

# Steuerungstechnische Realisierung eines Fächerchoppersystems

Bachelorarbeit

von

Sven Janaschke

vorgelegt der

Fachhochschule Aachen

Referentin: Prof. Dr. rer. nat. Doris Sann

2. Prüfer: Dipl.-Ing. (FH) Klaus Bussmann

September 2013

angefertigt im Institut für Streumethoden  
JCNS-2 (Jülich Centre for Neutron Science)

Prof. Dr. Thomas Brückel

Forschungszentrum Jülich GmbH

# Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.

Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

Aachen, im September 2013

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich zunächst bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung meiner Bachelorarbeit und darüber hinaus unterstützt haben.

Dabei geht ein besonderer Dank an meine betreuende Professorin Frau Prof. Dr. Doris Samm sowie meinem Projektbetreuer Herrn Dipl. Ing. Klaus Bussmann. Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Thomas Brückel für die Möglichkeit bedanken, meine Bachelorarbeit im JCNS-2 schreiben zu dürfen.

Daneben gilt mein Dank Kurt Hirtz, dem Leiter der Werkstatt (PGI-JCNS-TA) und Dr. Jörg Voigt (JCNS-2) für die fachliche und persönliche Unterstützung während der gesamten Projektarbeit.

# Einleitung

Die Abteilung "ESS-Instrumentierung" des JCNS<sup>1</sup> im Forschungszentrum Jülich arbeitet derzeit im Rahmen einer Design-Update-Studie an Konzept und Design für Neuentwicklungen von leistungsstarken Instrumenten an der Europäischen Spallationsquelle ESS<sup>2</sup>. Als weltweit stärkste Neutronenquelle soll die ESS ab dem Jahr 2019 nach einer sechsjährigen Bauphase im südschwedischen Lund in Betrieb gehen und Wissenschaftlern aus den unterschiedlichsten Materialwissenschaftsbereichen zur Verfügung stehen. Unter anderem soll so die Führung Europas in der Forschung mit Neutronen gesichert werden.[1][2]

Inhalt dieser Arbeit ist die steuerungstechnische Realisierung eines neuartigen Neutronenchoppersystems, das auf die speziellen Anforderungen einer Langpulsquelle im Megawatt-Bereich optimiert ist. Die erforderlichen Grundlagen wie Funktionsweise von Choppersystemen, sowie deren Einsatz und Nutzen, sollen unter anderem in Kapitel 1 vermittelt werden. Außerdem wird hier die Technologie von Spallationsquellen thematisiert.

Da sich die ESS im Gegensatz zu bestehenden Neutronenquellen mit kontinuierlichem Strahl durch einen hoch intensiven Neutronenpuls mit einer Länge von 2,86 Millisekunden und einer Wiederholfrequenz von 14 Hertz auszeichnet, ergeben sich völlig neue Anforderungen an das Choppersystem eines Neutronenspektrometers. Üblicherweise wird durch eine Kombination aus mehreren Chopperelementen ein Geschwindigkeitsselektor realisiert. Diese Systeme erzeugen aus einem Puls der Quelle mehrere Pulse am Instrument. Da diese Frequenzen für viele Experimente zu hoch sind, muss eine individuelle Unterdrückung einzelner Pulse ermöglicht werden. Diese Funktion soll zukünftig der neu entwickelte Fächerchopper übernehmen. Einzelheiten über das Konzept dieses neuen Choppersystems werden im zweiten Kapitel dieser Arbeit ausführlich behandelt.

Realisiert wurde ein Fächerchopper mit zehn hintereinander angeordneten Flügeln, wobei jeder dieser Flügel separat über einen eigenen Motor angetrieben wird. Da die Wiederholrate der Flügel exakt der Pulsfrequenz der Neutronenquelle entsprechen muss, laufen die Antriebe synchron mit einer berechneten Geschwindigkeit. Während des Synchronbetriebs können alle Antriebe unabhängig voneinander und mit höchster Präzision in ihrer Phase verstellt werden. Die wesentlichen Schritte zur Realisierung des Choppersystems werden im Laufe des dritten Kapitels abgearbeitet, dessen Inhalt gleichzeitig der Hauptbestandteil dieser Arbeit ist. Den Abschluss der Bachelorarbeit bildet Kapitel 4 mit einer kurzen Zusammenfassung, sowie einem Ausblick auf die Weiterentwicklung des Fächerchoppersystems und dessen mögliche Einsatzgebiete.

---

<sup>1</sup>Jülich Centre for Neutron Science

<sup>2</sup>European Spallation Source

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1 Choppersysteme im Überblick . . . . .	1
1.1.1 Scheiben Chopper . . . . .	2
1.1.2 Fermi-Chopper . . . . .	3
1.1.3 Fächerchopper . . . . .	4
1.2 Technologie der Spallationsquelle . . . . .	5
<b>2 Konzept des Fächerchoppers</b>	<b>7</b>
2.1 Das neue Choppersystem . . . . .	7
2.1.1 Aktuelle Situation und Anforderungen . . . . .	7
2.2 Übersicht des Prototypen . . . . .	9
2.2.1 Mechanische Konstruktion . . . . .	9
2.2.2 Elektrische Konfiguration . . . . .	11
<b>3 Realisierung</b>	<b>13</b>
3.1 Aufbau und Funktion der Steuerung . . . . .	13
3.1.1 Zentrale Komponenten . . . . .	13
3.1.2 Kommunikation . . . . .	21
3.1.3 Richtlinien und Sicherheitsaspekte . . . . .	22
3.2 Winkelerfassungssystem . . . . .	25
3.2.1 Theoretische Hintergründe . . . . .	25
3.2.2 Hard- und softwaremäßige Einbindung in das Antriebssystem . . . . .	29
3.2.3 Adjustment-Tool . . . . .	31
3.3 Programmierung der SPS mit Indraworks Engineering . . . . .	37
3.3.1 Anlegen eines Projekts . . . . .	37
3.3.2 Relevante Funktionsbausteine . . . . .	41
3.3.3 Bereitstellung von Variablen für Visualisierungen und ex- ternen Zugriff . . . . .	45
<b>4 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>49</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>51</b>

Abbildungsverzeichnis	53
Tabellenverzeichnis	55
A Anhang	57

# 1 | Grundlagen

## 1.1 Choppersysteme im Überblick

Choppersysteme werden in der Forschung zur Definition von Neutronenstrahlen eingesetzt. Dabei dienen die Neutronen der Analyse von Materialproben für die verschiedensten Experimenten. Da nicht für jedes Experiment energetisch gleiche Neutronen benötigt werden, besteht die Aufgabe eines Choppers unter anderem darin, jeweils Neutronenpulse mit der erforderlichen Energie herauszufiltern. Dies geschieht abhängig von den Rahmenbedingungen mit Hilfe unterschiedlicher Methoden.

Realisiert werden bis heute vor allem zwei Bauarten von Choppern. Dabei ist die klassische und somit am häufigsten eingesetzte Bauform der Scheiben-Chopper. Eine Alternative bietet gegenwärtig der sogenannte Fermi-Chopper, dessen Namensgebung auf dem Kernphysiker Enrico Fermi beruht. Zukünftig könnte der in dieser Arbeit beschriebene Fächerchopper die Auswahl von Choppersystemen erweitern. Abbildung 1.1 zeigt ein Beispiel für den Einsatz von Scheiben-Choppern in Form eines Geschwindigkeitsselektors.

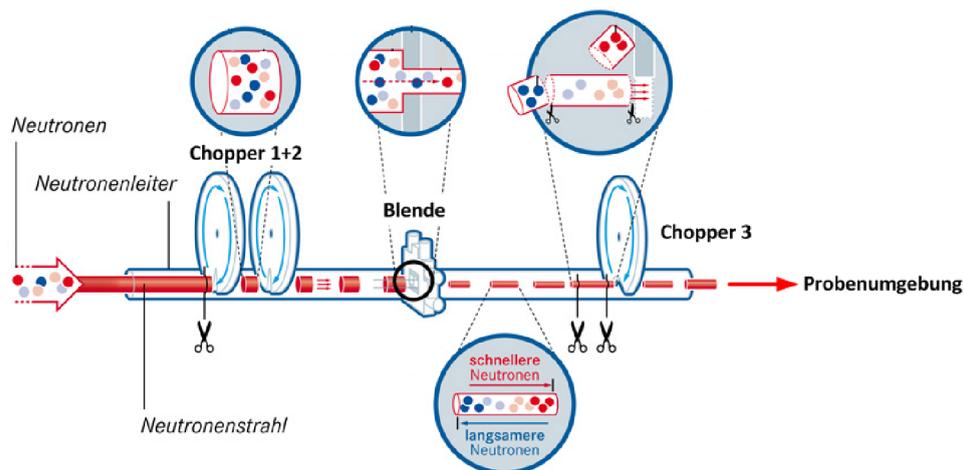


Abbildung 1.1: Geschwindigkeitsselektor.[3]

Links im Bild treten die Neutronen in Form eines kontinuierlichen Strahls in den Neutronenleiter. Der Neutronenstrahl besteht aus zahlreichen Neutronen mit jeweils unterschiedlichen Geschwindigkeiten, welche hier vereinfachend farblich differenziert wurden.

Die Chopper 1 und 2 bewirken eine Pulsung des kontinuierlichen Strahls. Die erzeugten Pulse beinhalten an dieser Stelle nach wie vor Neutronen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Über eine Blende werden die einzelnen Pakete geformt, so dass sich anschließend die schnellen Neutronen im vorderen Teil und die langsamen Neutronen im hinteren Teil des Pulses befinden. Der Chopper 3 sorgt für eine Selektierung, so dass am Probenort nur noch Neutronen mit der gewünschten Geschwindigkeit vorhanden sind.[3]

### 1.1.1 Scheiben Chopper

Der Scheiben- bzw. Disc-Chopper wird aufgrund seiner Bauform sehr häufig in der Neutronenforschung eingesetzt. Bei dieser Variante handelt es sich wie der Name schon sagt, um eine oder mehrere Scheiben, die sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit im Neutronenstrahl drehen. In den Scheiben befinden sich kleine Öffnungen oder Aussparungen, welche den kontinuierlichen Strahl durch die Rotation der Scheibe, in zeitlich und räumlich begrenzte Pulse zerlegt. Durch eine Verkettung synchron drehender Chopper ist es so möglich, Neutronenpulse einer definierten Energie herauszufiltern.

Der Einsatzbereich dieser Bauform beschränkt sich auf Anwendungen mit relativ kleinen Strahldurchmessern von nur wenigen Zentimetern. Bei einem Einsatz für Experimente mit hohen Strahldurchmessern, würden bedingt durch die größere Bauform erhebliche Kräfte entstehen. Allerdings erlaubt diese Methode im Gegensatz zu Fermi-Choppern eine hohe Strahldivergenz. Abbildung 1.2 zeigt die schematische Darstellung eines Scheiben-Choppers.

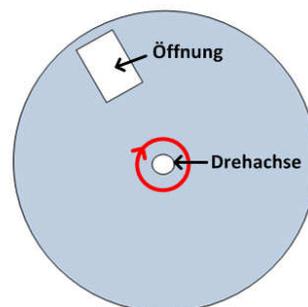


Abbildung 1.2: Schematische Darstellung (Vorderansicht) eines Scheiben-Choppers.

### 1.1.2 Fermi-Chopper

Das entscheidende Unterscheidungskriterium zwischen Scheiben- und Fermi-Chopper, ist die Orientierung der Drehachse zur Ausbreitungsrichtung der Neutronen. Die Drehachse des Scheiben-Choppers verläuft parallel zur Flugrichtung der Neutronen, wohingegen es sich bei einem Fermi-Chopper um einen schnell rotierenden Kollimator handelt, dessen Rotationsachse senkrecht zur Strahlachse liegt. Ein Kollimator dient im Allgemeinen der Erzeugung eines parallelen Strahlenverlaufs (siehe Abbildung 1.3).

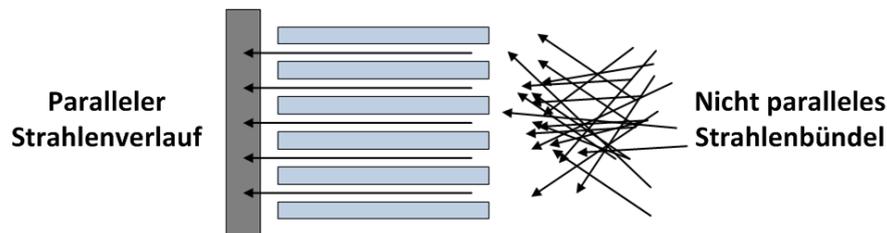


Abbildung 1.3: Funktionsprinzip eines Kollimators.

Um einen solchen Strahlenverlauf zu erreichen, besteht ein Fermi-Chopper aus mehreren, parallel angeordneten Absorberblättern, die alle Neutronen mit unerwünschter Geschwindigkeit absorbieren. Eingesetzt werden Fermi-Chopper vorzugsweise in Anwendungen mit großen Strahlquerschnitten. Aufgrund der vergleichsweise kompakten Bauform, eignen sie sich besonders gut für Experimente mit schnellen Neutronen, oder einfacher gesagt, für den Einsatz bei hohen Drehzahlen. Ein Nachteil ist die geringe Strahldivergenz, die von solchen Bauformen toleriert wird. Eine schematische Darstellung des Fermi-Choppers zeigt die Grafik in Abbildung 1.4.

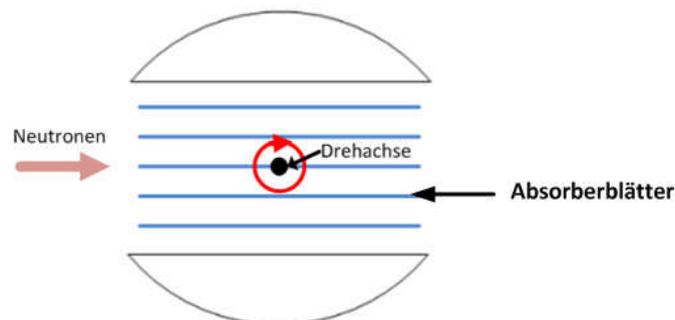


Abbildung 1.4: Schematische Darstellung (Draufsicht) eines Fermi-Choppers.

### 1.1.3 Fächerchopper

Eine bislang noch nicht eingesetzte Bauform ist der für die ESS erdachte Fächerchopper. Prinzipiell kann man dieses System als eine Kombination aus mehreren Scheiben-Choppern bezeichnen. Der Unterschied ist, dass der Fächerchopper nicht zur Pulsung von Strahlen dient, sondern ausgewählte Pulse über die Anordnung der Flügel unterdrücken soll. Abbildung 1.5 zeigt die schematische Darstellung des Fächerchoppers.

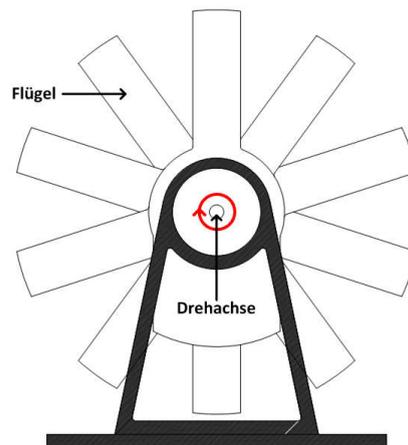


Abbildung 1.5: Schematische Darstellung (Vorderansicht) des Fächerchoppers.

Zukünftig könnte durch den Einsatz des Fächerchoppers in Kombination mit anderen Choppern eine effizientere Nutzung der bereitgestellten Neutronen in Spallationsquellen erreicht werden. Das Konzept dieses Choppers sowie dessen Anforderungen und Funktion, werden im folgenden Kapitel noch ausführlicher beschrieben.

## 1.2 Technologie der Spallationsquelle

Generell gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten zur Erzeugung von Neutronen. Zum einen die klassische Methode der Kernspaltung in Kernreaktoren und zum anderen die modernere Methode der Spallation. Abbildung 1.6 zeigt das Prinzip der beiden Methoden im Vergleich.

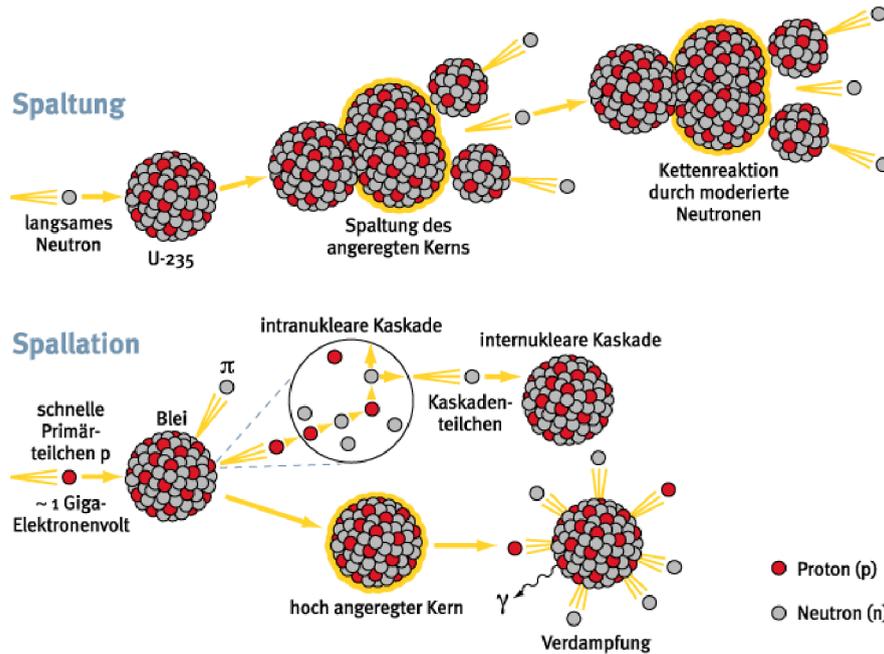


Abbildung 1.6: Erzeugung von Neutronen durch Kernspaltung und Spallation.[4]

In Kernreaktoren werden Neutronen durch die Spaltung von Urankernen freigesetzt. Da die freigesetzten Neutronen zu energiereich für die weitere Verwendung sind, müssen sie abgebremst, also moderiert werden. Die abgebremsten Neutronen können dann weitere Kernspaltungen auslösen.

Bei der Spallationsmethode hingegen entstehen freie Neutronen auf eine etwas andere Art und Weise. Mit einem Protonenbeschleuniger werden Salven von Protonen nahezu bis auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und auf die Atomkerne eines schweren Metalls gelenkt. Bei diesem Schwermetall, dem Target, handelt es sich üblicherweise um Blei oder Quecksilber. Abbildung 1.7 zeigt die schematische Darstellung eines Targets.

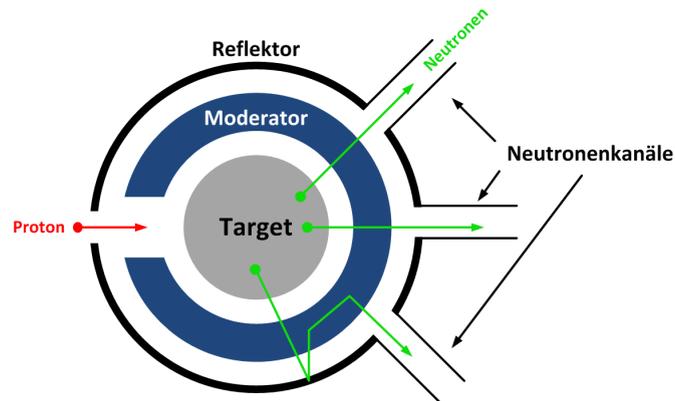


Abbildung 1.7: Schematische Darstellung eines Targets.

Durch den Aufprall der Protonen auf das Target, entsteht in den Atomkernen des Schwermetalls eine so hohe Energie, dass pro Kern etwa 20 bis 30 Neutronen freigesetzt werden. Da die freigesetzten Neutronen mit einer Geschwindigkeit von 20.000 km/s viel zu schnell und energiereich für Experimente sind, werden sie mit Hilfe sogenannter Moderatoren abgebremst. Diese bestehen üblicherweise aus mit Wasser bzw. flüssigem Wasserstoff gefüllten Tanks.

Ein Reflektor hindert die Neutronen daran, den Targetbereich zu verlassen. Über die Neutronenleiter gelangen die Neutronen letztendlich zu den jeweiligen Experimentierstationen.

Der Begriff Spallation stammt aus dem Englischen und bedeutet so viel wie Abspaltung. Spallationsquellen erzeugen im Gegensatz zu Kernreaktoren mit kontinuierlichem Neutronenfluss einen gepulsten Neutronenstrahl. Die indirekte Bestimmung der Neutronengeschwindigkeit über die Flugzeit ist somit bereits ohne den Einsatz eines Choppers möglich.

Bei einem Spallationsprozess ist die Wärmeentwicklung pro nutzbarem Neutron etwa sechs mal geringer als bei der Kernspaltung. Da die Abführung der Wärmeenergie generell eine große Herausforderung in solchen Prozessen darstellt, liegt die Spallationsmethode diesbezüglich deutlich im Vorteil.

Auch in Punkto Sicherheit bietet die Spallation einen weiteren großen Vorteil. Wie in Abbildung 1.6 zu sehen ist, beruht diese Technologie nicht auf einer Kettenreaktion. Daraus folgt, dass der Spallationsprozess unmittelbar stoppt, sobald der Protonenstrahl abgeschaltet wird.[4]

## 2 | Konzept des Fächerchoppers

### 2.1 Das neue Choppersystem

#### 2.1.1 Aktuelle Situation und Anforderungen

Der hier thematisierte Fächerchopper ist eine Neuentwicklung in der Forschung mit Neutronen. Mit der Realisierung eines funktionstüchtigen Prototypen sollen die theoretischen Überlegungen und die damit verbundenen Vorteile auf Plausibilität untersucht werden.

Bedingt durch die Technologie der Spallationsquelle, ergeben sich völlig neue Anforderungen an das Choppersystem eines Neutronenspektrometers. Die erste wichtige Voraussetzung ist die Anpassung des Systems an die variablen Frequenzen des Geschwindigkeitsselektors. Dieser besteht in der Regel aus einer Kombination von hintereinander geschalteten Choppern, die üblicherweise mit Frequenzen zwischen 210 und 420 Hz laufen. Aufgrund dieser Frequenzen werden aus einem Puls der Quelle, zwischen 15 und 30 Pulse am Instrument erzeugt. Daraus ergibt sich eine weitere Anforderung an das neue Choppersystem. In Abhängigkeit vom jeweiligen Experiment, müssen wahlweise einzelne dieser Pulse unterdrückt werden können. Abbildung 2.1 zeigt ein Flugzeitdiagramm, welches den zurückgelegten Weg der Neutronen in Abhängigkeit der Flugzeit darstellt. Mit Hilfe dieses Diagramms kann ermittelt werden, an welcher Stelle sich Neutronen einer definierten Energie zu einem bestimmten Zeitpunkt befinden. Die Energien der Neutronen werden in der Abbildung durch unterschiedliche Farben dargestellt. Die rote Farbe steht für sehr energiereiche Neutronen, wohingegen Neutronen mit geringer Energie blau gekennzeichnet sind.

