

Gedanken zu Kinematik und Systemgesichtspunkten

ARGOS Cal-Swingarm Antrieb

Th. Blümchen @ MPIA

Inhalt

1	Kinematik.....	1
2	Designziele.....	1
2.1	Systemsicherheit	2
2.2	Reproduzierbarkeit.....	2
2.3	Schwingungsdämpfung.....	2
3	Randbedingungen.....	2
4	Ausführung.....	4
4.1	Getriebe.....	4
4.2	Motor.....	5
4.3	Motoransteuerung	6
5	Vorschlag zum sicheren Anfahren der Arbeitsposition mit Vorspannung	9

1 Kinematik

wechselseitige Bewegung zwischen Park- und Arbeitsposition

gewählt:

Zeitvorgabe:

ca. 1min/Positionswechsel

Zyklus:

4s Beschleunigung ($0,6^\circ/s^2$)

52s gleichmäßige Bewegung ($2,4^\circ/s$)

4s abbremsten

Vorteil:

- geringste Maximalgeschwindigkeit (geringste mgl. Kollisionsgeschwindigkeit)
- zügige Überwindung des Kriechbereiches

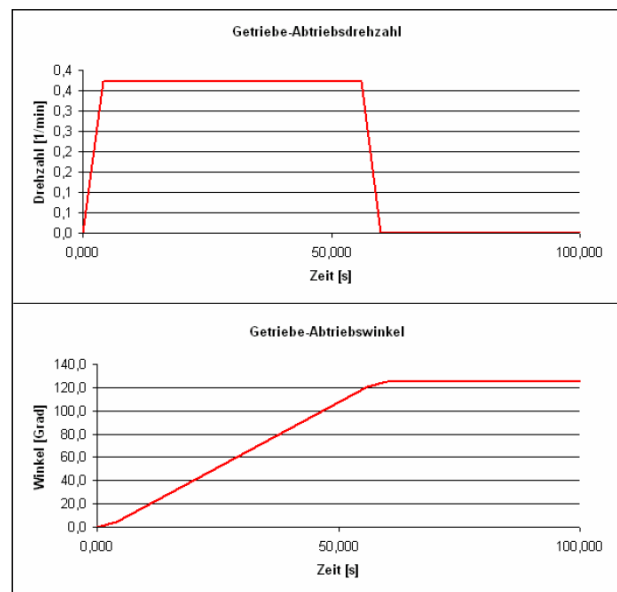


Fig. 1 Bewegungsprofil

Verbesserungswunsch:

Beschleunigung und Abbremsung mit sinuoidalem Verlauf
(stoß- und ruckfrei → strukturschonend)

2 Designziele

- Systemsicherheit (Kollisionsvermeidung mit Priorität; sollte dennoch Kollision auftreten, darf Arm nicht abbrechen)
- Reproduzierbarkeit der Arbeitsposition ($\pm 1\text{mm}$)
- Schwingungsdämpfung

2.1 Systemsicherheit

Maßnahmen zur Kollisionsvermeidung und Risikobegrenzung

- Drehmomentbelastbarkeit der Cal-Swingarm-Konstruktion und des Antriebes ausreichend groß, so dass Gewichtskraft bei horizontaler Teleskopelevation abgefangen werden kann (ca. 2105Nm)
- Hardware-Interlock der Antriebe von LBC- und Cal-Swingarm (elektrischer Umschalter, unabhängig von Software)
- Software-Interlock der Antriebe von LBC- und Cal-Swingarm
- Kollisions-Ausschalter an Cal-Unit (TBC)
- Indexschalter wenige mm vor Erreichung der Arbeits- bzw. Parkposition zur Vorausberechnung selbiger
- Elevations- und positionsabhängige Begrenzung des Antriebsdrehmoments
- Endanschläge in Arbeits- und Parkpositionen
- Festigkeit des Cal-Swingarms soll höher sein als Durchdreh-Drehmoment des Getriebes (,Ratcheting-Moment')
- Sollbruchstelle zwischen Antrieb und Cal-Swingarm (TBC; z.B. Scherstift zu unsicher)
- Gravitation treibt antriebslosen Cal-Swingarm in Richtung Arbeits- oder Parkposition
- Bremse im Antriebsstrang verhindert Absinken des Armes bei Stromausfall
- Absolutencoder auf Swingarm-Welle (TBC)

2.2 Reproduzierbarkeit

- Reproduzierbarkeit wird durch einstellbaren/schimbaren Endanschlag gewährleistet
- Elektromagnet soll Arm in Arbeitsposition gegen Anschlag ziehen und dort halten

2.3 Schwingungsdämpfung

Neben einer schwingungsgedämpften konstruktiven Auslegung des Cal-Swingarms und evtl. Nachbesserung mittels Dämpfungsfolien soll der Antrieb (das Getriebe) in der Arbeitsposition dämpfend/Schwingungsmindernd vorgespannt sein. Motorsteuerungen realisieren dies mit Hilfe der Funktion ,Fahren auf Festanschlag', indem der Motor mit einem definierten (Vorspann-) Drehmoment gegen den Anschlag fährt.

