bewegt sich nach oben um 50 mm. Die Geschwindigkeit des Zahnrads des Motors 2 beträgt  $45.8 \cdot 3.14 / 1.145 = 125.6 \text{ mm/s}$ . Deshalb beträgt die Zeitdauer des Timers  $150 / 125.6 \text{ ms} = 400 \text{ ms}$ .

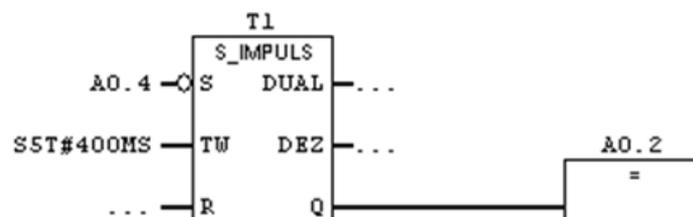


Abbildung 31: Netzwerk 3

Quelle: Eigene Abbildung

**Netzwerk 4:** Motor 2 läuft 400 ms. Dann stoppt er. Motor 3 startet weiter. Die Plattform bewegt sich nach links. Wenn der Sensor 2 die Plattform erfasst hat, stoppt der Motor 3 nochmals.

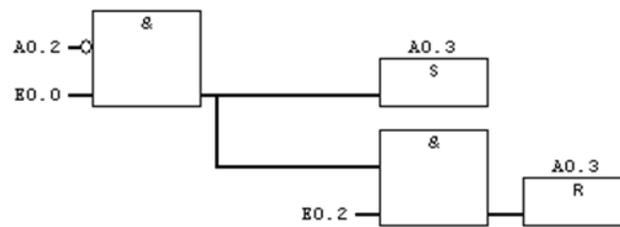


Abbildung 32: Netzwerk 4

Quelle: Eigene Abbildung

**Netzwerk 5:** Nachdem der Motor 3 angehalten hat, startet der Motor 1. Und die Plattform bewegt sich vorwärts um 550 mm. Timer 2 benötigt 4.38 Sekunden.  $550/125.6=4.38$  s.

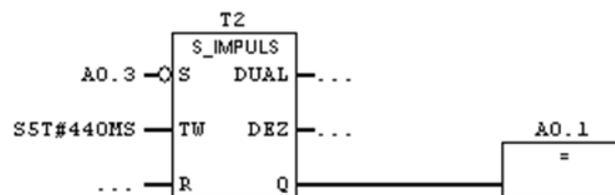


Abbildung 33: Netzwerk 5

Quelle: Eigene Abbildung

**Netzwerk 6:** Motor 1 läuft 438 mm und dann stoppt er. Motor 2 läuft weiter. Und die Plattform bewegt sich nach oben um 550 mm. Timer 3 benötigt 4.38 s.  $550/125.6=4.38$  s.

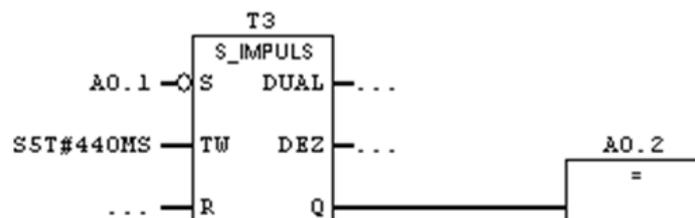


Abbildung 34: Netzwerk 6

Quelle: Eigene Abbildung

**Netzwerk 7:** Motor 2 läuft 438 mm und dann stoppt er. Der Motor 3 läuft weiter. In dieser Zeit bewegt sich die Plattform nach links. Wenn der Sensor 1 die Plattform erfasst, dann stoppt der Motor 3.

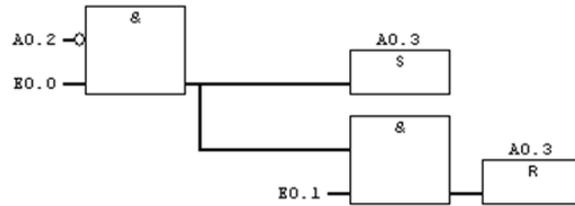


Abbildung 35: Netzwerk 7

Quelle: Eigene Abbildung

**Netzwerk 8:** Nachdem der Motor 3 angehalten hat, läuft der Motor 2. Die Plattform bewegt sich nach unten um 50 mm. Timer 4 braucht eine Zeit von  $400 \text{ mm} \cdot 50 / 125.6 = 400$  Sekunde.