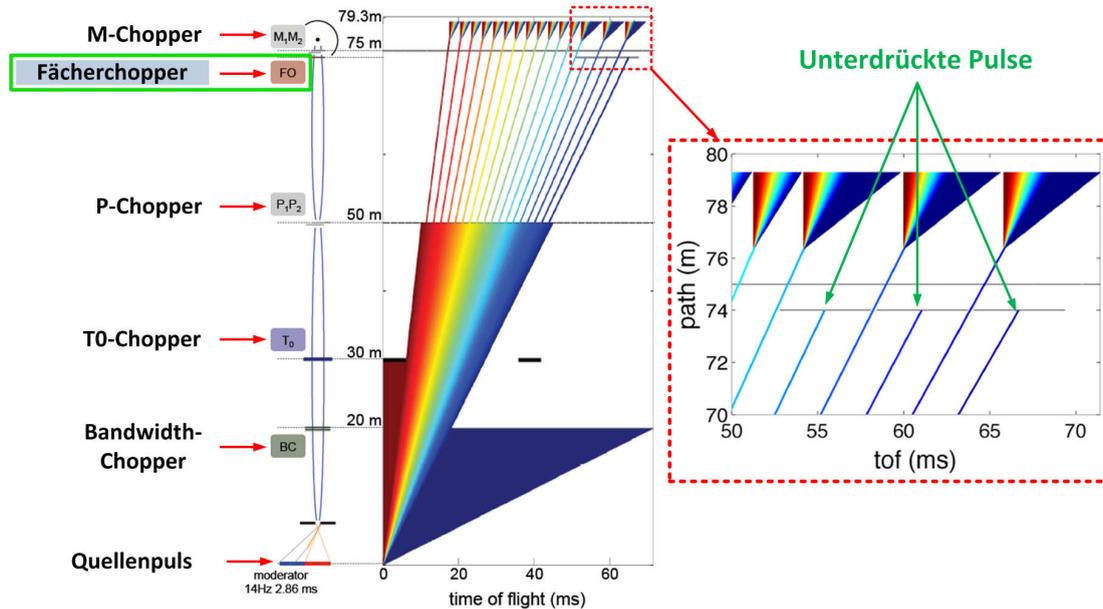


Abbildung 2.1: Flugzeitdiagramm.[5]

Man sieht, dass die Neutronenstrahlen auf dem Weg zwischen Quelle und Probenort über mehrere Choppersysteme aufbereitet werden. Die Choppersysteme dienen dabei jeweils unterschiedlichen Zwecken.

Die erste Station auf dem Weg zum Probenort ist ein sogenannter Bandwidth-Chopper. Wie der Name bereits vermuten lässt, sorgt er für eine Begrenzung des Energiespektrums der Neutronen und verhindert somit eine Überlagerung von verschiedenen Pulsen der Quelle.

Eine andere Funktion erfüllt der T0-Chopper. Hier werden alle Neutronen geblockt, deren Energie zu groß ist, als das sie für die Experimente genutzt werden könnten.

Um nur die Neutronen mit der gewünschten Energie herauszufiltern, werden P-Chopper in Kombination mit M-Choppere eingesetzt. Über die Frequenz dieser Chopper kann die Energiebandbreite für verschiedene Experimente angepasst werden. Außerdem wird der Zeitpunkt, an dem ein bestimmter Neutronenpuls auf die Probe trifft, mit einer Genauigkeit von kleiner als 20 Mikrosekunden festgelegt. Das ist notwendig um die Geschwindigkeitsänderung, die durch Wechselwirkung mit der Probe verursacht werden, präzise zu bestimmen. Durch die Streuung an der Probe wird aus dem gepulsten Strahl wieder ein kontinuierlicher Strahl. Aus der Flugzeit der detektierten Neutronen wird schließlich der Energieunterschied vor und nach der Streuung bestimmt. Aus der energieaufgelösten Streuintensität können Rückschlüsse auf die atomare Dynamik in der Probe gezogen werden.[5] Die neue Anforderung, die die Konstruktion des Fächerchoppers erfordert, ist die

Verwendung von Neutronenpulsen unterschiedlicher Geschwindigkeiten. Wenn die Geschwindigkeit der einfallenden Neutronen geringer wird, verlängert sich auch der Zeitraum in dem die Neutronen am Detektor nachgewiesen werden müssen. Um eine Überlappung von nachfolgenden Pulsen zu verhindern, müssen diese gegebenenfalls unterdrückt werden. Abbildung 2.1 zeigt ein Beispiel für die Unterdrückung von drei Pulsen.

Technisch wird die Unterdrückung einzelner Pulse über die Phasenverschiebung zwischen einzelnen Flügeln des Fächerchoppers realisiert. Dabei soll die Lage der Flügel die Funktion der Frequenzanpassung an den Geschwindigkeitsselektor übernehmen. Das gesamte System wurde so konstruiert, dass es an beliebigen Orten eingesetzt werden kann.

## 2.2 Übersicht des Prototypen

### 2.2.1 Mechanische Konstruktion

Um kurze Wege und eine schnelle Bearbeitung während der Entwicklungsphase des Choppersystems gewährleisten zu können, fand die Fertigung aller mechanischen Komponenten in der Werkstatt des JCNS statt.

Das Choppersystem besteht aus zehn ineinander laufenden Hohlwellen, an deren Ende jeweils ein Flügel befestigt ist. Die Flügel wurden so konstruiert, dass deren Schwerpunkt exakt in der Mitte der Drehachse liegt. Durch diese Eigenschaft kann von einer späteren Auswuchtung der Flügel abgesehen werden.

Die Flügel wurden aus 4 mm dickem Aluminium gefertigt und befinden sich innerhalb der Konstruktion unmittelbar hintereinander. Der Abstand zwischen den Flügeln beträgt je 2 mm und wird durch Einsetzen einer Teflonscheibe sichergestellt. Somit beträgt die Gesamtlänge des eigentlichen Choppers 58 mm und liegt damit noch deutlich unter den maximal vorgegebenen 70 mm. Die folgenden Fotos in Abbildung 2.2 zeigen die Hohlwellenkonstruktion mit angebauten Flügeln in verschiedenen Positionen.

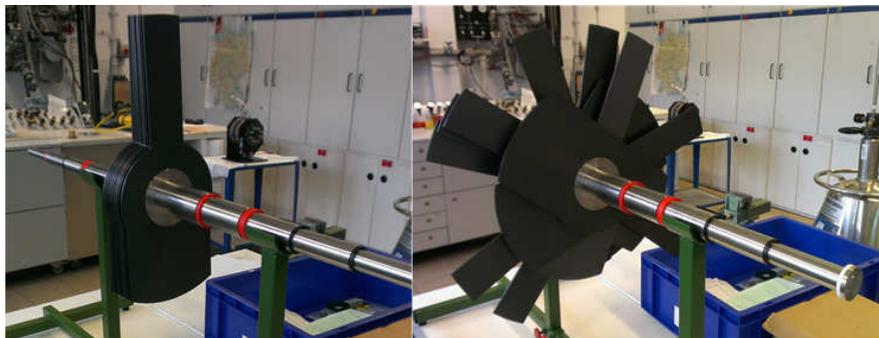


Abbildung 2.2: Hohlwellenkonstruktion mit Flügeln.

Zur separaten Ansteuerung der Flügel ist jede Hohlwelle mechanisch mit einem Motor verbunden. Das Verdrehen der Wellen gegeneinander und die somit geforderte Phasenverschiebung wird durch den Einsatz von Nadellagern realisiert. Diese befinden sich jeweils zwischen den einzelnen Wellen (siehe Abbildung 2.3).

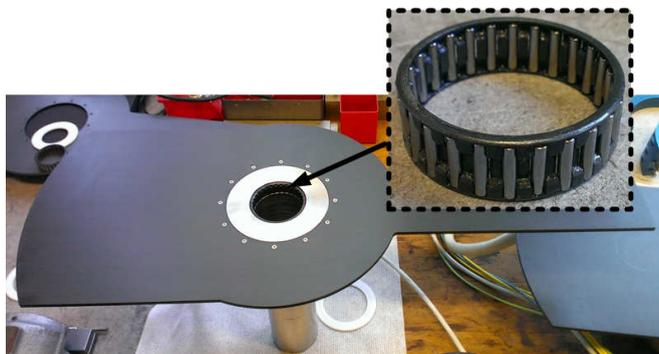


Abbildung 2.3: Eingesetztes Nadellager.

Um der mechanischen Konstruktion die nötige Stabilität zu verleihen, wurden die Motoren gleichermaßen rechts und links von den Flügeln angeordnet. Jeder Motor wird über eine separate Halterung auf einer gemeinsamen Grundplatte fixiert. Zusätzlich befinden sich zwischen den Halterungen Querverstrebungen, die eine Steigerung der Stabilität und gleichzeitig eine Verminderung von Vibrationen bewirken sollen.

Der Fächerchopper ist mit einer Gesamtlänge von ca. 1 m und einer Höhe von etwa 0,7 m sehr kompakt und eignet sich daher hervorragend für den flexiblen Einsatz an unterschiedlichen Orten. Abbildung 2.4 zeigt die mechanische Gesamtkonstruktion des Fächerchoppers.



Abbildung 2.4: Mechanische Gesamtkonstruktion des Fächerchoppers.

## 2.2.2 Elektrische Konfiguration

Mit Abschluss des mechanischen Parts beginnt mit der elektrischen Konfiguration der wesentliche Teil dieser Arbeit. Abbildung 2.5 zeigt eine grobe Übersicht der elektrischen Konfiguration des Antriebssystems.

Abgesehen von den Motoren wurden alle Komponenten in einem Schaltschrank untergebracht.

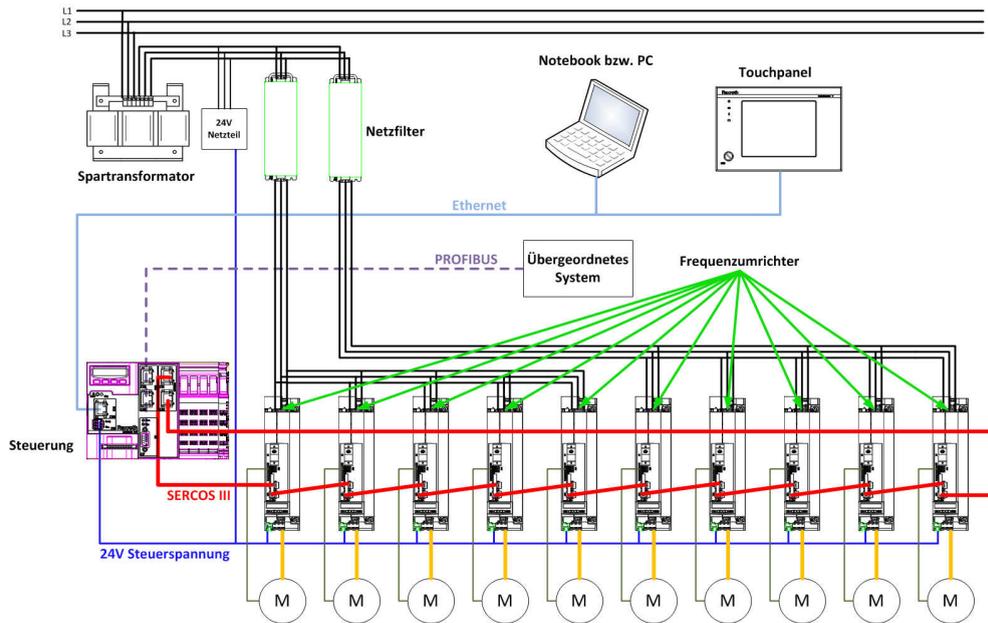


Abbildung 2.5: Übersicht der elektrischen Konfiguration.

Die Anlage wird über das netzseitige 400-Volt-Drehstromsystem versorgt. Über einen Spartransformator wird die Spannung auf 230 Volt reduziert. Der große Vorteil dieser Transformation liegt in der dadurch reduzierten Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$ , die über folgende Formel berechnet werden kann:

$$U_{ZK} = U_{Netz} \cdot \sqrt{2} \quad (2.1)$$

$U_{Netz}$  steht hier für die Größe der Versorgungsspannung. Die Zwischenkreisspannung wird durch die Transformation von 560 Volt auf 320 Volt reduziert. Das Risiko eines elektrischen Überschlags im Vakuum wird somit deutlich verringert. Wie man anhand von Gleichung (2.2) sehen kann, verhält sich die elektrische Wirkleistung  $P$ , deren Wirkungsgrad über den  $\cos\varphi$  definiert ist, proportional zum Produkt aus Spannung  $U$  und Strom  $I$ . Dabei beschreibt der Wirkungsgrad das Verhältnis der zugeführten Leistung zur abgeführten Leistung.

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi \quad (2.2)$$

Gemäß Gleichung (2.2) verringert sich also die Leistung mit sinkender Spannung. In Punkto Energiekosten ergibt sich hier also ein vorteilhafter Nebeneffekt.

Ausgangsseitig ist der Spartransformator mit sogenannten Netzfiltern verbunden. Der Grund für den Einsatz solcher Geräte ist folgender. Da die Frequenzumrichter der Anlage getaktet arbeiten, entstehen Oberschwingungsbehaftete Ströme, die in das Versorgungsnetz zurückgespeist werden können. Diese Ströme können zur Belastung des Versorgungsnetzes führen und damit andere Betriebsmittel in ihrer Funktion beeinflussen. Mit dem Einsatz von Netzfiltern werden Ströme mit kritischen Frequenzen ausgesondert. Da die Filter in beide Richtungen arbeiten, ist die Anlage gleichzeitig auch gegen äußere Störeinflüsse geschützt. Wie bei jedem elektronischen Bauteil, ist auch bei Netzfiltern die Verlustleistung auf einen Maximalwert begrenzt. Um diesen aufgrund der hohen Motorströme nicht zu überschreiten, werden jeweils fünf Antriebe über ein separates Netzfilter mit Spannung versorgt.

Von den Filtern aus führt der Weg über 3-polige Leitungsschutzschalter weiter zum Netzanschluss der Frequenzumrichter. Die hier anliegende Spannung wird nach mehrfacher Umwandlung zur Ansteuerung der Motoren verwendet. Beim Einsatz von Frequenzumrichtern treten teilweise große Ableitströme auf. Da diese über den Schutzleiter fließen und somit den Menschen gefährden können, muss der Schaltschrank unabhängig von der Zuleitung zusätzlich über eine separate Leitung mit ausreichendem Querschnitt geerdet werden.

Das Herzstück des gesamten Antriebssystems bildet die Steuerung. Ihre Funktion besteht darin, alle Regelungs- und Steuerungsaufgaben zu übernehmen. Sie kann deshalb auch als Schnittstelle zwischen Bedienebene und Feldebene bezeichnet werden. Die Komponenten der Bedienebene sind in diesem Fall ein Touchpanel sowie ein Laptop. Beide Geräte kommunizieren über eine Ethernetschnittstelle mit der Steuerung und haben so einen Zugriff auf das System.

Auf der Feldebene befinden sich die Frequenzumrichter mit den angeschlossenen Motoren. Im Gegensatz zur Bedienebene findet hier die Kommunikation über das Feldebussystem SERCOS<sup>1</sup> III statt. Optional besteht die Möglichkeit, übergeordnete Systeme über die PROFIBUS<sup>2</sup>-Schnittstelle anzubinden.

Über ein leistungsstarkes 24-Volt-Netzteil werden die Spannungsversorgungen von Bedienpanel und Steuerung, sowie die Bereitstellung der Steuerspannung für die Frequenzumrichter sichergestellt. Eine Absicherung der einzelnen Spannungen erfolgt ebenfalls über Leitungsschutzschalter.

---

<sup>1</sup>Serial Real-time Communication System

<sup>2</sup>Process Field Bus

## 3 | Realisierung

### 3.1 Aufbau und Funktion der Steuerung

#### 3.1.1 Zentrale Komponenten

In diesem Teil sollen die zentralen Komponenten des Antriebssystems ausführlicher behandelt werden. Die Datenblätter zu den hier beschriebenen Geräten sind im Anhang dieser Arbeit zu finden.

Abgesehen vom Winkelerfassungssystem, welches in einem separaten Unterpunkt dieses Kapitels noch umfassend erläutert wird, zählen Steuerung, Frequenzumrichter und Motoren zu den zentralen Bestandteilen des Systems.

Den Mittelpunkt des Antriebssystems bildet eine modulare und skalierbare Steuerung der Firma Bosch-Rexroth. Die Steuerung bietet mit SERCOS-, Ethernet-, und PROFIBUS-Schnittstelle drei unterschiedliche Möglichkeiten für die Kommunikation zu anderen Antriebskomponenten.

Dabei dient die Ethernetschnittstelle als Verbindung zwischen Steuerung und PC bzw. Touchpanel. Im Gegensatz hierzu findet die Kommunikation mit den Frequenzumrichtern über das Feldbussystem SERCOS III statt. Optional besteht die Möglichkeit, die Steuerung über die PROFIBUS-Schnittstelle mit übergeordneten Systemen zu verbinden.

Für die Anbindung externer Sensoren und Aktoren sind zusätzlich acht digitale Ein- und Ausgänge vorhanden, welche bei eventuellem Ausbau der Anlage noch erweiterbar sind. Das komplette Anwenderprogramm sowie die Software-Lizenzen werden auf einem leicht zugänglichen Flash-Medium gespeichert.[6] Abbildung 3.1 zeigt die Frontansicht der Steuerung.

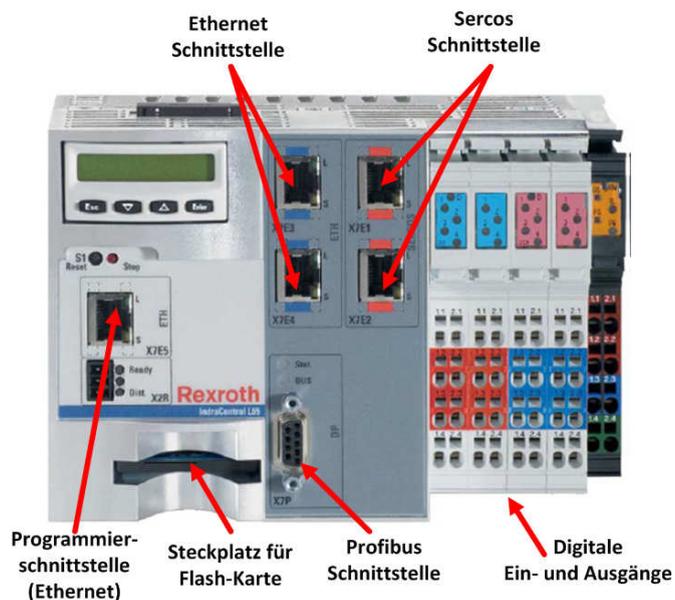


Abbildung 3.1: Frontansicht der Steuerung IndraControl L45.[6]

Passend zur Steuerung wurden die Frequenzrichter und Motoren ebenfalls von der Firma Bosch-Rexroth bezogen. Das hat den großen Vorteil, dass alle Antriebskomponenten perfekt aufeinander abgestimmt sind und somit dem Anwender ein erheblicher Arbeitsaufwand bei der Projektierung erspart bleibt.

Die Frequenzrichter sind auch bezüglich ihrer Leistung optimal auf die eingesetzten Motoren abgestimmt und schaffen besonders aufgrund ihrer Kompaktheit ideale Voraussetzungen für die Einbindung in das System. Als Kommunikationsschnittstelle zur Steuerung sowie untereinander, dient der SERCOS-Bus in dritter Generation. Außerdem verfügen die Kompaktumrichter über eine Reihe weiterer Anschlüsse und Schnittstellen, welche in Tabelle 3.1 aufgelistet sind.

Tabelle 3.1: Anschlüsse und Schnittstellen am Frequenzumrichter.

Klemme	Anschlussbezeichnung
X3	Netzanschluss
X4	Gebersystem
X5	Motor Leistungsanschluss
X6	Motor Temperatursensor
X13	24V Steuerspannung
X24/X25	SERCOS Bus
X31	8 digitale Ein-/Ausgänge
X32	Analogeingang
X47	Melderelais Betriebsbereitschaft/Modulbus
X77	Zwischenkreis

Wo sich die Anschlüsse am Gerät befinden, zeigen die Fotos in Abbildung 3.2. Der im Bild markierte, interne Bremswiderstand fungiert als Verbraucher für den Zwischenkreis und absorbiert die Bremsenergie, die beim Abbremsen eines Antriebs entsteht.

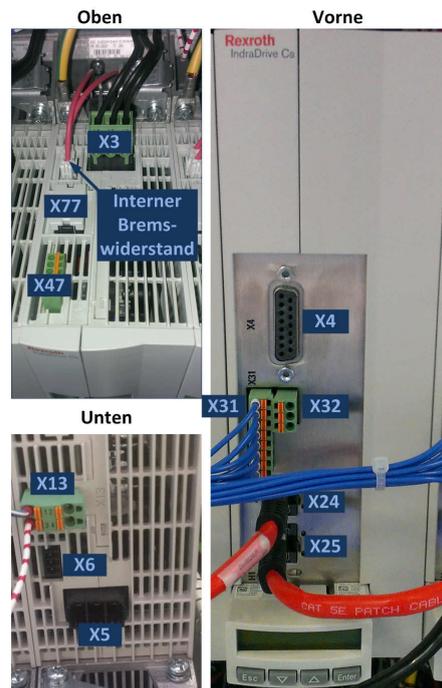


Abbildung 3.2: Anschlüsse und Schnittstellen am Frequenzumrichter.

Die Aufgabe eines Frequenzumrichters besteht im Wesentlichen darin, die von der Steuerung ausgegebenen Referenzsignale, in für den Antrieb brauchbare Leistungssignale umzuwandeln. Genauer gesagt wird die eingespeiste Netzspannung

mit fester Frequenz und Amplitude, in eine Wechselspannung mit variabler Frequenz und Signalamplitude für die individuelle Ansteuerung eines Motors umgewandelt. Diese Umwandlung wird in einem zweistufigen Prozess vollzogen. Im ersten Schritt wird die Wechselspannung mittels Gleichrichter in eine Gleichspannung gewandelt, bevor sie dann im nächsten Schritt wieder in eine Wechselspannung zurück gewandelt wird.

Ein Frequenzumrichter besteht also im einfachsten Fall aus einem Gleichrichter, dem Zwischenkreis und einem Wechselrichter (siehe Abbildung 3.3).

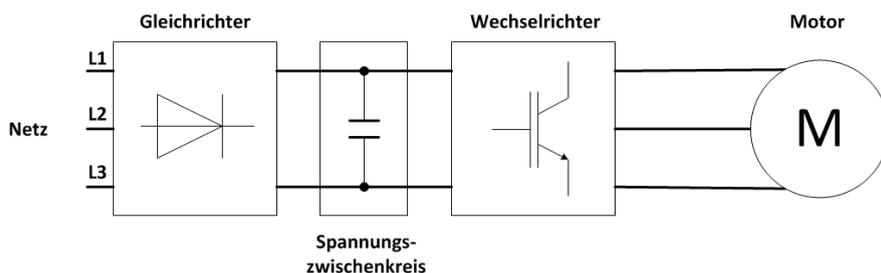


Abbildung 3.3: Schaltbild eines einfachen Frequenzumrichters.