Erlaubte Vorspanndrehmomente und Vorspannwinkel am Motor sind mit dem Motoranbieter abgesprochen.

3 Randbedingungen

Lastverläufe

Während des Bewegungszyklusses ändert sich das vom Antrieb bereitzustellende Drehmoment. Es ist abhängig vom

- Schwenkwinkel
- Verfahrriichtung (in/out)
- Elevation des Teleskops

Eine erste Abschätzung zeigt Fig. 2.

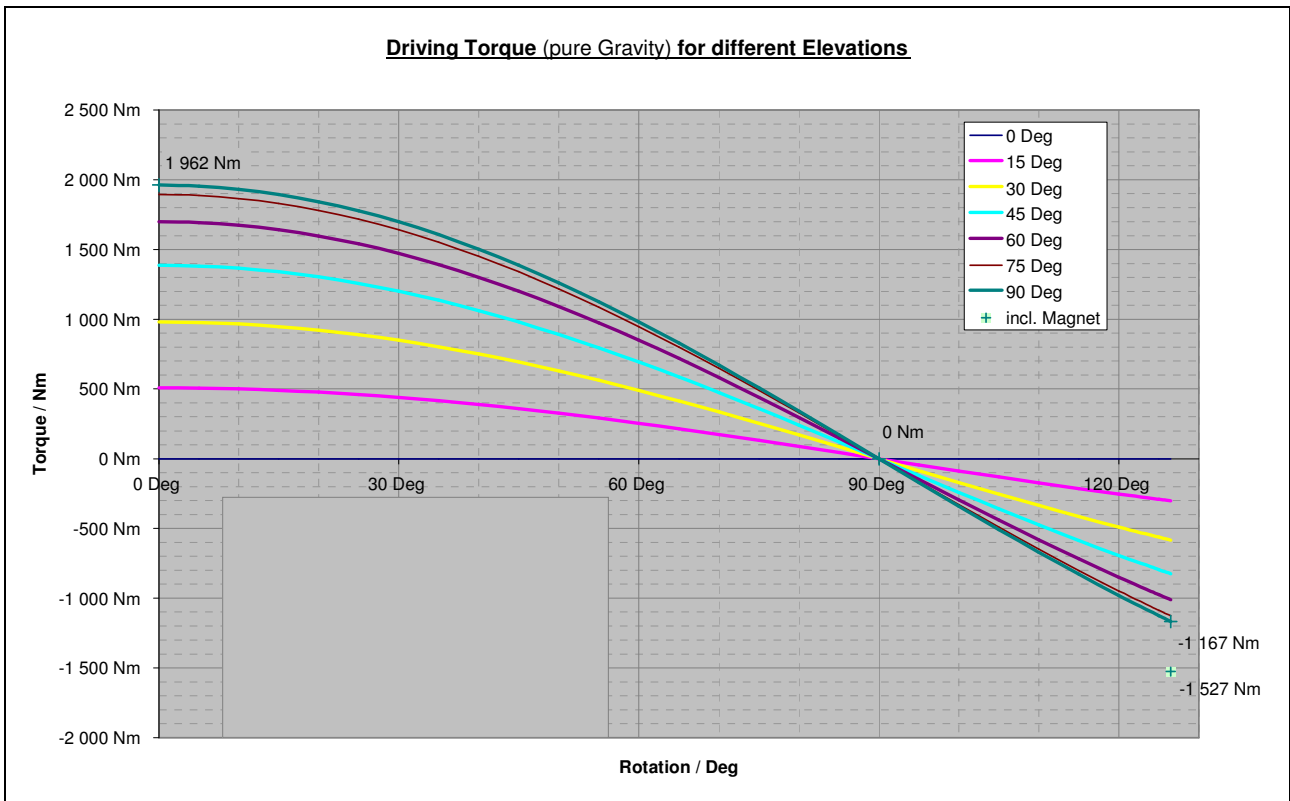


Fig. 2 Drehmomentbelastung am Getriebeausgang (mit vorläufigen Maßen und Massen)

Schon eine erste grobe Abschätzung in Fig. 3 zeigt, dass aus Sicherheitsgründen eine Winkel und Elevationsabhängige Begrenzung des Motordrehmomentes wünschenswert ist. Wenn nicht, würde die Begrenzung des Motordrehmomentes auf die Vorspannkraft (600N = 360Nm@Arm = 2,25Nm@Motor) eine swing-in-Bewegung bei Elevationswinkeln größer als ca. 10° verhindern.