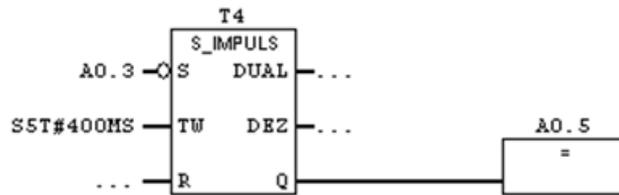


Abbildung 36: Netzwerk 8

Quelle: Eigene Abbildung

## 9 Zusammenfassung

Drei Motoren laufen in einer bestimmten Reihenfolge. Man nennt diesen Prozess die Ablaufsteuerung. Die Ablaufsteuerung ist nur eine Funktion von SPS. Natürlich gibt es eine Abweichung des Systems für die Steuerung mit dem Timer. Das System funktioniert vielleicht mit der Verzögerung. Dann entsteht die Reaktionszeit. Die tatsächliche Messung für die Wegstrecke der beweglichen Plattform hat auch eine Abweichung. Nach der Programmierung muss das System um ein wesentliches verbessert und viele Fehler beseitigt werden, damit die Motoren mit einer genauen Zeit laufen.

Dieses System wird mit Hilfe von SPS aufgebaut. Die SPS-Technologie wurde über 40 Jahre benutzt. Heute hat SPS schon eine gute Entwicklung genommen. Für dieses Projekt wurde Siemens S7-300 verwendet. Dies ist schon ein bisschen alt. Aber es wird noch verbreitet in der Industrie verwendet. Jetzt hat die Firma Siemens damit begonnen, S7-1500 zu fördern. In die Software S7-1500 werden weitere und stärkere Funktionen hinzugefügt.

SPS ist ein digitales elektronisches Computersystem. Und es wird speziell für den Einsatz in der Industrieumgebung verwendet. Auf SPS werden Computertechnik, Regelungstechnik und Kommunikationstechnik integriert. Jetzt kann man SPS zur Logikkontrolle, Ablaufkontrolle und Prozesskontrolle benutzen. SPS wird zu einer wichtigen Technologie für den Automatisierungsbereich. Man kann davon ausgehen, dass die SPS wegen der Entwicklung der hochintegrierten Schaltung und Kommunikationstechnik in der Zukunft riesige Fortschritte machen wird. Es gibt noch viel Raum zur Verbesserung der SPS. Die Forschungsergebnisse der Computertechnologie kommen dem Design und der Produktion der SPS zugute. Eine neue SPS, die eine höhere Rechengeschwindigkeit, einen größeren Stauraum und smartere Reaktionen hat, wird in naher Zukunft vielleicht entwickelt werden. Das Zubehör der SPS wird dann ebenfalls auf dem neuesten Stand der Entwicklung sein. Und die Anwendung/Benutzung der HMI der SPS wird einfacher sein. Dann kann SPS auf die verschiedenen Anforderungen der Steuerungsanwendungen angepasst werden. In der Zukunft wird es eine solche Möglichkeit geben, dass die vielen Hersteller von SPS, z. B. Siemens und Mitsubishi, eine einheitliche Programmiersprache benutzen. Und es gibt nicht zu viele Hersteller in der Welt. Es ist bekannt, dass Deutschland und andere Länder die Industrie 4.0 entwickelt haben. Es wird dann wohl so sein, dass die SPS und andere Industriecomputer ein großes Netzwerk bilden werden. Die industrielle Produktion wird dann ein intelligenteres Niveau haben.