Aufgrund der sich stetig weiter entwickelnden Technologien von Produktionsmaschinen, steigen entsprechend auch die Anforderungen an leistungsstarke Frequenzumrichter. Demzufolge arbeiten sie heutzutage nicht mehr nur als einfache Hilfs- oder Stellantriebe, sondern führen unter Zuhilfenahme von komplexen und leistungsfähigen Technologiefunktionen wichtige Maschinenfunktionen aus, deren Lösungen in der Vergangenheit meist auf mechanischer Ebene realisiert wurden. Beispiele hierfür sind Winkelsynchronlauf, elektronische Kurvenscheibe, Touch-Probe-Verarbeitung oder Momentanregelung. Durch die schnellen technologischen Fortschritte in der Digitaltechnik läuft es tendenziell darauf hinaus, dass immer mehr Funktionen in einen Servoregler integriert werden. Aus diesem Grund sind Servoverstärker schon heute in der Lage, auch komplexe Bewegungsabläufe zu steuern. Die Grenze zwischen Servoverstärker und Steuerung verschwindet somit zunehmend. Diese modernen und leistungsfähigen Baugruppen weisen dadurch viele Vorteile gegenüber konventionellen Lösungen auf. Beispiele hierfür sind eine freie und flexible Programmierbarkeit sowie die Realisierung einer autarken Steuerung ohne übergeordnete Logik.[7]

Als letztendlich ausführende Komponente kommen sogenannte Torquemotoren zum Einsatz. Das Funktionsprinzip eines Torquemotors ist dem eines Synchron-Drehstromantriebs gleich zu setzen. Torquemotoren gehören zur Familie der Direktantriebe und werden vorzugsweise für Anwendungen mit geringen Geschwindigkeiten und hohen Drehmomenten eingesetzt, sind jedoch vor allem aufgrund ihrer Bauart und -größe auch bestens für dieses Projekt geeignet.

In einer Vielzahl der Anwendungsbereiche bietet die Technologie der Direktantriebe im Vergleich zu anderen Technologien entscheidende Vorteile. Eine getriebelose, direkte Verbindung des Antriebs mit der Last, ermöglicht eine effiziente und leistungsstarke Konstruktion. Neben dem geräuscharmen Betrieb und der durch den geringen Verschleiß bedingt hohen Lebensdauer, sind eine hohe Dynamik und Positioniergenauigkeit weitere große Vorteile von Direktantrieben. Zusätzlich weisen Konstruktionen mit Direktantrieben kleine Elastizitäten und wenig Reibung auf, weshalb sie nahezu als wartungsfrei bezeichnet werden können.[8]

Mit einer Nenndrehzahl von 2500 Umdrehungen pro Minute, einem maximalen Drehmoment von 13 Nm und einer generellen Vakuumtauglichkeit erfüllen die eingesetzten Motoren alle Anforderungen problemlos.

Die Lieferung der Motoren erfolgt werksseitig in Form eines Bausatzes bestehend aus Rotor und Stator (siehe Abbildung 3.4).

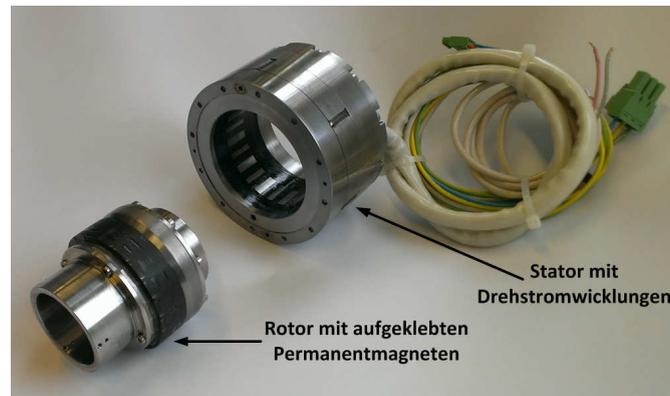


Abbildung 3.4: Motorbausatz bestehend aus Rotor und Stator.

Der Stator bildet den Primärteil und beinhaltet einen Eisenkern sowie die um 120 Grad je Polteilung zueinander versetzten Drehstromwicklungen.

Beim Sekundärteil, dem Rotor, handelt es sich um den drehenden Teil des Motors. Dieser setzt sich aus einem ringförmigen Stahlkörper mit aufgeklebten Permanentmagneten zusammen.

Die im Stator liegenden Drehstromwicklungen erzeugen ein hochpoliges, langsam rotierendes Drehfeld welches vom Rotor entsprechend verfolgt wird. Zwischen den Permanentmagneten des Rotors und dem Eisenkern des Stators herrschen erhebliche Anziehungskräfte. Um eine Relativbewegung zwischen Stator und Rotor zu ermöglichen, müssen diese Kräfte mit Hilfe mechanischer Führungen aufgenommen werden.[8]

In der Werkstatt des JCNS wurden die Einzelteile des Bausatzes zusammengefügt, gelagert und mit einem Gebersystem versehen. Abbildung 3.5 zeigt einen der Antriebe in fertiger Ausführung.



Abbildung 3.5: Fertige Ausführung eines Motors.

Neben dem Leistungsanschluss verfügen die Motoren über zwei standardmäßig im Stator integrierte Temperatursensoren. Der erste Sensor dient der Motorüberwachung. Dazu befindet sich in jeder Motorphase einer von drei in Reihe geschalteten Keramik-Kaltleiter-Widerständen (PTC<sup>1</sup>) vom Typ SNM.150.DK, die eine sichere, thermische Überwachung des Motors in allen Betriebsphasen gewährleisten sollen. Die Schaltcharakteristik der Sensoren ist in Abbildung 3.6 als Funktion des Widerstands in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Der Wert des Widerstands wurde in diesem Diagramm logarithmisch aufgetragen.

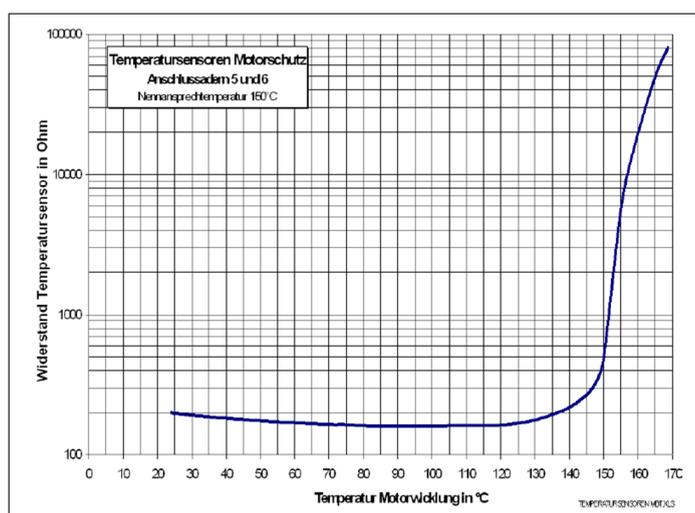


Abbildung 3.6: Schaltcharakteristik der Temperatursensoren PTC SNM.150.DK für den Motorschutz.[9]

<sup>1</sup>Positive Temperature Coefficient

Wie man der Kennlinie in Abbildung 3.6 entnehmen kann, erhöht sich der Widerstandswert des Kaltleiters bei ca. 150° Celsius schlagartig. Durch die sprunghafte Änderung des Widerstands wird der Motor über den Frequenzumrichter abgeschaltet.

Der Anschluss der Sensoren erfolgt entsprechend dem Anschlussplan in Abbildung 3.7 über die Klemme X6 des zugehörigen Frequenzumrichters. Die Abbildung zeigt gleichzeitig auch die Anschlussbelegung für die Motoren.

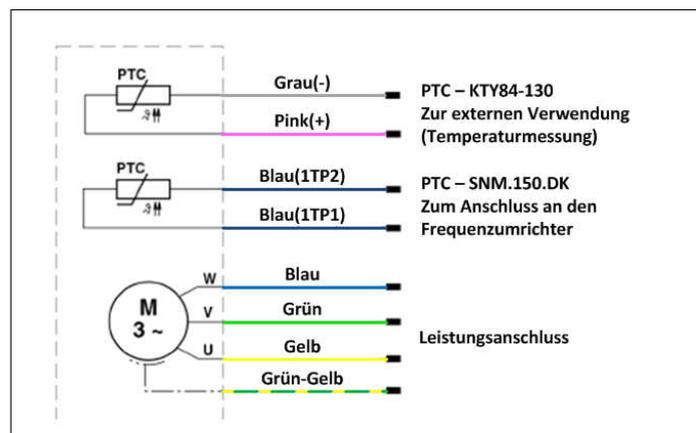


Abbildung 3.7: Anschlussplan für Motor und Temperatursensoren.[9]

Der zweite im Stator integrierte Sensor ist für eine externe Überwachung der Motortemperatur gedacht und dient nicht dem direkten Schutz des Motors. Bei diesem Sensor handelt es sich ebenfalls um einen Keramik-Kaltleiter-Widerstand (PTC), allerdings in einer anderen Variante (KTY84-130). Der Kennlinienverlauf in Abbildung 3.8 zeigt, dass sich jedem Temperaturwert ein bestimmter Widerstandswert zuordnen lässt. Auch hier wird der Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt.

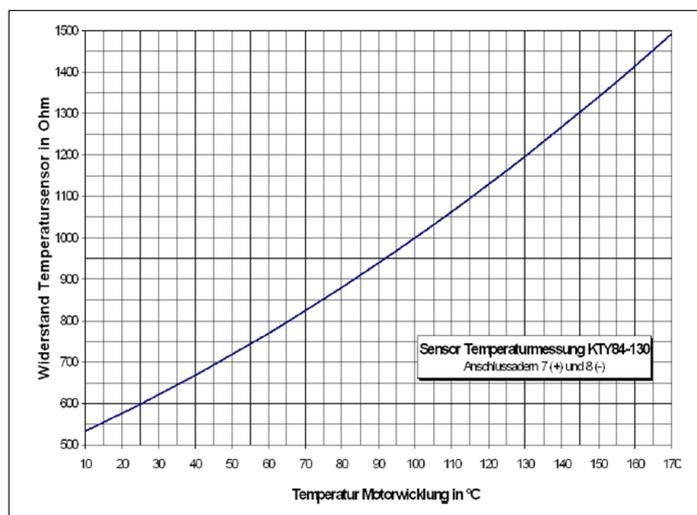


Abbildung 3.8: Kennlinie der Sensoren PTC KTY84-130 für die Temperaturüberwachung.[9]

Die Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur kann hinreichend über ein Polynom 3. Ordnung beschrieben werden. Hier steht  $R_{PTC}$  für den Widerstandswert in Ohm und  $T_{Motor}$  für die Temperatur des Motors in Grad Celsius. Setzt man die Temperatur als bekannt voraus, so kann der zugehörige Widerstand über die Formel in Gleichung (3.1) berechnet werden.

$$R_{PTC} = 1.065 \cdot 10^{-6} \cdot T_{Motor}^3 + 0.011 \cdot T_{Motor}^2 + 3.93 \cdot T_{Motor} + 492.78 \quad (3.1)$$

Möchte man umgekehrt die Temperatur über einen bekannten Widerstandswert ermitteln, kann Gleichung (3.2) zur Hand genommen werden.

$$T_{Motor} = 3.039 \cdot 10^{-8} \cdot R_{PTC}^3 - 1.44 \cdot 10^{-4} \cdot R_{PTC}^2 + 0.358 \cdot R_{PTC} - 143.78 \quad (3.2)$$

Mit dem Einsatz dieser Sensoren wird dem Benutzer immer die aktuelle Motortemperatur zur Verfügung gestellt. Außerdem wird die Option ermöglicht, die Antriebe bei Überschreiten einer bestimmten Temperatur abzuschalten.

### 3.1.2 Kommunikation

Der Einfluss industrieller Kommunikationssysteme wächst kontinuierlich. Keine Anlage im Bereich der Automatisierungstechnik kommt heute noch ohne ein Feldbussystem aus. Sie sind zu einem festen Bestandteil komplexer Maschinen und Anlagen geworden und ermöglichen die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten einer Antriebssteuerung.

Nur in wenigen Fällen erfolgt die Auswahl des eingesetzten Feldbussystems nach technischen Kriterien. Vielmehr sind die zu vernetzenden Steuerungskomponenten entscheidend für die Wahl des Feldbusses. Die Begründung liegt darin, dass jeder der führenden Hersteller von Steuerungen eine bestimmte Feldbustechnologie bevorzugt. Diese favorisierte Technologie ist auf Seiten des Herstellers optimal in das System eingebunden und erleichtert dem Anwender somit die Arbeit und den Umgang.

Die Steuerung in diesem Projekt verwendet für den internen Austausch von Daten ein Feldbussystem auf Basis der Ethernet-Technologie, das SERCOS Interface. Hierbei handelt es sich um eine digitale Antriebsschnittstelle, die sich bis heute zu einem weltweit akzeptierten Echtzeit-Kommunikationsstandard für anspruchsvolle Motion-Control-Anwendungen entwickelt hat.

Dank herausragender Eigenschaften bezüglich Echtzeit, Performance und Störsicherheit, in Kombination mit einem sehr großen Produkt- und Anbieterspektrum bietet die Schnittstelle höchste Attraktivität für den Anwender. SERCOS III ist bereits die dritte Generation dieser Familie. Alle Mechanismen wie auch Telegrammstruktur und Hardware-Synchronisation wurden von vorherigen Generationen beibehalten und auf den Ethernet-Standard übertragen.

Eine Möglichkeit für die Anbindung übergeordneter Systeme an die Steuerung des Choppersystems bietet der PROFIBUS. Die Verwendung dieses Feldbussystems ist vor allem über seine breite Akzeptanz innerhalb der Automatisierungstechnik zu begründen. Seit der Gründung 1989 hat er sich bis heute zum weltweit führenden Feldbussystem im Bereich der Automatisierungstechnik entwickelt und eignet sich daher hervorragend für die Vernetzung unterschiedlicher Systeme.

### 3.1.3 Richtlinien und Sicherheitsaspekte

Abgesehen von den Motoren befinden sich alle elektrischen Komponenten des Choppersystems in einem Schaltschrank. Die Planung eines Schaltschranks erfordert unter anderem die Auseinandersetzung mit Sicherheitsbestimmungen und Richtlinien bezüglich der verwendeten Komponenten. Um späteren Problemen bei der Inbetriebnahme der Anlage aus dem Weg zu gehen, ist diese Phase der Planung von enormer Wichtigkeit. Vor allem zwei Punkte sind besonders zu beachten:

- Mechanische Mindestabstände beim Einbau von Geräten
- EMV<sup>2</sup>-gerechter Aufbau der Installation

Speziell für Geräte mit hoher Wärmeentwicklung, wie zum Beispiel Frequenzumrichter, gibt es Richtlinien bezüglich der mechanischen Einbaubedingungen. Diese müssen unbedingt eingehalten werden um eine ausreichende Luftzirkulation garantieren zu können. Eine Missachtung dieser Richtlinien kann zu Überhitzung und im schlimmsten Fall sogar zur Zerstörung der Geräte führen.

Zusätzlich muss der Schaltschrank selbst über ein ausreichend dimensioniertes Belüftungssystem verfügen, um einen Hitzestau bei geschlossenen Schaltschrantüren zu vermeiden.

Für dieses Projekt wird ein Belüftungssystem verwendet, welches sich aus EMV-gerechten Lüftern und Austrittsfiltern zusammensetzt.

Zweiter wichtiger Punkt ist ein EMV-gerechter Aufbau der gesamten Installation. Neben dem Einsatz von Netzfiltern gibt es weitere Maßnahmen zur Funkentstörung von Anlagen.

1. Alle metallischen Teile des Schaltschranks müssen flächig und gut leitend miteinander verbunden werden. Hierbei sollte bei den Schaltschrantüren eine möglichst kurze Verbindung über Massebänder gewählt werden.[10]
2. Alle Signalleitungen sollten getrennt von den Netz- und Motorleitungen verlegt werden, um Koppelstrecken zu vermeiden. Der empfohlene Mindestabstand liegt bei 10 cm. Generell können Störeinkopplungen verringert werden, indem man Leitungen nahe an geerdeten Blechen wie beispielsweise der Schaltschrankwand verlegt.[10]
3. Leitungen von Messsystemen müssen zwingend abgeschirmt sein, wobei der Schirm an beiden Seiten der Leitung großflächig aufgelegt sein muss. Die Abschirmung darf an keiner Stelle unterbrochen werden.[10]

---

<sup>2</sup>Elektromagnetische Verträglichkeit

Für nun eine optimale EMV-Installation der Anlage zu erreichen, bietet es sich an, den Schaltschrank in verschiedene Bereiche aufzuteilen. Der Sinn liegt darin, den störungsfreien Bereich vom störungsbehafteten Bereich räumlich zu trennen. Generell sind diesbezüglich drei Bereiche zu unterscheiden:

- Störungsfreier Bereich (Zone 1)
- Störungsbehafteter Bereich (Zone 2)
- Stark Störungsbehafteter Bereich (Zone 3)

In Zone 1 befinden sich Komponenten wie beispielsweise Sicherungen, Klemmen, Netzteile etc. Grundlegend werden in diesen Bereich alle Bauteile eingeordnet, die nicht unmittelbar mit dem Antrieb in Verbindung stehen.

Netzanschlussverbindungen sowie Schnittstellenleitungen des Antriebsregelgerätes gehören in die Zone 2. In diesem Fall gehören dazu unter anderem die Verbindungskabel des Gebersystems.

Übrig bleiben die Frequenzumrichter inklusive der Motorleistungskabel. Aufgrund ihrer hohen Störwahrscheinlichkeit werden sie in Zone 3 eingeordnet.

Die räumliche Trennung der Bereiche wurde in diesem Projekt durch eine beidseitige Bestückung der Montageplatte erreicht. Auf der Vorderseite befinden sich die Komponenten der Zone 1 und auf der Rückseite befinden sich ausschließlich Betriebsmittel der Zonen 2 und 3 (siehe Abbildung 3.9).

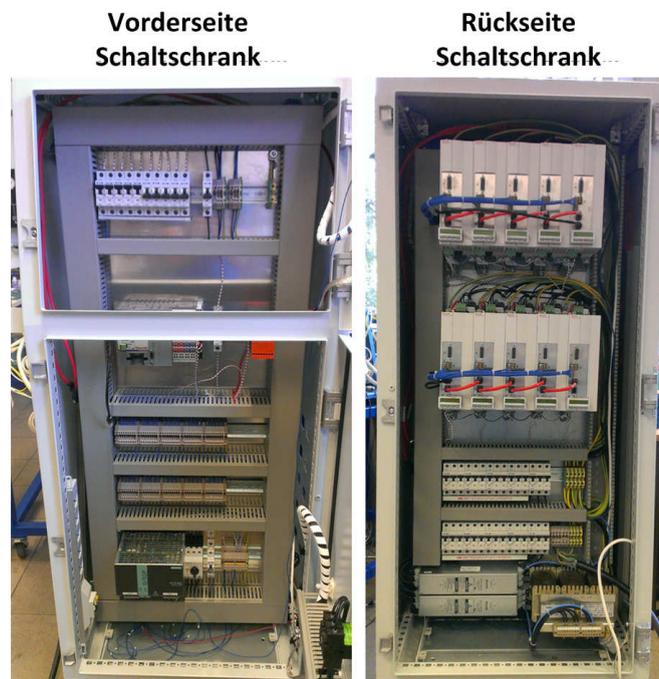


Abbildung 3.9: Schaltschrankansicht von vorne (linkes Bild) und hinten (rechtes Bild).

Neben den Richtlinien für einen störungsfreien Betrieb gibt es auch noch Sicherheitsaspekte, die von der Anlage zu erfüllen sind. Besonders im Fehlerfall muss die Sicherheit des Systems gewährleistet sein. So müssen beispielsweise beim Ausfall eines Antriebs alle anderen Antriebe ebenfalls zum Stillstand kommen um eine Beschädigung der mechanischen Konstruktion zu vermeiden. Des Weiteren dürfen die Motoren nicht abrupt zum Stillstand kommen, da auch in solchen Fällen Bauteile zerstört werden können. Die Steuerung bietet mit konfigurierbaren Fehlerreaktionen mehrere Möglichkeiten zur Realisierung der Sicherheitsvorgaben. Die Fehler werden je nach Stellenwert verschiedenen Fehlerklassen zugeordnet. Tabelle 3.2 zeigt eine Übersicht der Fehlerklassen und deren zugehörige Diagnosennummern.

Tabelle 3.2: Übersicht Fehlerklassen.

Diagnose-Nummer	Fehlerklasse
F2xxx	nichtfataler Fehler
F3xxx	nichtfataler Sicherheitstechnik-Fehler
F4xxx	Schnittstellenfehler
F6xxx	Fahrbereichsfehler
F8xxx	fataler Fehler
F9xxx	fataler Systemfehler

Je nach Fehler können für die Antriebe beliebige Fehlerreaktionen eingestellt werden. Der Einfachheit halber wurde für alle Fehlerklassen eine Momentfreischaltung der Antriebe eingestellt. So werden alle Motoren im Fehlerfall spannungsfrei geschaltet und laufen ungeregelt aus. Die Einstellung der Fehlerreaktion erfolgt entsprechend Abbildung 3.10 innerhalb der Softwareumgebung.

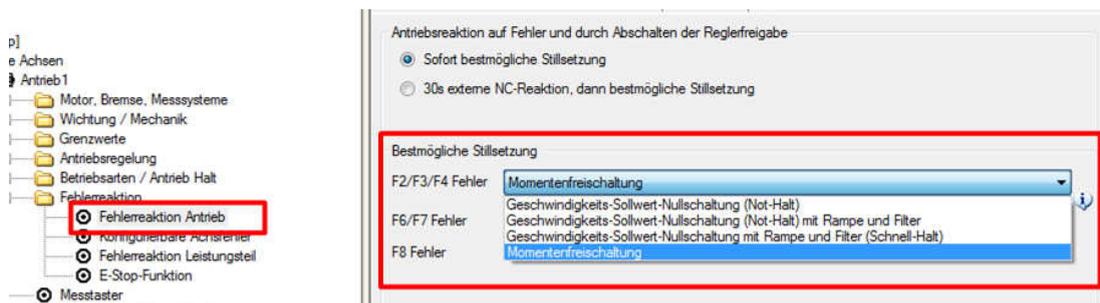


Abbildung 3.10: Auswahl der Fehlerreaktion.

Alle Fehler werden sowohl auf dem Display der Steuerung, wie auch auf dem Display des betroffenen Frequenzumrichters angezeigt. Zusätzlich werden die Fehler inklusive genauer Beschreibung auf dem Bedienpanel ausgegeben. Eine Quittierung erfolgt wahlweise über die Steuerung, einen angeschlossenen PC, oder auf dem einfachsten Weg direkt über das Bedienpanel. Erst nach erfolgreicher Beseitigung und Quittierung aller Fehler kann die Anlage wieder in Betrieb genommen werden.

## 3.2 Winkelerfassungssystem

### 3.2.1 Theoretische Hintergründe

Winkelerfassungssysteme werden immer dann benötigt, wenn Aussagen bezüglich der aktuellen Lage von Antrieben zu treffen sind. Da das Choppersystem einen geregelten Betrieb erfordert, ist der Einsatz eines solchen Systems in unserem Fall unvermeidbar.

Aufgrund der gewünschten mechanisch kompakten Bauform, den Anforderungen einer Vakuumtauglichkeit von bis zu  $10^{-3}$  mbar sowie einer Mindestauflösung der Winkelgenauigkeit von 0,1 Grad, wird ein Winkelerfassungssystem der Firma Numerik Jena eingesetzt. Das System besteht aus einem Encoder (Messkopf), einer Rasterscheibe (Maßstab) und dem Verbindungskabel zum Servoverstärker. Am Ende des Verbindungskabels befindet sich ein Stecker mit integrierter Auswerteelektronik. Da im Umgang mit Neutronen Magnetfelder möglichst vermieden werden sollten, bietet dieses System durch eine unmagnetische Variante des Messkopfes einen zusätzlichen Vorteil. Abbildung 3.11 zeigt die Komponenten des Winkelerfassungssystems.

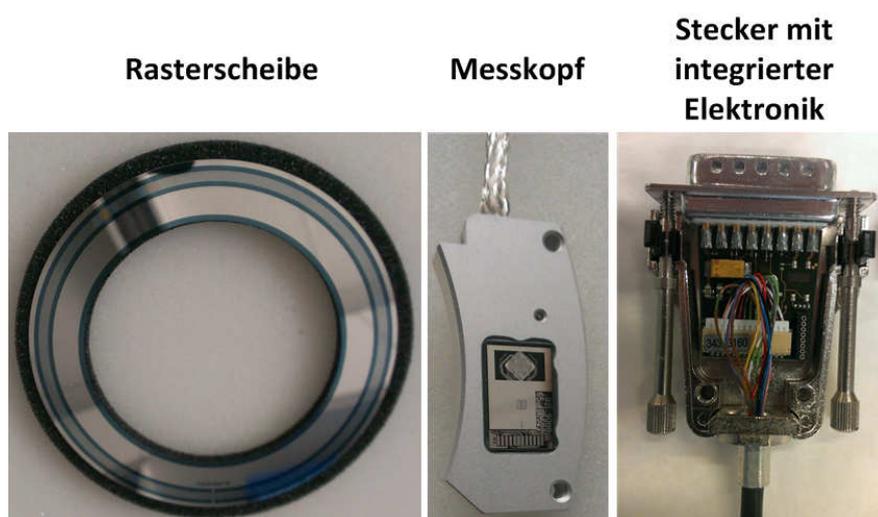


Abbildung 3.11: Komponenten des Winkelerfassungssystems.

Die Abtastung der Rasterscheibe über den Messkopf erfolgt inkrementell und opto-elektronisch. Da eine inkrementelle Messung nur relativ zu einem bestimmten Punkt ist, wird für die genaue Bestimmung der Antriebslage eine Referenzposition benötigt. Dafür befindet sich auf der Rasterscheibe neben der Zählspur ein Referenzspur mit einer Unterbrechung, die als Referenzmarke dient (siehe Abbildung 3.12).

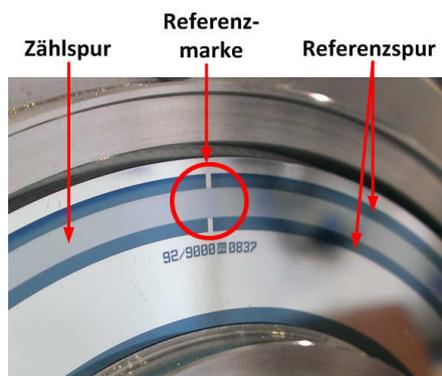


Abbildung 3.12: Zähl- und Referenzspur.

Im Bereich der Weg- und Winkelmessung haben sich optische Abtastverfahren schon seit geraumer Zeit auf dem Markt etabliert. Da die photoelektrische Abtastung berührungslos erfolgt, arbeitet sie verschleißfrei und ist außerdem in der Lage, selbst feinste Teilungsstriche von nur wenigen Mikrometern Breite zu detektieren.

Mit der Durchlicht- und der Auflichtabtastung stehen zwei verschiedene Verfahren zur Auswahl. Für diese Anwendung kommt ein Winkelerfassungssystem mit Auflichtabtastung zum Einsatz. Hier sind die fotoelektrischen Elemente im Gegensatz zur Durchlichtabtastung auf der gleichen Seite wie die Lichtquelle angeordnet. So muss weder der Maßstab lichtdurchlässig sein, noch muss und der Messkopf den Maßstab umgreifen. In Abbildung 3.13 ist der prinzipielle optische Strahlengang der Abtastensoren dargestellt.[11]

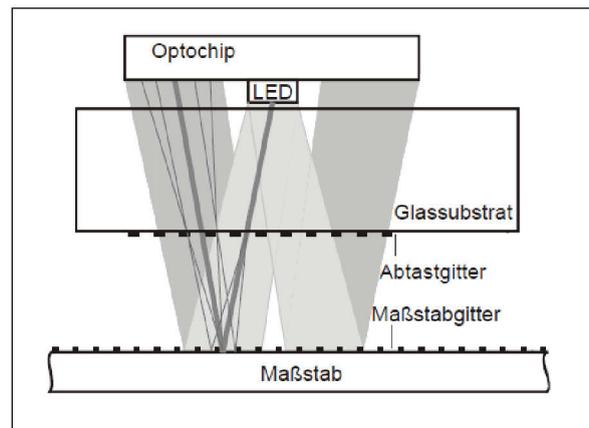


Abbildung 3.13: Prinzipiell optischer Strahlengang.[11]

Das Licht der LED<sup>3</sup> im Messkopf durchleuchtet ein Abtastgitter und fällt auf die Rasterscheibe. Hier wird es reflektiert und gelangt wiederum durch das Gitter, bevor es auf ein PIN<sup>4</sup>-Fotodiodenarray fällt.

Abtastgitter und Maßstabgitter unterscheiden sich in den Gitterabständen und sind verdreht zueinander angeordnet. Durch diese Verdrehung werden sogenannte Moiré-streifen erzeugt, die sich bei Relativbewegung der Gitter über das Fotodiodenarray bewegen. Durch die spezielle Anordnung der Empfängerfelder des Fotodiodenarrays entsteht eine Phasenverschiebung der detektierten Signale.[11] Abbildung 3.14 zeigt das Empfängerarray auf dem Messkopf.

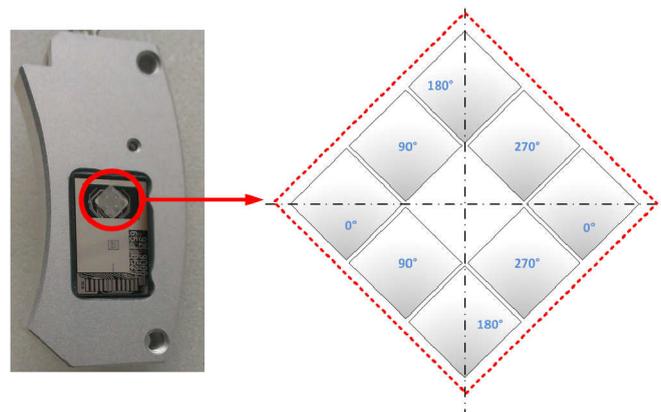


Abbildung 3.14: Fotodiodenarray.

Durch die symmetrische Anordnung der Empfänger ergibt sich eine effiziente Nutzung der Fläche. Zusätzlich werden dadurch Ungenauigkeiten des Messkopfes

<sup>3</sup>Light Emitting Diode

<sup>4</sup>positive intrinsic negative

gegenüber der Rasterscheibe weitestgehend kompensiert. Über die Empfängerfelder werden vier Signale detektiert, die um jeweils 90 Grad zueinander versetzt sind. Die Fotodiodenarrays eignen sich zur gleichzeitigen Abtastung von Mess- und Referenzspur.

Die maximale Auflösung des Systems wird maßgeblich von der Strichzahl auf der Rasterscheibe bestimmt. Eine Steigerung wäre lediglich durch eine Interpolation des erzeugten Signals in der Auswertelektronik möglich, ist jedoch für diese Anwendung nicht relevant.

Unter der Auflösung  $A$  versteht man den kleinsten Wert des Winkels, den das System noch erkennen kann. Zur Berechnung dient folgende Formel:

$$A = \frac{360^\circ}{Z \cdot i \cdot N} \quad (3.3)$$

Dabei steht  $Z$  für die Strichzahl der Rasterscheibe,  $i$  für den Interpolationsfaktor der Auswertelektronik und  $N$  für den Faktor des Auswertemodus. Da keine Interpolation über die Elektronik erfolgt, ist  $i$  mit dem Wert 1 anzunehmen. Da eine einfache Auswertung der Signale vorliegt, ist auch der Faktor  $N$  dem Wert 1 zu besetzen.

Um die geforderte Genauigkeit des Winkels von 0,1 Grad zu erreichen, wird eine Rasterscheibe mit 9000 Teilstrichen verwendet. Die nächst höhere Strichzahl wäre nicht mehr kompatibel mit der Geberschnittstelle des Frequenzumrichters gewesen. Der Grund hierfür ist, dass die maximale Eingangsfrequenz dieser Schnittstelle bei 200 kHz liegt. Das Ausgangssignal des Messsystems muss folglich kleiner oder gleich dieser Frequenz sein. Berechnen lässt sich die Frequenz des Ausgangssignals  $f_{abast}$  über die Gleichung (3.4) aus dem Produkt von Strichzahl  $Z$  und Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ .

$$f_{abast} = Z \cdot \omega \quad (3.4)$$

Das Ausgangssignal hat die Periodendauer  $T$ . Dabei entspricht eine Signalperiode genau dem Abstand zwischen zwei Teilstrichen auf der Rasterscheibe (siehe Abbildung 3.15). Für eine Umdrehung der Scheibe ergeben sich entsprechend der Strichzahl 9000 Perioden.

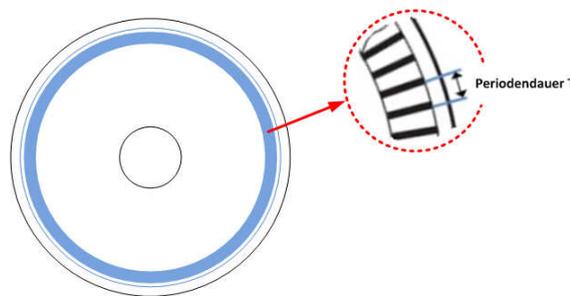


Abbildung 3.15: Schematische Darstellung der Rasterscheibe.

Die erzeugten Signale werden von der Auswertelektronik des Gebers bearbeitet und anschließend dem Frequenzumrichter in Form von zwei sinusförmigen Signalen zur Verfügung gestellt. Diese Signalform bietet den Vorteil einer hohen Auflösung und Interpolierbarkeit. Abbildung 3.16 zeigt einen beispielhaften Verlauf der Spannungen. Die Diagramme stellen die Funktion der Spannung  $U$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  dar.

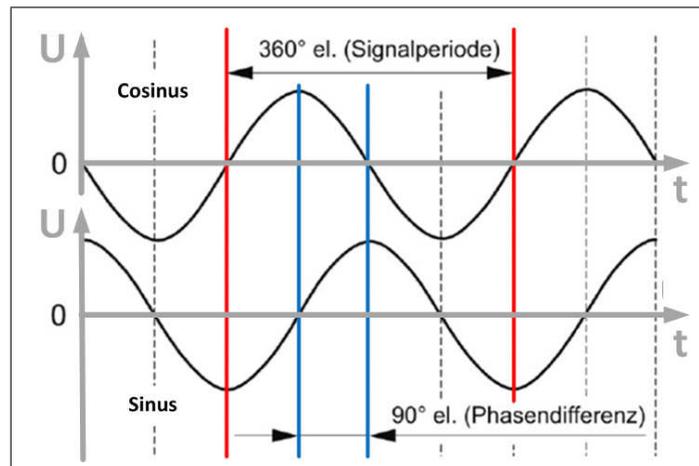


Abbildung 3.16: Signalverlauf der Geberspannungen.[12]

### 3.2.2 Hard- und softwaremäßige Einbindung in das Antriebssystem

Die Rasterscheiben wurden hochpräzise und zentrisch auf einen Edelstahlring aufgeklebt, welcher mechanisch mit dem Rotor des Motors verbunden ist. Auch für die Montage des Messkopfes wurde ein Drehteil gefertigt, welches fest mit dem Stator verschraubt ist. Die Ausrichtung dieser beiden Teile ist in Bezug auf die Genauigkeit des Systems von enormer Wichtigkeit, da bereits kleine Ungenauigkeiten zu großen Signalabweichungen führen können. Die folgende Abbildung 3.17 zeigt einen komplett montierten Motor mit integriertem Gebersystem, sowie die Anschlussstelle des Messsystems am Frequenzumrichter.



Abbildung 3.17: Motor mit Rasterscheibe und Messkopf.

Der Anschluss des Gebersystems erfolgt über die Klemme X4 am Frequenzumrichter. Da jedoch die Eingangsbelegung der Geberschnittstelle werksseitig nicht mit der Belegung des Steckers übereinstimmt, wird zusätzlich ein Adapter verwendet. Tabelle 3.3 zeigt die Belegung von Stecker und Geberschnittstelle.

Tabelle 3.3: Belegung von Stecker und Geberschnittstelle.

Pin	Belegung Stecker	Belegung Geberschnittstelle
1	-	Abschirmung
2	-	Cosinus +
3	-	Cosinus -
4	Referenzsignal -	GND
5	Cosinus -	Sinus +
6	Sinus -	Sinus -
7	-	-
8	+5V	-
9	GND	Referenzsignal +
10	-	Referenzsignal -
11	-	-
12	Referenzsignal +	+5V
13	Cosinus +	-
14	Sinus +	-
15	-	Sense

### 3.2.3 Adjustment-Tool

Das Adjustment-Tool der Firma Jena Numerik bietet die Möglichkeit einer elektronischen Feinjustierung zur Anpassung der Signale an mechanische Ungenauigkeiten. Durch eine interne, automatische Signalregelung im Messkopf, werden Amplitude und Offset der analogen Fotodiodensignale ihrem Sollwert angepasst. Hierdurch können Messfehler durch Verunreinigungen der Rasterscheibe sowie Ungenauigkeiten der mechanischen Justierung begrenzt werden. Die Lage des Referenzimpulses und die Phasenlage zwischen Sinus- und Cosinussignal werden durch diese Regelung nicht beeinflusst. Um Störeinflüsse beim Abgleich möglichst zu vermeiden, ist es empfehlenswert lediglich die Spannungsversorgung des Servoverstärkers an den Geber anzuschließen.[13] Zum Abgleich der Signale wird das Messsystem nun wie in Abbildung 3.18 dargestellt, über einen 8-poligen Diagnosestecker mit dem PC verbunden.

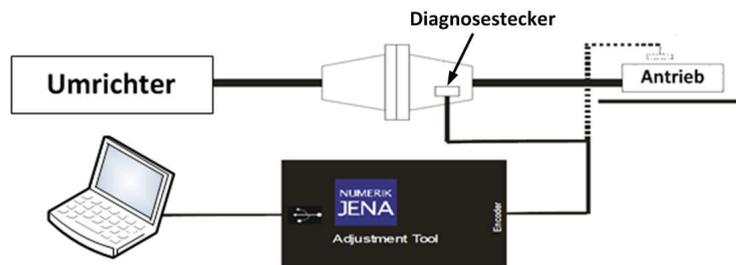


Abbildung 3.18: Anschluss Diagnosestecker.[13]

Wird die Rasterscheibe mit einer konstanten Geschwindigkeit von mindestens 1 mm/s relativ zum Messkopf bewegt, werden die Signale ausgewertet und über die Software in Form einer Lissajous-Figur ausgegeben. Lissajous-Figuren entstehen allgemein durch die Überlagerung von harmonischen Schwingungen. Bezogen auf diesen Fall werden die vom Geber erzeugten Sinus- und Cosinusschwingungen überlagert. Über die Form der Figuren können Rückschlüsse auf Frequenz und Phasenlage der überlagerten Spannungssignale gezogen werden.

Außerdem lassen Form und Lage dieser Signale Rückschlüsse auf die Anbaugüte des Gebers zu, welche entscheidend für eine fehlerfreie Funktion und eine hohe Genauigkeit des Systems ist.

Beim Anbau des Gebersystems entstehen durch Toleranzen der mechanischen Fertigung Freiheitsgrade. Besonders an den Punkten, wo der Messkopf mit dem Stator des Motors verschraubt wird, entstehen vergleichsweise große Spielräume für eine ungenaue Montage. Abbildung 3.19 zeigt, welche Freiheitsgrade bei der Montage des Gebersystems entstehen.

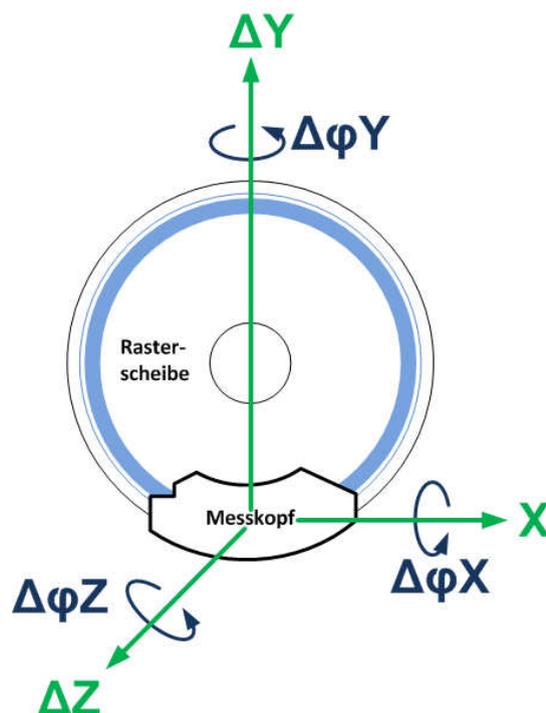


Abbildung 3.19: Freiheitsgrade.

Die folgenden Ausführungen enthalten Beispiele für die Auswirkungen von Montageungenauigkeiten auf das Messsignal. Die betreffenden Grafiken zeigen Ausschnitte aus der Softwareumgebung des Adjustment-Tools.

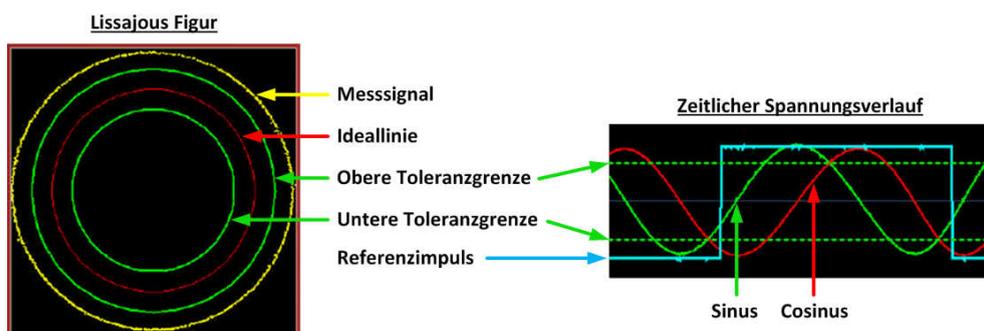


Abbildung 3.20: Messsignal mit Amplitudenfehler.[13]

Abbildung 3.20 zeigt die Auswertung eines Messsignals mit Amplitudenfehler. Links im Bild wird das Signal in Form einer Lissajous-Figur dargestellt. Die rechte Grafik zeigt den zeitlichen Spannungsverlauf von Sinus- und Cosinus-Schwingung. Das Messsignal befindet sich aufgrund zu großer Amplituden außerhalb des grün markierten Grenzbereichs. Mögliche Ursachen können Abweichungen der Freiheitsgrade  $\Delta Z$ ,  $\phi X$ ,  $\phi Y$  und/oder  $\phi Z$  sein.

Die folgende Grafik in Abbildung 3.21 zeigt ein Messsignal mit Offsetfehler.

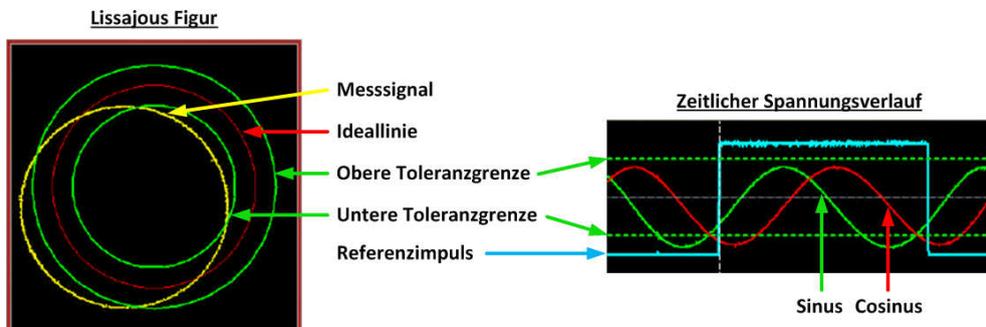


Abbildung 3.21: Messsignal mit Offsetfehler.[13]

Die Signale weisen zwar korrekte Amplitudenwerte auf, liegen aber aufgrund eines falschen Offset dennoch nicht innerhalb des Grenzbereichs. Diese Art von Fehler kann durch die Verschiebung des Messkopfes in Y-Richtung ( $\Delta Y$ ) und/oder durch einen fehlerhaften Winkel  $\varphi Y$  entstehen.

Liegen die Winkel der Y- und/oder Z-Achse nach dem Anbau des Messkopfes außerhalb des Toleranzbereichs, entstehen sogenannte Phasenfehler (siehe Abbildung 3.22).

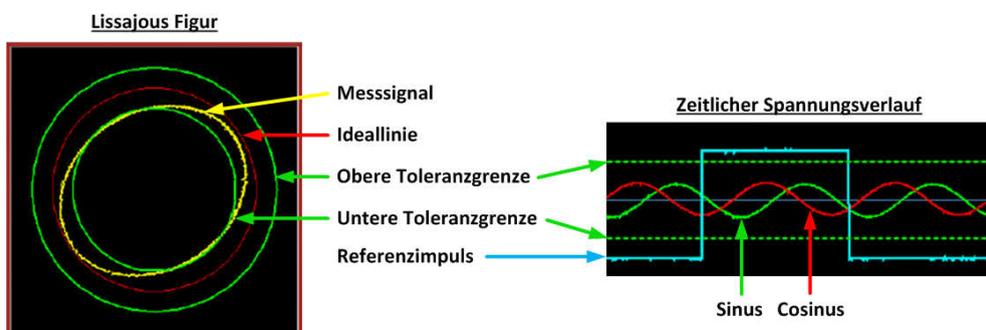


Abbildung 3.22: Messsignal mit Phasenfehler.[13]

Im Regelfall beträgt der Phasenwinkel zwischen Sinus- und Cosinussignal exakt 90 Grad. Sollte es Abweichungen zu diesem Wert geben, spricht man von einem Phasenfehler. Zu kontrollieren sind in diesem Fall die Winkel  $\varphi Y$  und/oder  $\varphi Z$ , die als Verursacher solcher Fehler in Frage kommen können.