## 10 Literaturverzeichnis

[1]

„Kurze Vorstellung für Siemens SPS S7-300“, [Online]. Available:  
<http://wiki.hmkdirect.com/mediawiki/index.php/S7-300>

[2]

„stationäre AC-Einheit“, [Online]. Available:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Ward\\_Leonard\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Ward_Leonard_control)

[3]

„PWM Controller für Gleichstrommotor“, [Online]. Available:  
<https://www.mattke.de/Servoregler.176.0.html>, Gespeichert als: mtrg 25\_2d\_e.pdf

[4]

„Einführung über SPS“, [Online] und [Fachbuch]. Available:  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Speicherprogrammierbare\\_Steuerung](https://de.wikipedia.org/wiki/Speicherprogrammierbare_Steuerung)

Guenter Pritschow :Einführung in die Steuerungstechnik

[5]

„Hardware einer SPS“, [Fachbuch]. Available:  
Günter Wellenreuther, Dieter Zastrow: Automatisieren mit SPS Theorie und Praxis, Viewe-  
wege Fachbücher der Technik

[6]

„Programmierer“, [Fachbuch]. Available:  
Guenter Pritschow, Dieter Zastrow: Automatisieren mit SPS Theorie und Praxis, Viewe-  
wege Fachbücher der Technik

[7]

„Automatisierungsstruktur mit SPS“, [Fachbuch]. Available:  
Heinrich Lepers: SPS Programmierung nach IEC 61131-3, Mit Beispielen für CoDeSys  
und STEP 7

[8]

„Software Step 7“, [Online]. Available:  
<http://www.industry.siemens.com.cn/automation/cn/zh/automation-systems/industrial-automation/software-for-simatic-controllers/step7/step7-professional/Pages/Default.aspx>

## 11 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Komponenten des Stators .....	6
Abbildung 2: Komponenten des Rotors .....	7
Abbildung 3: Prinzipielle Arbeitsweise eines DC-Motors.....	8
Abbildung 4: Ersatzschaltbild eines Gleichstrommotors .....	9
Abbildung 5: Mathematisches Modell des Gleichstrommotors .....	10
Abbildung 6: Einstellung der Drehzahl.....	11
Abbildung 7: Drehzahlstellung durch die Verringerung der Ankerspannung .....	12
Abbildung 8: 4Q-PWM-Servoregler .....	14
Abbildung 9: Stromregelkreis des Servoreglers.....	15
Abbildung 10: Darstellung des Tachos .....	18
Abbildung 11: Die Schaltung des Sollwertanschlusses.....	19
Abbildung 12: Schaltung der Referenzspannungsanschlüsse .....	19
Abbildung 13: Darstellung des Enable.....	20
Abbildung 14: Aufbau einer SIMATIC S7-300 .....	21
Abbildung 15: Automatisierungsstruktur mit SPS .....	23
Abbildung 16: Gründung eines neuen Projekts.....	25
Abbildung 17: Hardware von S7-300.....	25
Abbildung 18: Interface der Hardwarekonfiguration .....	26
Abbildung 19: Interface der Hardwarekonfiguration .....	27
Abbildung 20: PROFIBUS-DP .....	28
Abbildung 21: Vorderseite des Schrankes.....	29
Abbildung 22: Die Messung des Weges .....	31
Abbildung 23: Die Messung des Weges.....	32
Abbildung 24: Startreihenfolge von drei Motoren.....	33
Abbildung 25: Timer aus FBD .....	34
Abbildung 26: LAD Beispiel.....	34
Abbildung 27: STL Programmierung .....	35
Abbildung 28: Flussdiagramm des Timers.....	37
Abbildung 29: Netzwerk 1 .....	38
Abbildung 30: Netzwerk 2 .....	38
Abbildung 31: Netzwerk 3 .....	38
Abbildung 32: Netzwerk 4 .....	39
Abbildung 33: Netzwerk 5 .....	39
Abbildung 34: Netzwerk 6 .....	39
Abbildung 35: Netzwerk 7 .....	40
Abbildung 36: Netzwerk 8 .....	40

## 12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Parameter von Motor 1 und Motor 2.....	30
Tabelle 2: Parameter von Motor 3 .....	31
Tabelle 3: I/O Logik-Tabelle.....	35

## 13 Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bezeichnung</b>
AC	Alternating Current
DC	Direct Current
PWM	Pulse Width Modulation
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
CPU	Central Processing Unit
FM	Funktion Modul
SFC	Sequential Fuction Chart
LAD	LAdder Diagram
STL	STatement List
FBD	Function Block Diagram
4Q	Vierquadrante
PLC	Programmable Logic Controller
SM	Signal Modul
ROM	Read Only Memory
RAM	Random Access Memory