Weiterhin können Signalformen auftreten, in denen sich die Amplitudenwerte von Sinus und Cosinus unterscheiden. Zwischen den beiden Signalen liegt somit keine Symmetrie mehr vor. Folglich werden diese Fehler als Symmetriefehler bezeichnet.

Abbildung 3.23 zeigt ein Beispiel für einen Symmetriefehler als Folge einer fehlerhaften Gebermontage. Neben einer möglichen Verschiebung in Z-Richtung ( $\Delta Z$ ), können sämtliche Winkelfehler  $\varphi X$ ,  $\varphi Y$  und/oder  $\varphi Z$  als Ursache vorliegen.

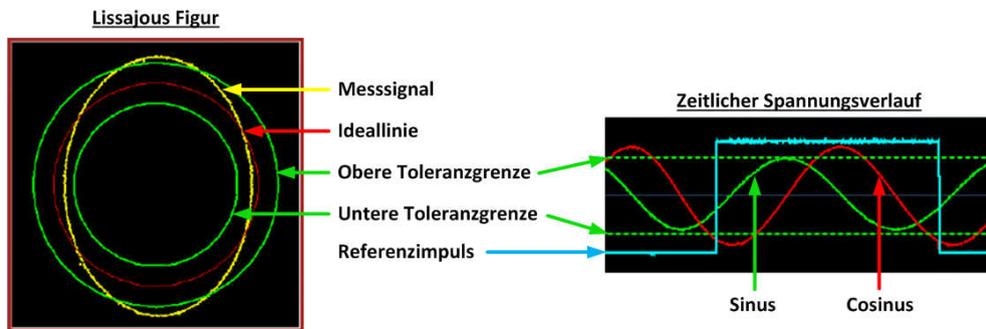


Abbildung 3.23: Messsignal mit Symmetriefehler.[13]

Treten während der Inbetriebnahme solche oder ähnliche Signalformen auf, ist der Messkopf mechanisch neu zu justieren. Sollte eine mechanische Neujustierung dennoch erfolglos sein, so können die Signale mit einem elektronischen Abgleich nachgeregelt werden.

Für diesen Abgleich bietet die Firma Jena-Numerik ein Softwaretool namens Adjustment-Tool an. Abbildung 3.24 zeigt eine Übersicht der Softwareumgebung.

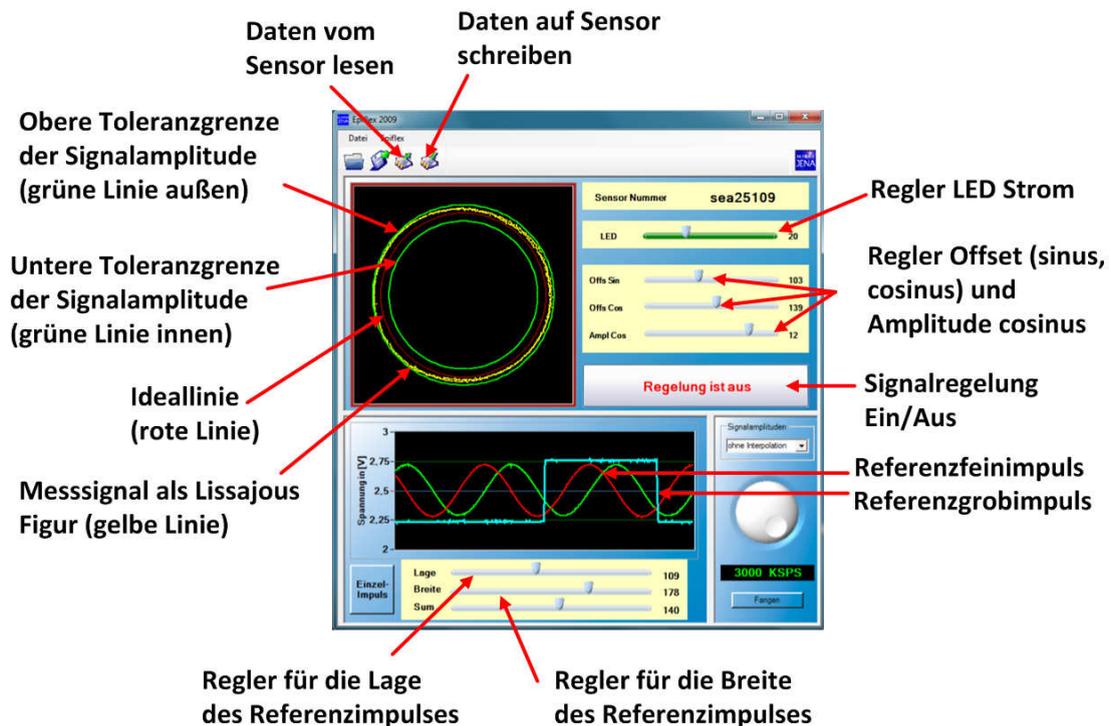


Abbildung 3.24: Übersicht Adjustment-Tool.

Das Tool bietet über die verschiedenen Parametereinstellungen die Möglichkeit für eine optimale Nachregelung der Signale. Um die Verstellung der Regler zu ermöglichen, muss vorab die Signalregelung deaktiviert werden.

Empfehlenswert ist es, mit der Nachregelung über den LED-Regler zu beginnen. Hierdurch werden die Amplituden von Sinus- und Cosinussignal gleichermaßen beeinflusst. Die Verstellung dieses Reglers wirkt sich proportional auf den Durchmesser der Lissajous-Figur aus.

Symmetriefehler können mit Hilfe des Reglers `AmplCos` beseitigt werden. Die Amplitude des Cosinussignals sollte hierbei der des Sinussignals angeglichen werden.

Die letzten zwei wichtigen Parameter lassen sich mit Hilfe der Regler für Sinus- und Cosinusoffset verändern. Die beiden Signale können so auf ein gleiches Niveau gebracht werden. Dieser Abgleich bewirkt bezogen auf die Lissajous-Figur eine horizontale bzw. vertikale Verschiebung. Nach erfolgreichem Abgleich der Signale sollte die automatische Signalregelung wieder eingeschaltet werden.

Unter bestimmten Umständen muss auch das Referenzsignal abgeglichen werden. Die Darstellung des Signals ist im unteren Bereich des Softwarefensters zu finden (siehe Abbildung 3.24). Mit Hilfe der beiden Regler für Lage und Breite, kann der Grobimpuls festgelegt werden. Die Einstellung sollte hierbei unter Beachtung der Toleranzen in Abbildung 3.25 erfolgen.

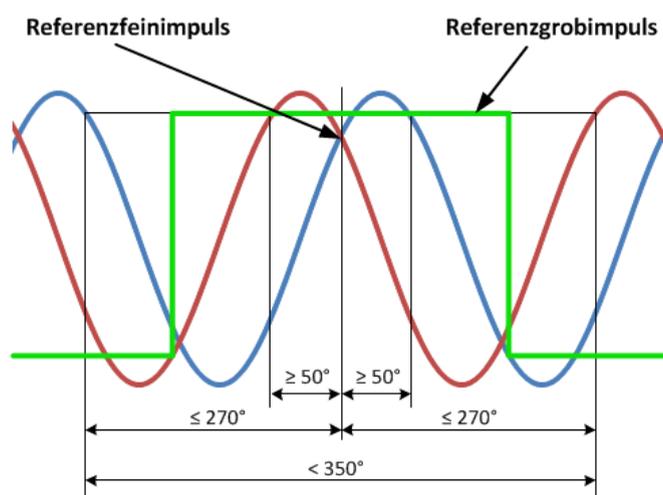


Abbildung 3.25: Toleranzen des Referenzimpulses.

Abbildung 3.26 stellt zwei Beispiele für einen fehlerhaften Grobimpuls dar. Das obere Bild zeigt einen zu breiten Grobimpuls, der gleich zwei Feinimpulse umschließt. Hierdurch entsteht eine doppelte Generierung des Referenzimpulses. Die Grafik unten im Bild zeigt einen verschobenen Grobimpuls, der keinen Feinimpuls einschließt. In diesem Fall kann keine Auswertung eines Referenzsignals zustande kommen.

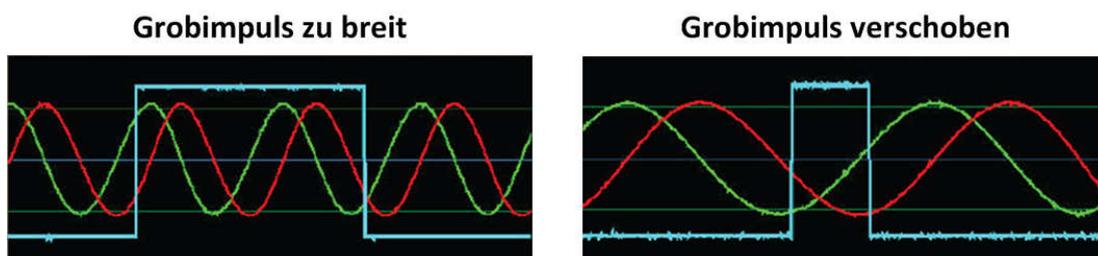


Abbildung 3.26: Fehlerhafte Referenzimpulse.[13]

### 3.3 Programmierung der SPS mit Indraworks Engineering

Der letzte entscheidende Punkt in der Realisierung des Fächerchoppers war die Projektierung und Programmierung der Steuerung. Um den Rahmen dieses Kapitels nicht zu sprengen, werden hier nur die grundlegenden Schritte der Inbetriebnahme beschrieben.

#### 3.3.1 Anlegen eines Projekts

Nach dem Anlegen eines neuen Projekts in der Software IndraWorks Engineering, erscheint ein Startbildschirm. Auf der rechten Seite des Bildschirms befindet sich eine Bibliothek, in der alle gängigen Hardwarekomponenten der Firma Bosch-Rexroth hinterlegt sind. Links im Bild findet man den Projektexplorer, indem das noch leere Projekt angelegt wurde. Im ersten Schritt wird diesem Projekt (BA\_Chopper) per Drag-and-Drop die Steuerung (IndraMotion MLC L45) zugefügt (siehe Abbildung 3.27).

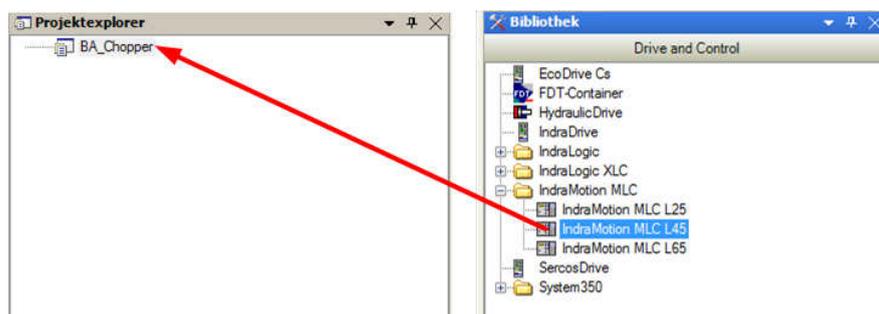


Abbildung 3.27: Startbildschirm Indraworks.

Nachfolgend muss die Steuerung konfiguriert werden. Die wichtigsten Eingaben sind dabei neben dem Namen, die IP<sup>5</sup>-Adresse und die verwendete Firmware-Version. Abschließend erfolgt die Zuordnung der vorhandenen Schnittstellen. Abbildung 3.28 zeigt die Abfolge dieser Schritte.

<sup>5</sup>Internetprotokoll

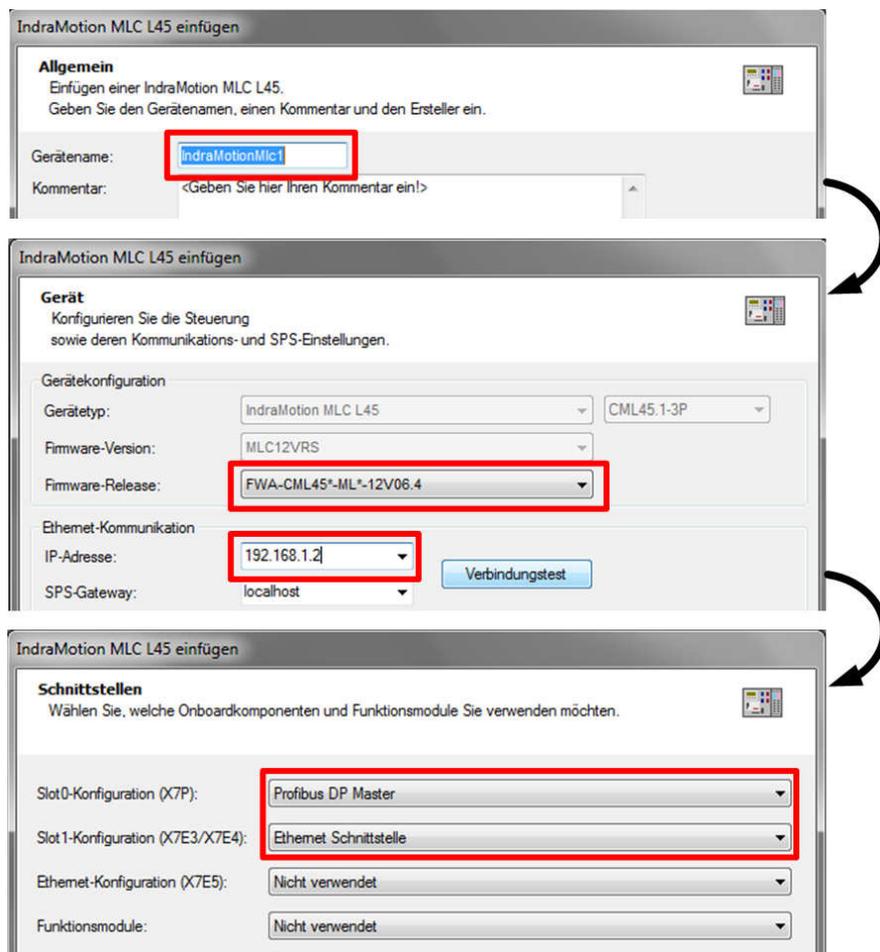


Abbildung 3.28: Konfiguration der Steuerung.

Nachdem die Steuerung erfolgreich in das Projekt eingebunden wurde, können alle angeschlossenen Geräte hinzugefügt werden. In diesem Projekt betrifft das die zehn Frequenzumrichter. Der einfachste Weg ist das Scannen der Buskonfiguration. Mit dieser Funktion werden alle mit dem SERCOS-Bus verbundenen Geräte dem Projekt hinzugefügt. Die Adressierung der SERCOS-Teilnehmer übernimmt ebenfalls die Steuerung. (siehe Abbildung 3.29).

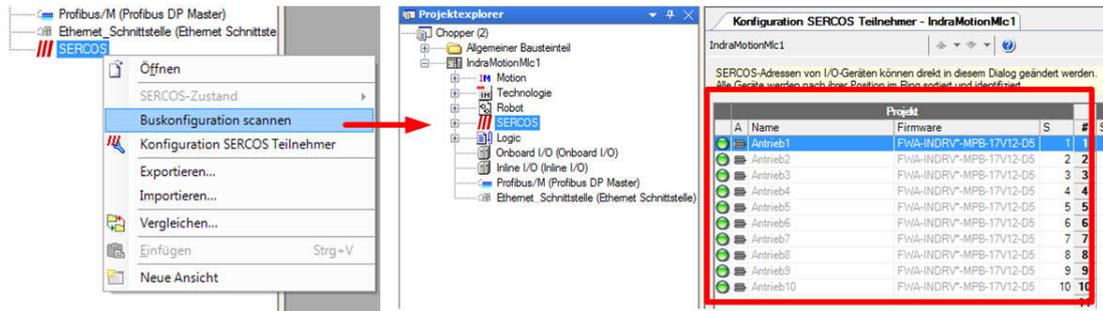


Abbildung 3.29: Konfiguration der SERCOS Teilnehmer.

Alle Antriebe befinden sich anschließend im Projekt und können individuell bearbeitet werden. Der nächste Punkt in der Inbetriebnahme ist die Zuordnung und Konfiguration der angeschlossenen Motoren. Dies geschieht im Drop-down-Menü des jeweiligen Antriebs unter dem Punkt Motor (siehe Abbildung 3.30).

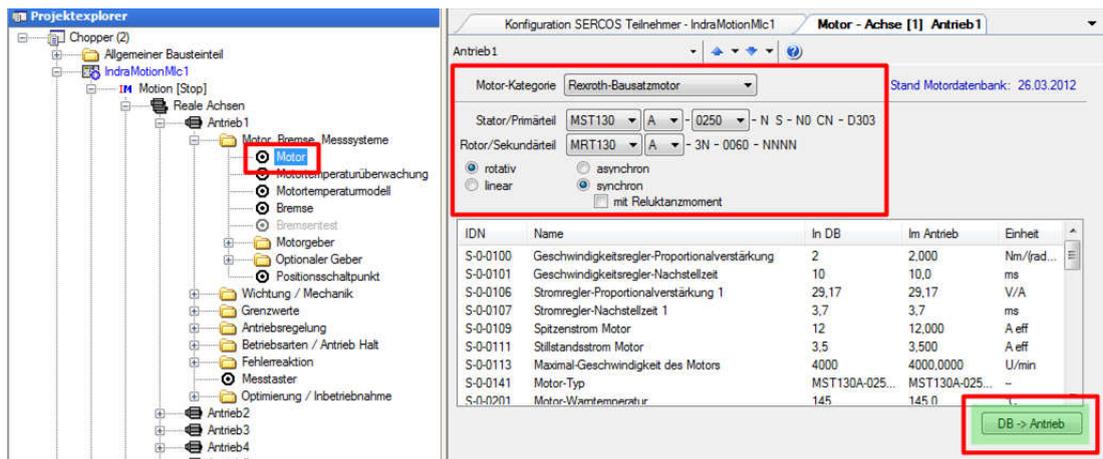


Abbildung 3.30: Konfiguration des Antriebs.

Hier besteht die Möglichkeit, alle erforderlichen Parameter wie Motor-Kategorie, Stator/Primärteil und Rotor/Sekundärteil dem angeschlossenen Motor anzupassen. Da die Motoren ebenfalls Produkte der Firma Bosch-Rexroth sind, ist innerhalb der Software bereits eine komplette Parameterliste hinterlegt. Diese Parameterliste kann durch Betätigen der Schaltfläche DB->Antrieb von der Datenbank in den Antrieb geladen werden.

Unerlässlich für eine einwandfreie Regelung ist die softwaremäßige Einbindung des Gebersystems in das Projekt. Im Drop-down-Menü des Antriebs finden sich auch diesbezüglich einige Unterpunkte im Hauptordner des Motorgebers.

Im ersten Schritt müssen der Steuerung die Art des Motorgebers, die angeschlossene Schnittstelle und die Geberauflösung bekannt gemacht werden. Außerdem muss das Messsystem als Rotationsgeber deklariert werden. Bei den Antrieben 1 bis 5 muss zusätzlich der Bewegungssinn invertiert werden, da die Motoren sich entgegengesetzt der Zählrichtung des Gebers bewegen. Da ein inkrementelles Gebersystem verwendet wird, ist die Absolutgeberauswertung mit dem Wert 0 im Fenster des Absolutgeberbereichs zu deaktivieren (siehe Abbildung 3.31).

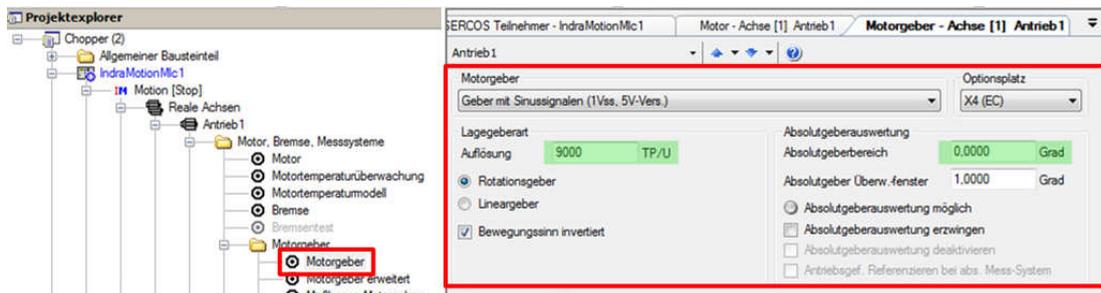


Abbildung 3.31: Konfiguration Motorgeber.

Der Unterpunkt Maßbezug Motorgeber enthält Einstellmöglichkeiten für den Referenzvorgang. Neben der Referenziergeschwindigkeit und -beschleunigung kann auch die exakte Referenzposition eingestellt werden (siehe Abbildung 3.32).

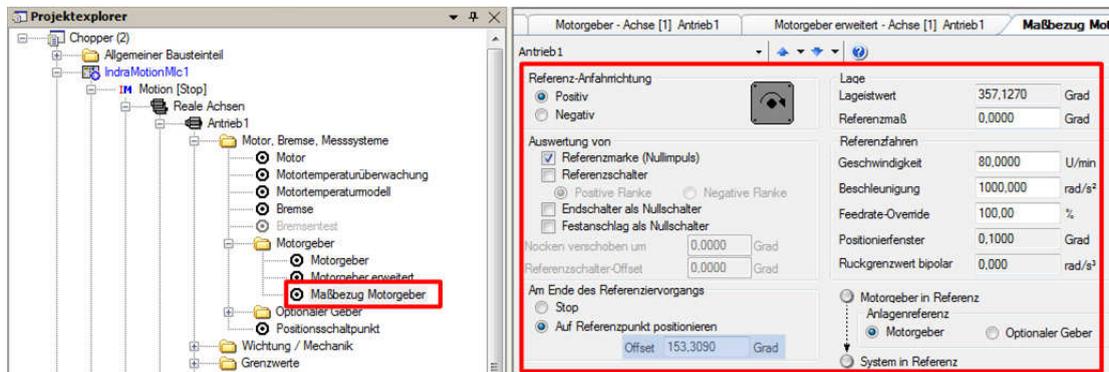


Abbildung 3.32: Maßbezug Motorgeber.

Da nicht alle Rasterscheiben identisch aufgeklebt sind, befindet sich die Referenzmarke bei jedem Antrieb an einer anderen Stelle. Das bedeutet, dass nach einem Referenzvorgang nicht alle Flügel in gleicher Position stehen. Da dies jedoch zwingend erforderlich ist, wird im Fenster Offset der Differenzwert zur Nullposition eingetragen.

Die Referenzmarke von Antrieb 1 liegt beispielsweise bei 206,691 Grad. Nach Einsetzen in Gleichung (3.5) folgt eine Einstellung des Offset von 153,309 Grad.

$$Offset = 360^\circ - Referenzposition \tag{3.5}$$

Mit der erfolgreichen Einbindung des Gebersystems sind alle wichtigen Schritte der Inbetriebnahme abgeschlossen.

### 3.3.2 Relevante Funktionsbausteine

Um die Entwicklung des Programms zu beschleunigen, bietet die Software die Verwendung eines sogenannten Achs-Interface an. Dieses bündelt Bewegungs- und Funktionsbausteine und ermöglicht so eine Reduzierung des Programmcodes sowie die Bereitstellung von leistungsfähigen Kommandos. Alle Bewegungen des Antriebs werden über Funktionsbausteine realisiert, die innerhalb des Programms vom Achs-Interface aufgerufen werden. Im Folgenden werden alle für die Anwendung wichtigen Funktionsbausteine vorgestellt.

Eine Bedingung für den ordnungsgemäßen Betrieb des Fächerchoppers ist der synchrone Lauf aller Antriebe. Steuerungstechnisch stellt sich das Prinzip so dar, dass von einem der zehn Antriebe eine Leitachse gebildet wird, der sogenannte Master. Die restlichen neun Antriebe werden als Folgeachsen (Slave) definiert. Der Master gibt eine bestimmte Bewegung vor, die von allen deklarierten Slave-Antrieben geschwindigkeits- und winkelsynchron verfolgt wird. Dabei befindet sich der Master-Antrieb in einem Geschwindigkeitsregelbetrieb, welcher intern über die Funktionsbausteine MC\_Power und MC\_MoveVelocity realisiert wird (siehe Abbildung 3.33).

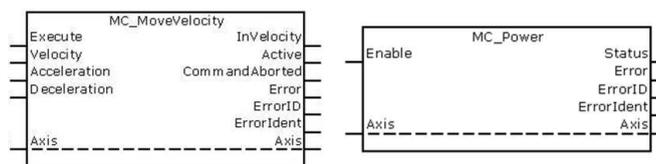


Abbildung 3.33: Funktionsbausteine MC MoveVelocity und MC Power.[14].

Über den Funktionsbaustein MC\_Power wird die Leistungszuschaltung des Antriebs gesteuert. Die Aktivierung dieses Bausteins über eine positive Flanke am Eingang Enable, ist Voraussetzung für jede Bewegung. Durch eine negative Flanke am gleichen Eingang wird der Baustein wieder deaktiviert und der jeweilige Antrieb leistungsfrei geschaltet. Tabelle 3.4 beschreibt die Funktionen aller Ein- und Ausgänge dieses Bausteins.

Tabelle 3.4: Funktionsbaustein MC\_Power.

Name	Funktion
Axis	enthält Informationen zur konkreten Achse
Enable	solange "Enable" TRUE ist, ist die Leistung zugeschaltet
Status	tatsächlicher Zustand
Error	Zeigt an, wenn ein Fehler aufgetreten ist
ErrorID	Kurzhinweis auf die Fehlerursache
ErrorIdent	Detailinformation über den Fehler

Die letzten drei Error-Ausgänge sowie der Eingang Axis sind bei allen Funktionsbausteinen identisch und werden im Laufe dieses Kapitels nicht erneut aufgeführt.

Der Funktionsbaustein MC\_MoveVelocity realisiert die Geschwindigkeitsregelung. Vorgegeben werden hier vom Benutzer neben der Geschwindigkeit, die Beschleunigung und die Verzögerung. Eine Übersicht aller Ein- und Ausgänge gibt Tabelle 3.5.

Tabelle 3.5: Funktionsbaustein MC\_MoveVelocity.

Name	Funktion
Execute	startet die Bewegung bei steigender Flanke
Velocity	Vorgabe der Geschwindigkeit
Acceleration	Vorgabe der Beschleunigung
Deceleration	Vorgabe der Verzögerung
InVelocity	Geschwindigkeit erstmals erreicht
Active	Bearbeiten der Daten nach Abschluss der Vorverarbeitung läuft
CommandAborted	Kommandoabbruch durch nachfolgendes Kommando

Die Anschlüsse Execute, Active und CommandAborted sind ebenfalls Bestandteile zahlreicher Funktionsbausteine. Da sie bei jedem Baustein die gleiche Funktion haben, werden auch sie im weiteren Verlauf der Arbeit nicht mehr berücksichtigt.

Die Synchronisation der Slave-Antriebe zum Master erfolgt in der Betriebsart Winkelsynchronisation. Dafür benutzt das Achs-Interface intern neben dem bereits bekannten Funktionsbaustein MC\_Power, die Bausteine MB\_GearInPos, MC\_GearOut und MB\_PhasingSlave (siehe Abbildung 3.34).

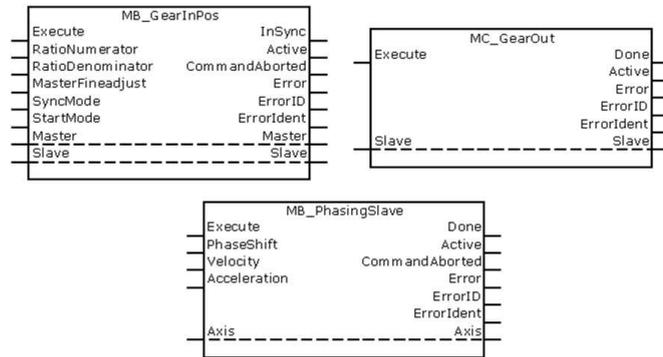


Abbildung 3.34: Funktionsbausteine zur Winkelsynchronisierung.[14]

MB\_GearInPos und MC\_GearOut werden für das Starten bzw. Beenden des Synchronbetriebs benötigt. Die folgende Tabelle 3.6 enthält Informationen zum Funktionsbaustein MC\_GearInPos.

Tabelle 3.6: Funktionsbaustein MC\_GearInPos.

Name	Funktion
Master	enthält Informationen zur Leitachse
Slave	enthält Informationen zur Folgeachse, die der Leitachse folgt
SyncMode	Aufsynchronisier-Richtung
InSync	Synchroner Lauf erreicht

Um den Synchronbetrieb eines Antriebs zu beenden muss der Baustein MC\_GearOut durch eine positive Flanke am Eingang Execute aktiviert werden. Die betreffende Slave-Achse wird dabei über den Eingang Slave zugeordnet.

Eine grundlegende Funktion für den Betrieb des Choppers ist die Phasenverschiebung zwischen den Antrieben. Steuerungstechnisch wird diese über den Funktionsbaustein MB\_PhasingSlave geregelt. Der vorgegebene Phasenversatz bezieht sich immer auf die Position des Master-Antriebs. Auch hier dient die nachfolgende Tabelle 3.7 als Übersicht der Ein- und Ausgänge.

Tabelle 3.7: Funktionsbaustein MB\_PhasingSlave.

Name	Funktion
PhaseShift	Positionsdifferenz für die Bewegung
Velocity	Geschwindigkeit für die Phasenverstellung
Acceleration	Beschleunigung für die Phasenverstellung
Done	gewünschte Phasendifferenz erreicht

Weitere wichtige Funktionen für den ordnungsgemäßen Betrieb des Choppersystems sind neben dem Stoppen einer Bewegung, das Löschen von achsinternen Fehlern sowie die Referenzierung der Antriebe. Da das Gebersystem inkrementell arbeitet, kann die Position der Antriebe nur relativ bestimmt werden. Für eine absolute Positionsbestimmung müssen alle Antriebe des Choppersystems vor jedem Start in eine Referenzposition gebracht werden. Programmintern wird hierfür der Funktionsbaustein MB\_Home zur Verfügung gestellt. Der Baustein wird über Execute aktiviert und erfordert keine weiteren Vorgaben. Alle für den Referenziervorgang relevanten Parametereinstellungen werden unmittelbar in der Softwareumgebung vorgenommen (siehe Abbildung 3.32 im Unterpunkt 3.3.1). Ähnlich stellt sich die Situation beim Baustein MC\_Reset dar, der für das Löschen von Fehlern zuständig ist. Auch dieser Baustein kann ohne weitere Parametrierung über Execute aktiviert werden. Abbildung 3.35 zeigt die beiden Funktionsbausteine.

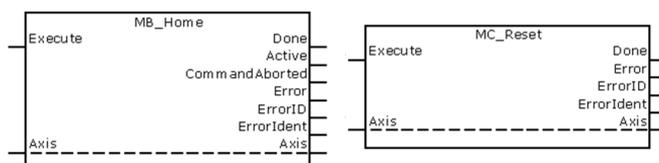


Abbildung 3.35: Funktionsbausteine MB\_Home und MC\_Reset.[14]

Der gesteuerte Bewegungsstop wird über den Funktionsbaustein MC\_Stop realisiert (siehe Abbildung 3.36).

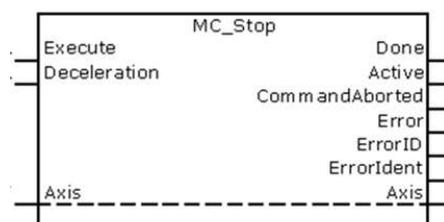


Abbildung 3.36: Funktionsbaustein MC\_Stop.[14]

Wie Abbildung 3.36 verdeutlicht, erfordert der Baustein allein die Vorgabe der Verzögerung über den Eingang Deceleration. Alle anderen Ein- bzw. Ausgänge sind identisch mit denen der bereits beschriebenen Funktionsbausteine und werden daher nicht erneut erläutert.

### 3.3.3 Bereitstellung von Variablen für Visualisierungen und externen Zugriff

Während der Entwicklungs- und Programmierphase wurde das Antriebssystem ausschließlich über den PC angesteuert. Für den späteren Betrieb soll die Bedienung jedoch vorrangig über das Touchpanel oder übergeordnete Systeme erfolgen. Das gesamte System wird über das angeschlossene Touchpanel visualisiert. Die Visualisierung soll als Übersicht und Bedienebene für den Benutzer dienen. Abbildung 3.37 zeigt die programmierte Oberfläche der Visualisierung. Die wichtigsten Elemente wurden hier gekennzeichnet.

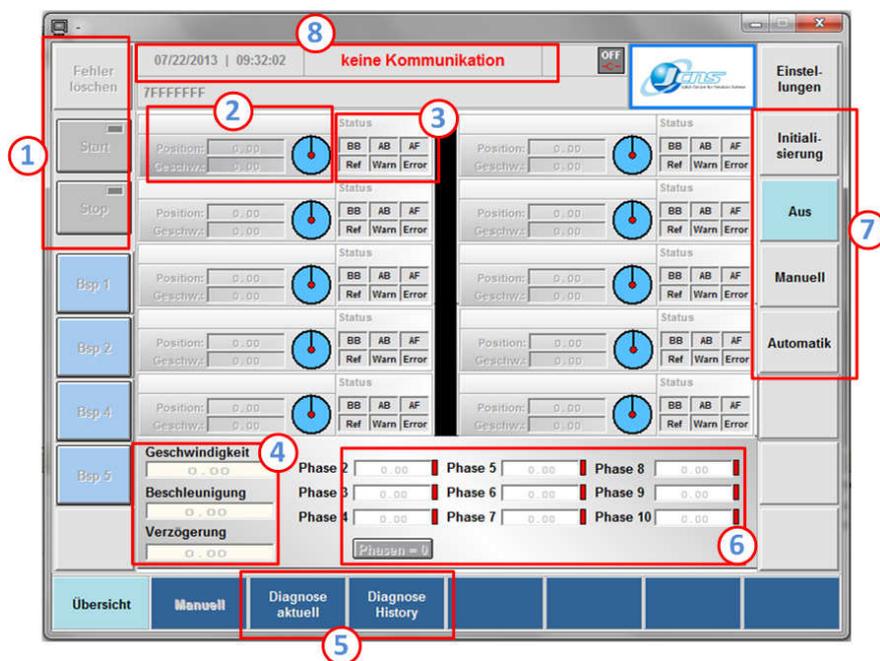


Abbildung 3.37: Visualisierungsoberfläche.

Durch die Visualisierung werden dem Anwender alle erforderlichen Daten des Antriebssystems in Echtzeit übermittelt. Die folgende Tabelle 3.8 gibt eine Übersicht über die gekennzeichneten Punkte.

Tabelle 3.8: Funktionsbeschreibung der Visualisierungsoberfläche.

Nummer	Funktion
1	Start, Stop und Fehler löschen
2	Aktuelle Position und Geschwindigkeit
3	Antriebsstatus
4	Vorgabe von Geschwindigkeit, Beschleunigung und Verzögerung
5	Fenster für die Fehlerdiagnose
6	Vorgabe der Phasenverschiebung
7	Betriebsmodus
8	Datum, Uhrzeit und Kommunikationsstatus

Um die Datenübermittlung an das Bedienpanel zu ermöglichen, muss dieses auf die Variablen der SPS<sup>6</sup> zugreifen können. Die Kommunikation erfolgt über einen Bosch-Rexroth eigenen Standard-OPC<sup>7</sup>-Server. Um den Zugriff über den Server auf die Variablen der Steuerung zu erlauben, müssen diese in der Symbolkonfiguration festgelegt werden.

Dabei können den Variablen folgende Zugriffsberechtigungen erteilt werden:

- Kein Zugriff
- Lesend
- Schreibend
- Lesend und Schreibend

Die Konfiguration erfolgt innerhalb der Projektierungssoftware unter dem Punkt Symbolkonfiguration (siehe Abbildung 3.38).

<sup>6</sup>Speicherprogrammierbare Steuerung

<sup>7</sup>Object Linking and Embedding for Process Control

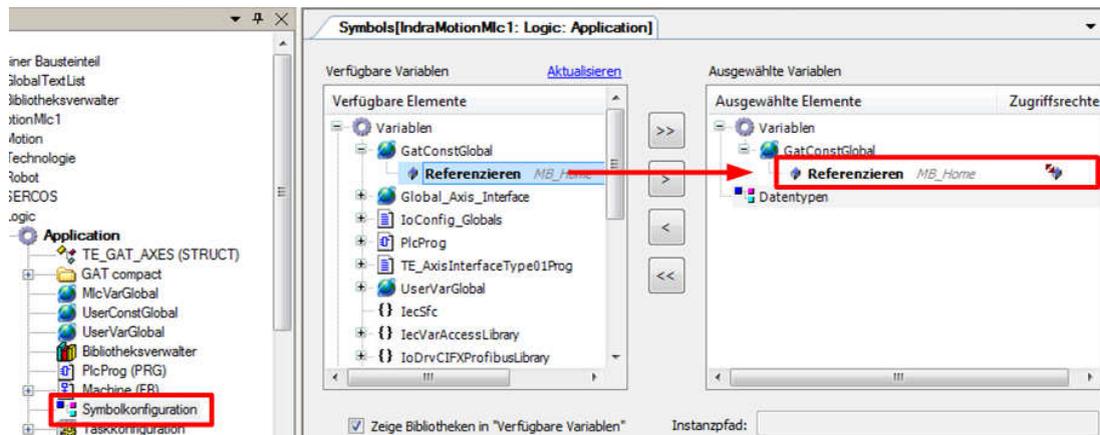


Abbildung 3.38: Symbolkonfiguration.

Rechts im Bild befinden sich zwei Fenster, in denen Variablen aufgelistet sind. Das linke Fenster zeigt alle in der Steuerung verfügbaren Elemente. Per Mausklick können die erforderlichen Variablen in das rechte Fenster übertragen werden. Dort können dann die gewünschten Zugriffsrechte vergeben werden. Das Symbol rechts neben dem Variablennamen zeigt an, welche Art von Zugriffsrecht erteilt wurde.



## 4 | Zusammenfassung und Ausblick

Choppersysteme haben im Bereich der Neutronenforschung eine große Bedeutung. Sie dienen im Allgemeinen der Aufbereitung von Neutronenstrahlen für die verschiedensten Experimente.

Mit den Unterschieden einer Spallationsquelle verglichen zu Neutronenquellen in Kernreaktoren, ergeben sich völlig neue Anforderungen an das eingesetzte Choppersystem. Speziell für neue und leistungsstarke Instrumente an der ESS wurde im Forschungszentrum Jülich ein neuartiges Fächerchoppersystem erdacht und entwickelt.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden die wichtigsten Schritte innerhalb der Entwicklungsphase eines Prototypen beschrieben. Zusätzlich sollte dem Leser ein Grundverständnis zum Thema Choppersysteme vermittelt werden.

Um dieses Verständnis aufzubauen, wurden im Grundlagenkapitel Funktionsweise und Nutzen unterschiedlicher Choppersysteme beschrieben. Darüber hinaus beinhaltet dieses Kapitel Informationen zur Technologie von Spallationsquellen. Ergänzend hierzu wurden die Unterschiede zum Funktionsprinzip von Kernreaktoren angesprochen.

Der Fokus dieser Arbeit lag auf der steuerungstechnischen Realisierung des Fächerchoppers. Um das Konzept dieses Choppers zu veranschaulichen, wurde in Kapitel 2 sowohl ein Einblick in die mechanische Konstruktion gegeben, als auch die elektrische Konfiguration des Antriebssystems näher betrachtet. Auch die Anforderungen an das neue Choppersystem und dessen Funktionsprinzip wurden an dieser Stelle erläutert.

Neben der ausführlichen Beschreibung der zentralen Steuerungskomponenten, zählten auch Richtlinien und Sicherheitsaspekte für die Planung und den Betrieb des Fächerchoppers zu wichtigen Aspekten.

Während der Inbetriebnahme stellte sich die Einbindung und Justierung des Gebersystems als große Herausforderung dar. Ferner nahm auch die Programmierung der Steuerung einen großen Teil der Zeit in Anspruch. Der Hauptbestandteil dieser Arbeit setzt sich demzufolge aus diesen beiden Punkten zusammen.

Im Anschluss an die Realisierung des Prototypen, stehen bis zum Betrieb der ersten Instrumente an der ESS weitere Optimierungsschritte des Fächerchoppers an.

Mit dem zukünftigen Einsatz solcher Systeme könnte eine technische Innovation in der Forschung mit Neutronen bevorstehen. Als wesentlicher Innovationsschritt in der Chopperspektroskopie an Spallationsquellen soll der Fächerchopper bei der Entkopplung der Messfrequenz von der Quellenfrequenz helfen.

Gegenwärtig werden von den modernsten Chopperspektrometern maximal 4 Pulse eines Quellenpulses genutzt. Potenziell wäre jedoch die Nutzung von 15 bis 30 Pulsen im Bereich des Möglichen. Der Fächerchopper kann bei der Ausschöpfung dieses Potenzials eine entscheidende Rolle spielen.

# Literaturverzeichnis

- [1] Forschungszentrum Jülich. Webseite [Stand Februar 2012].  
[www.fzjuelich.de/portal/DE/Leistungen/WissenSchaffen/Schlüsseltechnologien/Neutronenforschung/spallationsquelle-ess.html](http://www.fzjuelich.de/portal/DE/Leistungen/WissenSchaffen/Schlüsseltechnologien/Neutronenforschung/spallationsquelle-ess.html).
- [2] Forschungszentrum Jülich. Webseite [Stand Oktober 2012].  
[www.fz-juelich.de/ics/ics-1/DE/Leistungen/ESS/\\_node.html](http://www.fz-juelich.de/ics/ics-1/DE/Leistungen/ESS/_node.html).
- [3] Helmholtz Berlin. Webseite [Stand 2012].  
<http://www.helmholtz-berlin.de/media/media/zentrum/perspektiven/ess/bioref02.jpg>.
- [4] A. Wenzik, "Welt der Physik". Webseite [Stand August 2010].  
[www.weltderphysik.de/gebiete/stoffe/analyse-von-materialien/neutronen-alssonde/spallation/](http://www.weltderphysik.de/gebiete/stoffe/analyse-von-materialien/neutronen-alssonde/spallation/).
- [5] Dr. Jörg Voigt, private Kommunikation
- [6] Firma Bosch Rexroth, "Rexroth IndraControl L45/L65/L85 Steuerung".  
[http://www.boschrexroth.com/borexmvz2/Category.jsp;jsessionid=B20FA85DC9A4E0BC0C7A5E869FD89125?publication=NET&cctat\\_id=13500&remindCcat=on](http://www.boschrexroth.com/borexmvz2/Category.jsp;jsessionid=B20FA85DC9A4E0BC0C7A5E869FD89125?publication=NET&cctat_id=13500&remindCcat=on)
- [7] Wikipedia, "Servoverstärker". Webseite [Stand 2013].  
[de.wikipedia.org/wiki/Servoverstärker](http://de.wikipedia.org/wiki/Servoverstärker)
- [8] J. Weidauer, "Elektrische Antriebstechnik"  
Erlangen, Publicis Publishing, 2011, pp. 162-166.
- [9] Firma Bosch Rexroth, "Rexroth IndraDyn T Synchron-Torquemotoren".  
[http://www.boschrexroth.com/borexmvz2/Category.jsp;jsessionid=B20FA85DC9A4E0BC0C7A5E869FD89125?publication=NET&cctat\\_id=11690&remindCcat=on](http://www.boschrexroth.com/borexmvz2/Category.jsp;jsessionid=B20FA85DC9A4E0BC0C7A5E869FD89125?publication=NET&cctat_id=11690&remindCcat=on)

- [10] Firma Bosch Rexroth, "Rexroth IndraDrive Antriebsregelgeräte Leistungsteile HCS01" [http://www.boschrexroth.com/borexmvz2/DetailView.jsp?publication=NET&ccat\\_id=79921&edition\\_id=1117963&document\\_id=1114845](http://www.boschrexroth.com/borexmvz2/DetailView.jsp?publication=NET&ccat_id=79921&edition_id=1117963&document_id=1114845)
  
- [11] Dipl.-Ing. Reiner Burgschat, "Optoelektronische Sensoren für die Weg- und Winkelmessung".  
[http://numerik.cycro-project.de/frontend/pre\\_cat\\_2-id\\_185-\\_stat\\_back\\_id=161.html](http://numerik.cycro-project.de/frontend/pre_cat_2-id_185-_stat_back_id=161.html)
  
- [12] Firma Numerik Jena, "Anbauvorschrift RIK".  
[http://numerik.cycro-project.de/frontend/pre\\_cat\\_2-id\\_183-\\_stat\\_back\\_id=185.html](http://numerik.cycro-project.de/frontend/pre_cat_2-id_183-_stat_back_id=185.html)
  
- [13] Firma Numerik Jena, "Adjustment Tool".  
[http://numerik.cycro-project.de/frontend/files.php4?dl\\_mg\\_id=250&file=dl\\_mg\\_1281970654.pdf](http://numerik.cycro-project.de/frontend/files.php4?dl_mg_id=250&file=dl_mg_1281970654.pdf).
  
- [14] Firma Bosch Rexroth, "Rexroth IndraLogic XLC IndraMotion MLC 12VRS PLCopen-Bibliotheken".  
[http://www.boschrexroth.com/borexmvz2/Category.jsp;jsessionid=B20FA85DC9A4E0BC0C7A5E869FD89125?publication=NET&ccat\\_id=80037&remindCcat=on](http://www.boschrexroth.com/borexmvz2/Category.jsp;jsessionid=B20FA85DC9A4E0BC0C7A5E869FD89125?publication=NET&ccat_id=80037&remindCcat=on)

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Geschwindigkeitsselektor.[3]	1
1.2	Schematische Darstellung (Vorderansicht) eines Scheiben-Choppers.	2
1.3	Funktionsprinzip eines Kollimators.	3
1.4	Schematische Darstellung (Draufsicht) eines Fermi-Choppers.	3
1.5	Schematische Darstellung (Vorderansicht) des Fächerchoppers.	4
1.6	Erzeugung von Neutronen durch Kernspaltung und Spallation.[4]	5
1.7	Schematische Darstellung eines Targets.	6
2.1	Flugzeitdiagramm.[5]	8
2.2	Hohlwellenkonstruktion mit Flügeln.	9
2.3	Eingesetztes Nadellager.	10
2.4	Mechanische Gesamtkonstruktion des Fächerchoppers.	10
2.5	Übersicht der elektrischen Konfiguration.	11
3.1	Frontansicht der Steuerung IndraControl L45.[6]	14
3.2	Anschlüsse und Schnittstellen am Frequenzumrichter.	15
3.3	Schaltbild eines einfachen Frequenzumrichters.	16
3.4	Motorbausatz bestehend aus Rotor und Stator.	17
3.5	Fertige Ausführung eines Motors.	18
3.6	Schaltcharakteristik der Temperatursensoren PTC SNM.150.DK für den Motorschutz.[9]	18
3.7	Anschlussplan für Motor und Temperatursensoren.[9]	19
3.8	Kennlinie der Sensoren PTC KTY84-130 für die Temperaturüberwachung.[9]	20
3.9	Schaltschrankansicht von vorne (linkes Bild) und hinten (rechtes Bild).	23
3.10	Auswahl der Fehlerreaktion.	24
3.11	Komponenten des Winkelerfassungssystems.	25
3.12	Zähl- und Referenzspur.	26
3.13	Prinzipiell optischer Strahlengang.[11]	27
3.14	Fotodiodenarray.	27
3.15	Schematische Darstellung der Rasterscheibe.	28
3.16	Signalverlauf der Geberspannungen.[12]	29

3.17	Motor mit Rasterscheibe und Messkopf. . . . .	30
3.18	Anschluss Diagnosestecker.[13] . . . . .	31
3.19	Freiheitsgrade. . . . .	32
3.20	Messsignal mit Amplitudenfehler.[13] . . . . .	32
3.21	Messsignal mit Offsetfehler.[13] . . . . .	33
3.22	Messsignal mit Phasenfehler.[13] . . . . .	33
3.23	Messsignal mit Symmetriefehler.[13] . . . . .	34
3.24	Übersicht Adjustment-Tool. . . . .	35
3.25	Toleranzen des Referenzimpulses. . . . .	36
3.26	Fehlerhafte Referenzimpulse.[13] . . . . .	36
3.27	Startbildschirm Indraworks. . . . .	37
3.28	Konfiguration der Steuerung. . . . .	38
3.29	Konfiguration der SERCOS Teilnehmer. . . . .	39
3.30	Konfiguration des Antriebs. . . . .	39
3.31	Konfiguration Motorgeber. . . . .	40
3.32	Maßbezug Motorgeber. . . . .	40
3.33	Funktionsbausteine MC_MoveVelocity und MC_Power.[14] . . . . .	41
3.34	Funktionsbausteine zur Winkelsynchronisierung.[14] . . . . .	43
3.35	Funktionsbausteine MB_Home und MC_Reset.[14] . . . . .	44
3.36	Funktionsbaustein MC_Stop.[14] . . . . .	44
3.37	Visualisierungsoberfläche. . . . .	45
3.38	Symbolkonfiguration. . . . .	47

# Tabellenverzeichnis

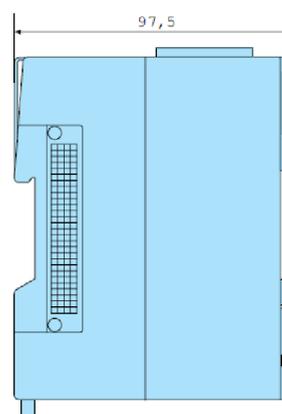
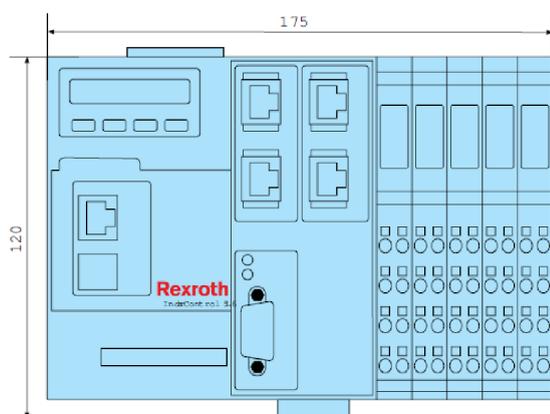
3.1	Anschlüsse und Schnittstellen am Frequenzumrichter. . . . .	15
3.2	Übersicht Fehlerklassen. . . . .	24
3.3	Belegung von Stecker und Geberschnittstelle. . . . .	30
3.4	Funktionsbaustein MC_Power. . . . .	42
3.5	Funktionsbaustein MC_MoveVelocity. . . . .	42
3.6	Funktionsbaustein MC_GearInPos. . . . .	43
3.7	Funktionsbaustein MB_PhasingSlave. . . . .	43
3.8	Funktionsbeschreibung der Visualisierungsoberfläche. . . . .	46



# A | Anhang

# Datenblatt IndraControl L45

		L45.1
<b>Abmessungen</b>		
Höhe H	[mm]	120
Breite B	[mm]	176
Tiefe T	[mm]	108



		L45.1
<b>Prozessor</b>		
CPU		AMD-Geode LX800, 500MHz
Echtzeituhr		integriert
<b>Speicher</b>		
Anwendung / Applikation		256 MB
Remanenter Speicher		256 kB
Gepuffert		8 MB
Flash Größe		1 GB
<b>Display</b>		
Art		LGD 1-zeilig
<b>Bedienung</b>		
Art		4
		Bedientasten
<b>Schnittstellen</b>		
Ethernet		1 x Ethernet TCP/IP (Standard)
Ready		1 x Ready-Kontakt (Standard)
Sonstiges		2 x Ethernet TCP/IP (Option)
<b>Diagnose</b>		
Art		Powerfail
		Watchdog
		Temperaturüberwachung
<b>E/A</b>		
Digitale Eingänge		8 galvanisch getrennte Eingänge (interruptfähig)
Digitale Ausgänge		8 galvanisch getrennte Ausgänge
Kanäle, verwendet	Max.	256
Funktions-Module	Max.	4

E/A Erweiterung	max. Anzahl Inline-Module	63
	max. Anzahl Bytes	64
<b>Feldbus</b>		
sercos III	1 x sercos III (Option)	
PROFINET	1 x PROFINET IO-Controller/-Device (Option)	
EtherNet/IP	1 x ETHERNET/IP-Scanner/-Adapter (Option)	
PROFIBUS	1 x PROFIBUS-Master/-Slave (Standard)	
<b>Elektrische Daten</b>		
Versorgungsspannung	U	24 VDC
Min.	$U_{\min}$	19 V DC
Max.	$U_{\max}$	30 V DC
Restwelligkeit	[±%]	5
Logikversorgung $U_L$	[V DC]	7,5
	Max. [mA]	2
Logik-, Segmentversorgung $U_{LS}$	[V DC]	24
	Toleranz	-25% ... +30%
	Max. [A]	max. 3 A
Analogversorgung $U_{ANA}$	[V DC]	24
	Max. [A]	0,5
Segment-Versorgungsspannung $U_S$	[V DC]	24
	Toleranz	-15% ... +20 %
	Max. [A]	max. 8 A ( $U_M + U_S$ )
Haupt-Versorgungsspannung $U_M$	[V DC]	24
	Toleranz	-15% ... +20 %
	Max. [A]	max. 8 A ( $U_M + U_S$ )
Leistungsaufnahme	[W]	10
<b>Schutz</b>		
Schutzart-Gesamt	IP20	
<b>Belastung</b>		
Vibrationsfestigkeit	[g]	1
Schockfestigkeit	[g]	15
<b>Normen und Standards</b>		
Zertifizierung	CE/UL/CSA	
<b>Gewicht</b>		
Gewicht	1,5 kg	
<b>Umgebungsbedingungen</b>		
Umgebungstemp. Betrieb	Min. [°C]	5
	Max. [°C]	55
Umgebungstemp. Lagerung	Min. [°C]	-25
	Max. [°C]	70
Rel. Luftfeuchte Betrieb	Min. [%]	5
	Max. [%]	95
Rel. Luftfeuchte Lagerung	Min. [%]	5
	Max. [%]	95
Luftdruck (Betrieb)	Min. [kPa]	73
	Max. [kPa]	106
	EN 60034-1	(bis zu 2.700 m üNN)
Luftdruck (Lagerung/Transport)	Min. [kPa]	70
	Max. [kPa]	106
	EN 60034-1	(bis zu 3.000 m üNN)

# Datenblatt Frequenzumrichter

Bezeichnung	Symbol	Einheit	HCS01.1E -W0005- _03	HCS01.1E -W0008- _03	HCS01.1E -W0018- _03	HCS01.1E -W0028- _03	HCS01.1E -W0054- _03	
Listung nach UL-Norm (UL)			UL 508C					
Listung nach CSA-Norm (UL)			Canadian National Standard(s) C22.2 No. 14-10					
UL-Files (UL)			E134201					
Verschmutzungsgrad (UL)			2					
Umgebungstemperatur bei Nenn- daten (UL)	$T_{amax}$	°C	40					
Umgebungstemperatur bei redu- zierten Nenndaten (UL)	$T_{amax\_red}$	°C	55					
Masse	m	kg	0,72		1,70		4,22	
Gerätehöhe (UL) <sup>1)</sup>	H	mm	215		268			
Gerätetiefe (UL) <sup>2)</sup>	T	mm	196					
Gerätebreite (UL) <sup>3)</sup>	B	mm	50		70		130	
Mindestabstand an der Oberseite des Gerätes <sup>4)</sup>	$d_{top}$	mm	90					
Letzte Änderung: 2012-01-23								

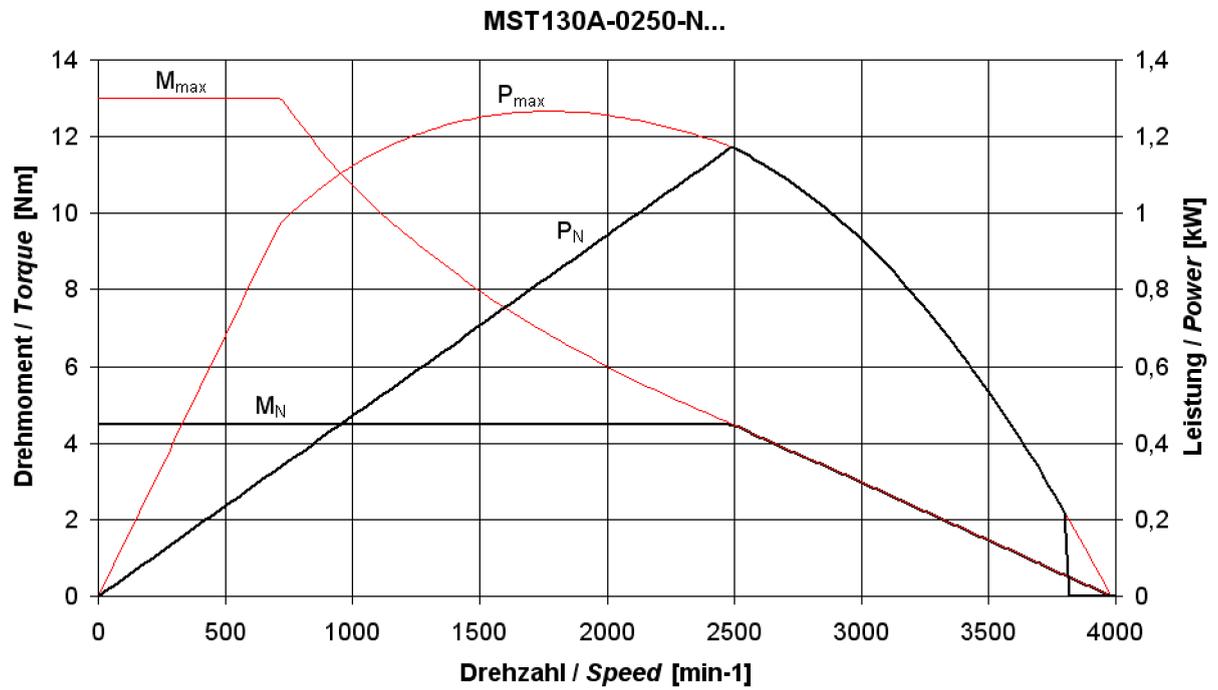
Bezeichnung	Symbol	Einheit	HCS01.1E -W0005- _03	HCS01.1E -W0008- _03	HCS01.1E -W0018- _03	HCS01.1E -W0028- _03	HCS01.1E -W0054- _03	
Mindestabstand an der Unterseite des Gerätes <sup>5)</sup>	d <sub>bot</sub>	mm	90					
seitlicher Mindestabstand am Gerät <sup>6)</sup>	d <sub>hor</sub>	mm	10		0			
Eingang Steuerspannung (UL) <sup>7)</sup>	U <sub>N3</sub>	V	24 ± 20%					
Leistungsaufnahme Steuerspannung bei U <sub>N3</sub> (UL) <sup>8)</sup>	P <sub>N3</sub>	W	27	28	34		45	
Kurzschlussfestigkeit (UL)	SCCR	A rms	42000					
Nennspannung Eingang, Leistung (UL) <sup>9)</sup>	U <sub>LN_nenn</sub>	V	3 x AC 200...500					
Toleranz U <sub>LN</sub> (UL)		%	± 10					
Netzfrequenz (UL)	f <sub>LN</sub>	Hz	50...60					
Toleranz Netzfrequenz (UL)		Hz	± 2					
Nennstrom Eingang (UL)	I <sub>LN</sub>	A	1,5	2,5	5,0	10,0	28,0	
Sicherung Netzanschluss (UL) <sup>10)</sup>			2	4	10	15	30	
erforderlicher Anschlussquerschnitt nach EN 60204-1 <sup>11)</sup>	A <sub>LN</sub>	mm <sup>2</sup>	1,5			2,5	6	
erforderlicher Anschlussquerschnitt nach UL 508 A (internal wiring); (UL) <sup>12)</sup>	A <sub>LN</sub>	AWG	AWG 14				AWG 10	
Verdrahtungsmaterial (Material; Leitertemperatur; Klasse)			Cu; 60/75 °C; 1					
Ausgangsspannung (UL)	U <sub>out</sub>	V	3 x AC 0...500					
Ausgangsstrom (UL)	I <sub>out</sub>	A	1,7	2,7	6,0	11,5	21,0	
Ausgangsfrequenzbereich (UL) <sup>13)</sup>	f <sub>out</sub>	Hz	0...1600					
Verlustleistung bei Dauerstrom bzw. Dauerleistung (UL) <sup>14)</sup>	P <sub>Diss_cont</sub>	W	37,00	46,00	80,00	120,00	400,00	

Letzte Änderung: 2012-01-23

- 1) 2) 3) Gehäusekörpermaß; siehe auch zugehöriges Maßblatt  
4) 5) 6) siehe Abb. "Lufteintritt und Luftaustritt am Gerät"  
7) Versorgungsspannung für die Motorhaltebremse beachten  
8) HMS, HMD, HCS zzgl. Motorhaltebremse und Steuerteil; HCS01 inklusiv Steuerteil  
9) Eingang Zwischenkreis L+, L-; Eingang Netzspannung L1, L2, L3  
10) cUL-gelistete Sicherungen (class J; 600 V AC) oder cUL-gelistete Sicherungsautomaten mit mindestens 600 V AC verwenden  
11) PVC-Kupferleitung (Leitertemperatur 70 °C); Installationsart B1; Tabelle 6  
12) PVC-Kupferleitung (Leitertemperatur 90 °C); Tabelle 28.1; Ta ≤ 40 °C  
13) abhängig von der eingestellten Schaltfrequenz in Parameter P-0-0001  
14) zzgl. Leistung von Bremswiderstand und Steuerteil

# Datenblatt Motor IndraDyn T

Bezeichnung	Symbol	Einheit	MST130 A-0200-F	MST130A- 0250-N	MST130 C-0050-F	MST130C -0075-N	MST130 C-0200-F	MST130C -0300-N
Bemessungsdrehmoment	$M_N$	Nm	9,0	4,5	25,0	13,5	25,0	6,8
Bemessungsleistung	$P_N$	kW	1,88	1,20	1,31	1,10	5,24	2,14
Bemessungsstrom	$I_N$	A	7,5	3,5	7,5	3,5	15,2	5,3
Bemessungsdrehzahl	$n_N$	1/min	2000	2500	500	750	2000	3000
Maximaldrehmoment	$M_{max}$	Nm	15,0	13,0	40,0			
Maximalstrom	$I_{max(eff)}$	A	16,0	12,0			38,0	26,6
Maximaldrehzahl	$n_{max}$	1/min	4000		1200		3500	3800
Leistungsaderquerschnitt	A	mm <sup>2</sup>	1,0				1,5	1,0
Drehmomentkonstante	$K_{M,N}$	Nm/A	1,20	1,30	3,33	3,86	1,65	1,28
Spannungskonstante bei 20 °C	$K_{EMK,1}$	V/min <sup>-1</sup>	0,105	0,085	0,400	0,280	0,071	0,103
Thermische Zeitkonstante	$T_{th,nenn}$	min	2,0	15,0	2,0	15,0	2,0	47,0
Wicklungswiderstand bei 20 °C	$R_{12}$	Ohm	2,5	5,9	6,3		1,62	1,6
Wicklungsinduktivität	$L_{12}$	mH	19,4	17,5	42		6,6	
Ableitkapazität der Komponente	$C_{ab}$	nF	2,2		6,6		2,7	2,7
Polpaarzahl	p	-	10					
Masse Stator	$m_{stat}$	kg	2,4		5,4			
Angaben zur Flüssigkeitskühlung								
abzuführende Verlustleistung	$P_V$	kW	0,50	0,11	1,00	0,17	1,00	0,17
Eintrittstemperatur Kühlmittel	$T_{ein}$	°C	10 ... 40	-	10 ... 40	-	10 ... 40	-
Zulässige Kühlmittel-Temperaturerhöhung bei $P_V$	$\Delta T_{max}$	K	10	-	10	-	10	-
Erforderlicher Kühlmitteldurchfluss bei $P_V$	$Q_{min}$	l/min	0,7	-	1,4	-	1,4	-
Druckabfall bei $Q_{min}$	$\Delta p$	bar	0,1	-	0,1	-	0,1	-
Volumen Kühlmittelkanal	$V_{kuehl}$	l	0,04	-	0,09	-	0,09	-
Maximal zulässiger Eingangsdruck	$p_{max}$	bar	3,0	-	3,0	-	3,0	-
Letzte Änderung: 2011-06-15								
Bezeichnung	Symbol	Einheit	MRT130A-__-0060			MRT130C-__-0060		
Rotorträgheitsmoment	$J_{rot}$	kg * m <sup>2</sup>	0,00080			0,00180		
Masse Rotor	$m_{rot}$	kg	0,6			1,5		
Letzte Änderung: 2006-09-01								



# Datenblatt Gebersystem RIK-Vac



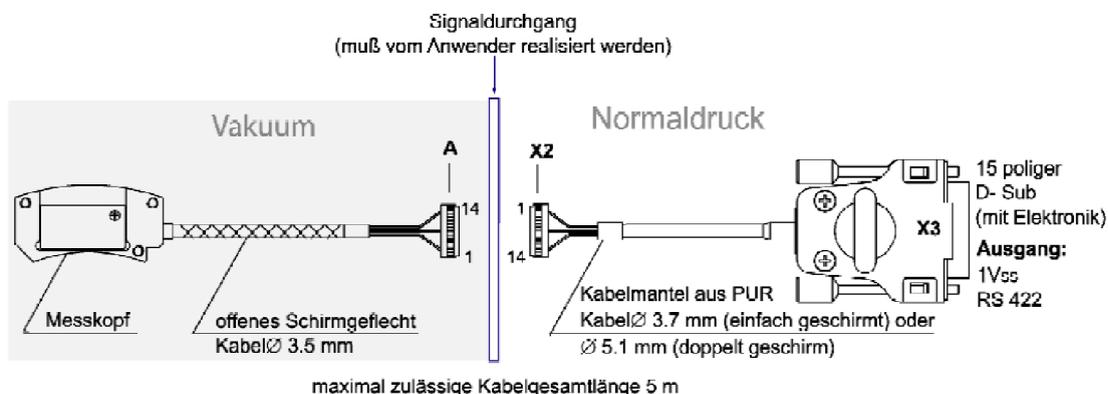
Rotative Encoder für  
Vakuumanwendungen bis  $10^{-9}$  mbar

Baureihe

## RIK-Vac

- Ausheizzyklen von 12h bei 150°C möglich
- UHV- Komponenten vorgereinigt
- ein Signalabgleich nach Erreichen des Enddruckes wird empfohlen

### Lieferumfang



### Steckerbelegungen

A - 14pol JST**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1V <sub>ss</sub>	0V	U <sub>1-</sub>	NAS	SCL	SDA	CS	U <sub>1+</sub>	U <sub>0+</sub>	U <sub>2-</sub>	5V	U <sub>2+</sub>	U <sub>0-</sub>		
RS 422	0V	Z <sub>1-</sub>	NAS	SCL	SDA	CS	Z <sub>1+</sub>	Z <sub>0+</sub>	Z <sub>2-</sub>	5V	Z <sub>2+</sub>	Z <sub>0-</sub>		
Adernfarbe	ws	ge	vio	sw	or	trans	gn	gr	rt	br	bl	rs		

X2 - 14pol JST**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1V <sub>ss</sub>	0V	U <sub>1-</sub>	NAS	SCL	SDA	CS	U <sub>1+</sub>	U <sub>0+</sub>	U <sub>2-</sub>	5V	U <sub>2+</sub>	U <sub>0-</sub>		
RS 422	0V	Z <sub>1-</sub>	NAS	SCL	SDA	CS	Z <sub>1+</sub>	Z <sub>0+</sub>	Z <sub>2-</sub>	5V	Z <sub>2+</sub>	Z <sub>0-</sub>		
Kabel • 3.7 mm	ws	br	vio	ge	br/gn	ws/gn	gn	gr	rt	bl	sw	rs		
Kabel • 5.1 mm	ws	ge	vio	sw	br/gn	ws/gn	gn	gr	rt	br	bl	rs	ws/ge*	ge/br*

\* Adern isolieren  
\*\* Prüfstecker (muss vom Anwender entfernt werden)

X3 - 15pol D Sub	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Gehäuse
1V <sub>ss</sub>	-	-	-	U <sub>0-</sub>	U <sub>2-</sub>	U <sub>1-</sub>	-	5V	0V	-	-	U <sub>0+</sub>	U <sub>2+</sub>	U <sub>1+</sub>	-	Schirm
RS 422	-	-	NAS	Z <sub>0-</sub>	Z <sub>2-</sub>	Z <sub>1-</sub>	-	5V	0V	-	AS	Z <sub>0+</sub>	Z <sub>2+</sub>	Z <sub>1+</sub>	-	Schirm

#### RS 422

Z<sub>+</sub> Zählsignal 0°  
Z<sub>1-</sub> neg. Zählsignal 0° (180°)  
Z<sub>+</sub> Zählsignal 90°  
Z<sub>2-</sub> neg. Zählsignal 90° (270°)  
U<sub>+</sub> Referenzsignal  
Z<sub>0-</sub> neg. Referenzsignal

#### 1V<sub>ss</sub>

U<sub>+</sub> Zählsignal 0° (sin)  
U<sub>1-</sub> Zählsignal 180° (-sin)  
U<sub>2+</sub> Zählsignal 90° (cos)  
U<sub>2-</sub> Zählsignal 270° (-cos)  
U<sub>+</sub> Referenzsignal  
U<sub>0-</sub> neg. Referenzsignal

0V Masse  
5V Betriebsspannung  
AS Ausfallsignal  
NAS neg. Ausfallsignal

SCL Programmierleitung  
SDA Programmierleitung  
CS Programmierleitung

### Bestellschlüssel für Messkopf

**RIK 4 - 2 C 40/3600 C0 2 T A + P 4 - T Z** *Bezeichnungsbeispiel*

**Baugröße [mm]**

4	Einfeldsensor 13x8 SV3
---	------------------------

**Anbaubedingungen**

2	Messkopf mit Gewinde M 2,5
---	----------------------------

**Gehäuse**

C	Aluminium chromatiert
---	-----------------------

**optischer Teilkreisdurchmesser Strichzahl**

30	1.000
40	1.800
40	2.048
40	3.600
64	2.048
64	9.000
64	10.000
92	3.600
92	9.000
92	18.000
142	5.400
142	18.000

**Schnittstelle**

C0	Sinussignal 1 V <sub>SS</sub>
----	-------------------------------

**Ausführung Messkopf**

2	vakuuntauglich bis 10 <sup>-9</sup>
5	unmagnetisch u. vakuuntauglich bis 10 <sup>-9</sup>

**Vakuumkabel Durchmesser 3,5 mm**

R	0,3 m
S	0,5 m
T	1 m
P	1,5 m
V	2 m
W	3 m
U <sup>1</sup>	auf Anfrage (bis max. 3m)

**Steckertyp**

A	14 poliger JST- Prüfstecker
---	-----------------------------

**Steckertyp**

Z	15poliger D-Sub; Elektronik im Stecker
---	--

**Kabel am Stecker Durchmesser 3,7mm**

R	0,3 m
S	0,5 m
T	1 m
P	1,5 m
V	2 m
W	3 m
U <sup>1</sup>	auf Anfrage (bis max. 3m)

**Durchmesser 5,1mm**

A	0,3 m
B	0,5 m
F	1 m
E	1,5 m
G	2 m
K	3 m
O <sup>1</sup>	auf Anfrage (bis max. 3m)

**Geräteausführung**

-	Standard
---	----------

**Frequenz/Flankenabstand**

X	Kennzeichnung der Zählfrequenz der Auswerte elektronik (nur für Ausführungen mit integrierter Interpolation); auf Anfrage
---	---

**Ausgangssignale**

C	Sinussignal 1 V <sub>SS</sub>
L	Rechtecksignal RS 422 mit 5fach Interpolation
M	Rechtecksignal RS 422 mit 10fach Interpolation
I	Rechtecksignal RS 422 mit 25fach Interpolation
N	Rechtecksignal RS 422 mit 50fach Interpolation
P	Rechtecksignal RS 422 mit 100fach Interpolation
K	Rechtecksignal RS 422 ohne Interpolation

1 ... Lieferung gegen Aufpreis

# Programmcode

## 1 actPhaseShift

```

1      //*****Programmcode für die Phasenverschiebung*****
2      IF ( ( (INT_TO_WORD (AdminStatusExt ._OpModeAck) AND MASK_MODE_PHASE_OFFSET
3      ) <> 0 ) ) THEN
4          IF ( rOldPhaseShift <> SyncModeCtrlExt .PhaseShift ) THEN
5              // Start der Phasenverschiebung
6              SyncModeStatusExt .PhasingMasterDone := FALSE ;
7              bExecPhasing := TRUE ;
8          END_IF
9          IF fbAxisPhasing .Done THEN
10             // Phasenverschiebung beendet
11             SyncModeStatusExt .PhasingMasterDone := TRUE ;
12             bExecPhasing := FALSE ;
13             // alten Wert speichern
14             rOldPhaseShift := SyncModeCtrlExt .PhaseShift ;
15         ELSIF ( fbAxisPhasing .Error = TRUE ) THEN
16             // Fehler bei der Phasenverschiebung
17             bExecPhasing := FALSE ;
18             SUPER ^ .mSetError ( Error      := TRUE ,
19                               ErrorID     := fbAxisPhasing .ErrorID ,
20                               ErrorIdent  := fbAxisPhasing .ErrorIdent ) ;
21         END_IF
22         // Zuweisung der Variablen im Funktionsbaustein
23         fbAxisPhasing (
24             Execute      := bExecPhasing ,
25             PhaseShift   := SyncModeCtrlExt .PhaseShift ,
26             Velocity     := SyncModeCtrlExt .PhaseShiftVel ,
27             Acceleration := SyncModeCtrlExt .PhaseShiftAcc ,
28             Axis         := AdminCtrlExt .Axis ) ;
29     ELSE
30         SyncModeStatusExt .PhasingMasterDone := FALSE ;
31         // Reset, wenn kein Synchronmodus aktiv ist
32     END_IF

```

## 2 actSyncAccVel

```

1 //Programmcode für die zyklische Änderung von Beschleunigung und Geschwindigkeit
2
3 IF AxisData [ AdminCtrlExt . Axis . AxisNo ] . Axis_OperationMode = TRUE AND
4
5 AdminStatusExt . AxisFeatures . OPMODE_SYNC = TRUE AND
6 ( udiCycleCntInP4 > DINT_TO_UDINT ( 2 * AdminCtrlExt . Axis . AxisNo ) )
7 THEN
8 // Neue Beschleunigung übernehmen
9 IF SyncModeCtrlExt . SyncAcceleration <> rLastSyncAcc THEN
10 // Start
11 SyncModeStatusExt . SyncAccelerationDone := FALSE ;
12 bExecWrSyncAcc := TRUE ;
13 END_IF
14 IF fbWrSyncAcc . Done = TRUE THEN
15 // Beschleunigungsänderung vollzogen
16 SyncModeStatusExt . SyncAccelerationDone := TRUE ;
17 bExecWrSyncAcc := FALSE ;
18 // alten Wert speichern
19 rLastSyncAcc := SyncModeCtrlExt . SyncAcceleration ;
20 ELSIF fbWrSyncAcc . Error = TRUE THEN
21 // Fehler bei der Beschleunigungsänderung
22 bExecWrSyncAcc := FALSE ;
23 SUPER ^ . mSetError ( Error := TRUE ,
24 ErrorID := fbWrSyncAcc . ErrorID ,
25 ErrorIdent := fbWrSyncAcc . ErrorIdent ) ;
26 // alten Wert aufrufen
27 rLastSyncAcc := SyncModeCtrlExt . SyncAcceleration ;
28 END_IF
29 // Funktionsbaustein aufrufen
30 fbWrSyncAcc (
31 Execute := bExecWrSyncAcc ,
32 ParameterNumber := FP_A_0_2791 ,
33 Value := SyncModeCtrlExt . SyncAcceleration ,
34 Axis := AdminCtrlExt . Axis ) ;
35
36 // #####
37 // Neue Geschwindigkeit übernehmen
38 IF SyncModeCtrlExt . SyncVelocity <> rLastSyncVel THEN
39 // Start
40 SyncModeStatusExt . SyncVelocityDone := FALSE ;
41 bExecWrSyncVel := TRUE ;
42 END_IF
43 IF fbWrSyncVel . Done = TRUE THEN
44 // Geschwindigkeitsänderung vollzogen
45 SyncModeStatusExt . SyncVelocityDone := TRUE ;
46 bExecWrSyncVel := FALSE ;
47 // alten Wert speichern
48 rLastSyncVel := SyncModeCtrlExt . SyncVelocity ;
49 ELSIF fbWrSyncVel . Error = TRUE THEN
50 // Fehler bei der Geschwindigkeitsänderung
51 bExecWrSyncVel := FALSE ;
52 SUPER ^ . mSetError ( Error := TRUE ,
53 ErrorID := fbWrSyncVel . ErrorID ,
54 ErrorIdent := fbWrSyncVel . ErrorIdent ) ;
55 // alten Wert aufrufen
56 rLastSyncVel := SyncModeCtrlExt . SyncVelocity ;
57 END_IF
58 // Funktionsbaustein aufrufen
59 fbWrSyncVel (

```

```
58     Execute := bExecWrSyncVel ,
59     ParameterNumber := FP_A_0_2790 ,
60     Value := SyncModeCtrlExt . SyncVelocity ,
61     Axis := AdminCtrlExt . Axis ) ;
62 ELSE
63     // Reset der Funktionsbausteine
64     fbWrSyncAcc ( Execute := FALSE , Axis := AdminCtrlExt . Axis ) ;
65     fbWrSyncVel ( Execute := FALSE , Axis := AdminCtrlExt . Axis ) ;
66 END_IF
67
68
```

## 3 UserVarGlobal

```

1      VAR_GLOBAL
2
3      //----- Variablen für CONTROL -----
4
5      stCtrl_gb : TE_MACHINE_MODE := MODE_OFF; // Auswahl Betriebsmodus
6      bClearError_gb : BOOL; // Fehler löschen
7      bDisableErrorHandling_gb : BOOL;
8      // User defined inputs...
9
10     choppergeschwindigkeit : REAL := 840; //Geschwindigkeit
11     chopperbeschleunigung : REAL := 5; //Beschleunigung
12     chopperverzoeigerung : REAL := 5; //Verzögerung
13     start_chopper : BOOL;
14     stop_chopper : BOOL;
15     positionieren : BOOL;
16     Position : REAL;
17
18     //Variablen für die Phasenverschiebung
19     Phase_A2 : REAL := 0;
20     Phase_A3 : REAL := 0;
21     Phase_A4 : REAL := 0;
22     Phase_A5 : REAL := 0;
23     Phase_A6 : REAL := 0;
24     Phase_A7 : REAL := 0;
25     Phase_A8 : REAL := 0;
26     Phase_A9 : REAL := 0;
27     Phase_A10 : REAL := 0;
28
29     start_phasing : BOOL; //Phasenverschiebung starten
30
31     //Variablen für die Zustandsmeldung der Phasenverschiebung
32     Phase_A2_ok : BOOL := 0;
33     Phase_A3_ok : BOOL := 0;
34     Phase_A4_ok : BOOL := 0;
35     Phase_A5_ok : BOOL := 0;
36     Phase_A6_ok : BOOL := 0;
37     Phase_A7_ok : BOOL := 0;
38     Phase_A8_ok : BOOL := 0;
39     Phase_A9_ok : BOOL := 0;
40     Phase_A10_ok : BOOL := 0;
41
42     END_VAR
43     VAR_GLOBAL RETAIN
44
45     // Axis interface: command structure: define as RETAIN, to keep the valu
46
47     // Note: on the L40.2 control, the RETAIN memory is slower then normal v
48     // this structure only as RETAIN when necessary
49     // arAxisCtrl_gb: ARRAY [1..MAX_AXIS_NUM] OF MB_AXIS_CONTROL;
50
51     // Axis interface: command structure
52     arAxisCtrl_gb : ARRAY [1..uiMAX_AXIS_INDEX] OF
53     TE_AXIS_CONTROL_TYPE01;
54     bSkipColdstartAtStartup_gb : BOOL;
55     // Skips Coldstart at first startup
56     END_VAR
57
58     VAR_GLOBAL
59
60     //----- Variablen für STATUS -----

```

```
57         stStatus_gb : TE_MACHINE_MODE ;
58
59         // Error variables of the machine
60         bError_gb :      BOOL ;           // TRUE indicates an error
61         dwDiagNo_gb :   DWORD ;
62         // Diagnosis number according to MLC specification
63
64         // DiagNo = 16#FOAE xxxx: application defined error (e.g. open door)
65
66         // DiagNo = 16#FOFB 0000: function block error
67         enErrorID_gb :   ERROR_CODE ;
68         // Detail informations in case of DiagNo = 16#FOFB 0000
69         stErrorIdent_gb : ERROR_STRUCT ;
70         // Detail informations in case of DiagNo = 16#FOFB 0000
71         strDiagMessage_gb : STRING ( 60 ) ; // Control / Axis diagnosis text
72
73         arAppError_gb : ARRAY [ 1 .. uiMAX_APP_ERROR_INDEX ] OF BOOL ;
74         (* Application defined errors e.g. door open*)
75
76         // Axis interface: status structure
77         arAxisStatus_gb : ARRAY [ 1 .. uiMAX_AXIS_INDEX ] OF
78         TE_AXIS_STATUS_TYPE01 ;
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
```

## 4 actModeAuto\_active

```
1 // Synchronbetrieb starten
2 IF start_chopper = TRUE THEN
3     Axes.Antrieb1.Ctrl.Admin._OpMode.en := ModeVel;
4 END_IF
5
6     Axes.Antrieb1.Ctrl.VelMode.Velocity := choppergeschwindigkeit;
7     //Geschwindigkeitsvorgabe
8     Axes.Antrieb1.Ctrl.VelMode.Acceleration := chopperbeschleunigung;
9     //Beschleunigungsvorgabe
10    Axes.Antrieb1.Ctrl.Admin.StopDeceleration := chopperverzögerung;
11    //Verzögerung
12
13 // Synchronbetrieb stoppen
14 IF stop_chopper = TRUE THEN
15     arAxisCtrl_gb [ 1 ].Admin._OpMode.en := ModeAH;
16
17     Phase_A2 := 0; //Phasenverschiebung löschen
18     Phase_A3 := 0;
19     Phase_A4 := 0;
20     Phase_A5 := 0;
21     Phase_A6 := 0;
22     Phase_A7 := 0;
23     Phase_A8 := 0;
24     Phase_A9 := 0;
25     Phase_A10 := 0;
26 END_IF
27
28 //Phasenverschiebung der Achsen
29 Axes.Antrieb2.Ctrl.SyncMode.PhaseShift := Phase_A2;
30 Axes.Antrieb3.Ctrl.SyncMode.PhaseShift := Phase_A3;
31 Axes.Antrieb4.Ctrl.SyncMode.PhaseShift := Phase_A4;
32 Axes.Antrieb5.Ctrl.SyncMode.PhaseShift := Phase_A5;
33 Axes.Antrieb6.Ctrl.SyncMode.PhaseShift := Phase_A6;
34 Axes.Antrieb7.Ctrl.SyncMode.PhaseShift := Phase_A7;
35 Axes.Antrieb8.Ctrl.SyncMode.PhaseShift := Phase_A8;
36 Axes.Antrieb9.Ctrl.SyncMode.PhaseShift := Phase_A9;
37 Axes.Antrieb10.Ctrl.SyncMode.PhaseShift := Phase_A10;
38
39 //Meldung wenn Phasenverschiebung vollzogen ist
40 Phase_A2_ok := arAxisStatus_gb [ 2 ].PtrAxisData ^ .
41 Axis_InMasterPhaseOffset;
42 Phase_A3_ok := arAxisStatus_gb [ 3 ].PtrAxisData ^ .
43 Axis_InMasterPhaseOffset;
44 Phase_A4_ok := arAxisStatus_gb [ 4 ].PtrAxisData ^ .
45 Axis_InMasterPhaseOffset;
46 Phase_A5_ok := arAxisStatus_gb [ 5 ].PtrAxisData ^ .
47 Axis_InMasterPhaseOffset;
48 Phase_A6_ok := arAxisStatus_gb [ 6 ].PtrAxisData ^ .
49 Axis_InMasterPhaseOffset;
50 Phase_A7_ok := arAxisStatus_gb [ 7 ].PtrAxisData ^ .
51 Axis_InMasterPhaseOffset;
52 Phase_A8_ok := arAxisStatus_gb [ 8 ].PtrAxisData ^ .
53 Axis_InMasterPhaseOffset;
54 Phase_A9_ok := arAxisStatus_gb [ 9 ].PtrAxisData ^ .
55 Axis_InMasterPhaseOffset;
56 Phase_A10_ok := arAxisStatus_gb [ 10 ].PtrAxisData ^ .
57 Axis_InMasterPhaseOffset;
```

```

48
49 //Meldeleuchte Antrieb1
50 IF (arAxisStatus_gb [ 1 ] . PtrAxisData ^ . rActualVelocity_i > 5) AND ( axes
   . Antrieb1 . Status . Admin . MODE_VEL = TRUE ) THEN
51     axes . Antrieb1 . AxisData . wUserCmdDataBitA_q := 1 ;
52
53     ELSIF arAxisStatus_gb [ 1 ] . PtrAxisData ^ . rActualVelocity_i = 0 THEN
54     axes . Antrieb1 . AxisData . wUserCmdDataBitA_q := 0 ;
55 END_IF
56
57
58 //Meldeleuchten Antriebe 2-10
59 FOR uiLoopIndex := 2 TO 10 DO
60     IF ( arAxisCtrl_gb [ uiLoopIndex ] . SyncMode . PhaseShift <> 0 ) AND (
   arAxisStatus_gb [ uiLoopIndex ] . SyncMode . PhasingMasterDone = TRUE ) THEN
61         axes . arAll [ uiLoopIndex ] . AxisData . wUserCmdDataBitA_q := 1 ;
62     arAxisStatus_gb [ uiLoopIndex ] . SyncMode . PhasingMasterDone := FALSE ;
63     ELSIF ( ( arAxisCtrl_gb [ uiLoopIndex ] . SyncMode . PhaseShift = 0 ) AND (
   arAxisStatus_gb [ uiLoopIndex ] . SyncMode . PhasingMasterDone = TRUE ) ) OR
64         ( arAxisStatus_gb [ 1 ] . PtrAxisData ^ . rActualVelocity_i = 0 ) THEN
65         axes . arAll [ uiLoopIndex ] . AxisData . wUserCmdDataBitA_q := 0 ;
66     END_IF
67
68     arAxisStatus_gb [ uiLoopIndex ] . SyncMode . PhasingMasterDone := FALSE ;
69
70 END_FOR
71

```

### 5 actModeAuto\_entry

```

1     Status := MODE_AUTO ; //Betriebsmodus = Automatik
2
3     Phase_A2 := 0 ; //Phasenversatz auf Null setzen
4     Phase_A3 := 0 ;
5     Phase_A4 := 0 ;
6     Phase_A5 := 0 ;
7     Phase_A6 := 0 ;
8     Phase_A7 := 0 ;
9     Phase_A8 := 0 ;
10    Phase_A9 := 0 ;
11    Phase_A10 := 0 ;
12
13    // Antriebe referenzieren
14    FOR uiLoopIndex := 1 TO 11 DO
15        Axes . arAll [ uiLoopIndex ] . Ctrl . Admin . _OpMode . en := ModeHoming ;
16    END_FOR
17
18    //Antriebe 2-10 in die Betriebsart "Winkelsynchronisation" setzen
19    //Antrieb 1 als Master setzen
20    FOR uiLoopIndex := 2 TO 11 DO
21        IF Axes . arAll [ uiLoopIndex ] . AxisData . Axis_Homed = TRUE THEN
22            axes . arAll [ uiLoopIndex ] . Ctrl . SyncMode . Master := Axes . Antrieb1
   . AxisRef ;
23            axes . arAll [ uiLoopIndex ] . Ctrl . Admin . _OpMode . en :=
   ModeSyncPhase ;
24        END_IF
25    END_FOR
26

```

## 6 actModeManual\_active

```

1      // Antriebe absolut positionieren
2
3      IF positionieren = TRUE THEN
4          FOR uiLoopIndex := 1 TO 10 DO
5              IF Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Status.Admin.Active          AND
6                  Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. AxisRef.AxisNo <> NO_OBJECT
7              THEN
8                  Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.Admin._OpMode.en :=
ModePosAbs ;
9                  Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.PosMode.Position := position
10             ; //Vorgabe Position
11             END_IF
12             END_FOR
13         END_IF
14
15         // Wenn Position erreicht ist, Antrieb zurück in Modus AH
16         FOR uiLoopIndex := 1 TO 10 DO
17             IF arAxisStatus_gb [ uiLoopIndex ]. PtrAxisData ^. Axis_InPosition = TRUE
18             THEN
19                 Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.Admin._OpMode.en := ModeAH ;
20                 END_IF
21             END_FOR
22
23         // Antriebe testen
24         FOR uiLoopIndex := 1 TO 10 DO
25             IF test_start [ uiLoopIndex ] = TRUE THEN
26                 Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.VelMode.Velocity :=
choppergeschwindigkeit ;
27                 Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.VelMode.Acceleration :=
chopperbeschleunigung ;
28                 Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.VelMode.Deceleration :=
chopperverzögerung ;
29                 Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.Admin._OpMode.en := ModeVel ;
30             END_IF
31             IF test_stop [ uiLoopIndex ] = TRUE THEN
32                 Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.VelMode.Deceleration :=
chopperverzögerung ;
33                 Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.Admin._OpMode.en := ModeAH ;
34             END_IF
35             END_FOR
36
37

```

## 7 actModeManual\_entry

```

1      Status := MODE_MANUAL ; //Betriebsmodus = Manuell
2
3      // Alle Antriebe in Modus AH
4      FOR uiLoopIndex := 1 TO uiMAX_AXIS_INDEX DO
5          IF Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Status.Admin.Active          AND
6              Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. AxisRef.AxisNo <> NO_OBJECT      THEN
7              Axes.arAll [ uiLoopIndex ]. Ctrl.Admin._OpMode.en := ModeAH ;
8          END_IF
9      END_FOR
10

```

## 8 actModeOff\_entry

```
1   Status := MODE_OFF ; //Betriebsmodus = Off
2
3   // Alle Antriebe abschalten (Modus Ab)
4   FOR uiLoopIndex := 1 TO uiMAX_AXIS_INDEX DO
5       IF Axes . arAll [ uiLoopIndex ] . Status . Admin . Active           AND
6           Axes . arAll [ uiLoopIndex ] . AxisRef . AxisNo <> NO_OBJECT     THEN
7           Axes . arAll [ uiLoopIndex ] . Ctrl . Admin . _OpMode . en := ModeAb ;
8           axes . arAll [ uiLoopIndex ] . AxisData . wUserCmdDataBitA_q := 0 ;
9           //Meldeleuchten aus
10          END_IF
11        END_FOR
```