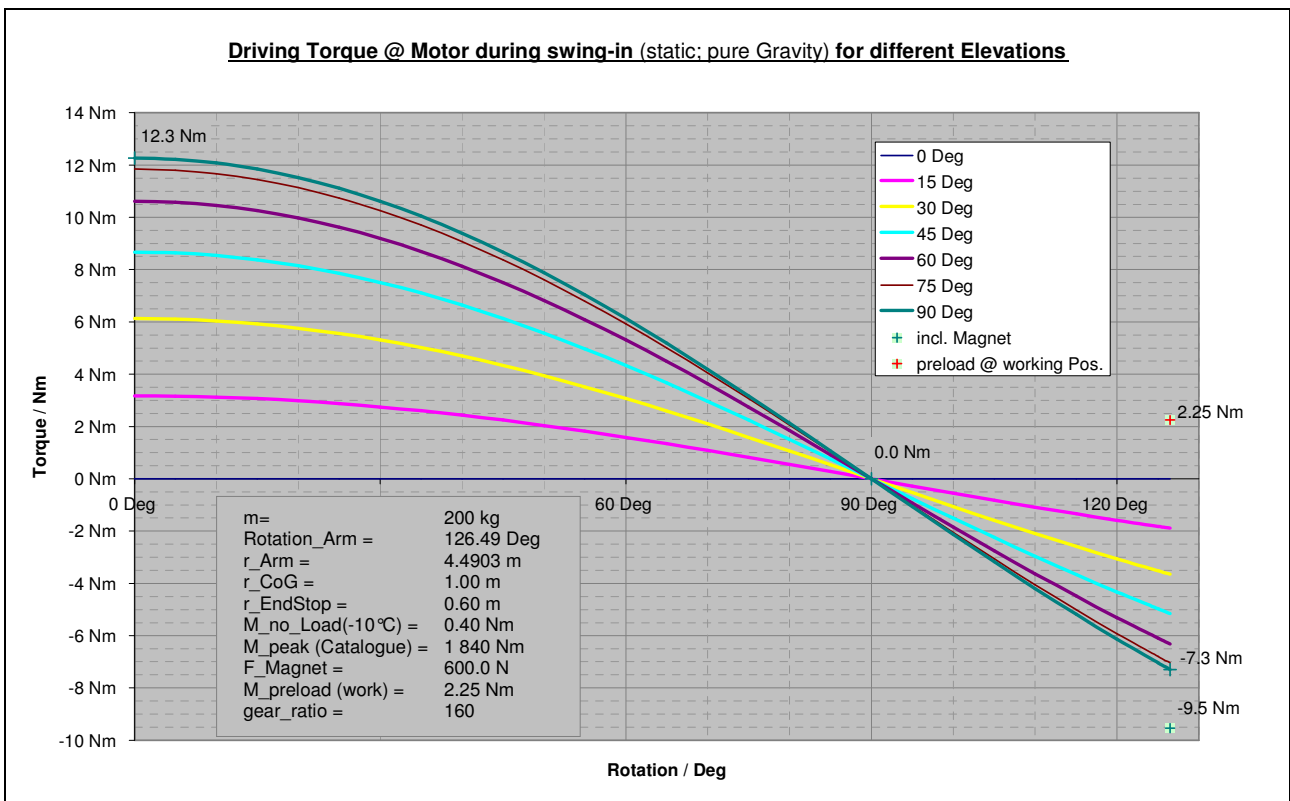


Fig. 3 Gewichtsabhängiger Anteil des Motorsdrehmomentes (mit vorläufigen Maßen und Massen)

In der weiteren Betrachtung stellt sich für zenitnahen Schwenkbewegungen die Abhängigkeit von der Verfahrrichtung als nicht gering gegenüber dem Gravitationseinfluß heraus.

4 Ausführung

4.1 Getriebe

Nach Absprache mit dem Hersteller ist ein Getriebe HarmonicDrive HFUC-58-160-2UH vorgesehen. Es liegt eine Sonderfreigabe (Spitzenmoment 2160Nm), sowie wichtige Kenngrößen für den Einsatz vor.

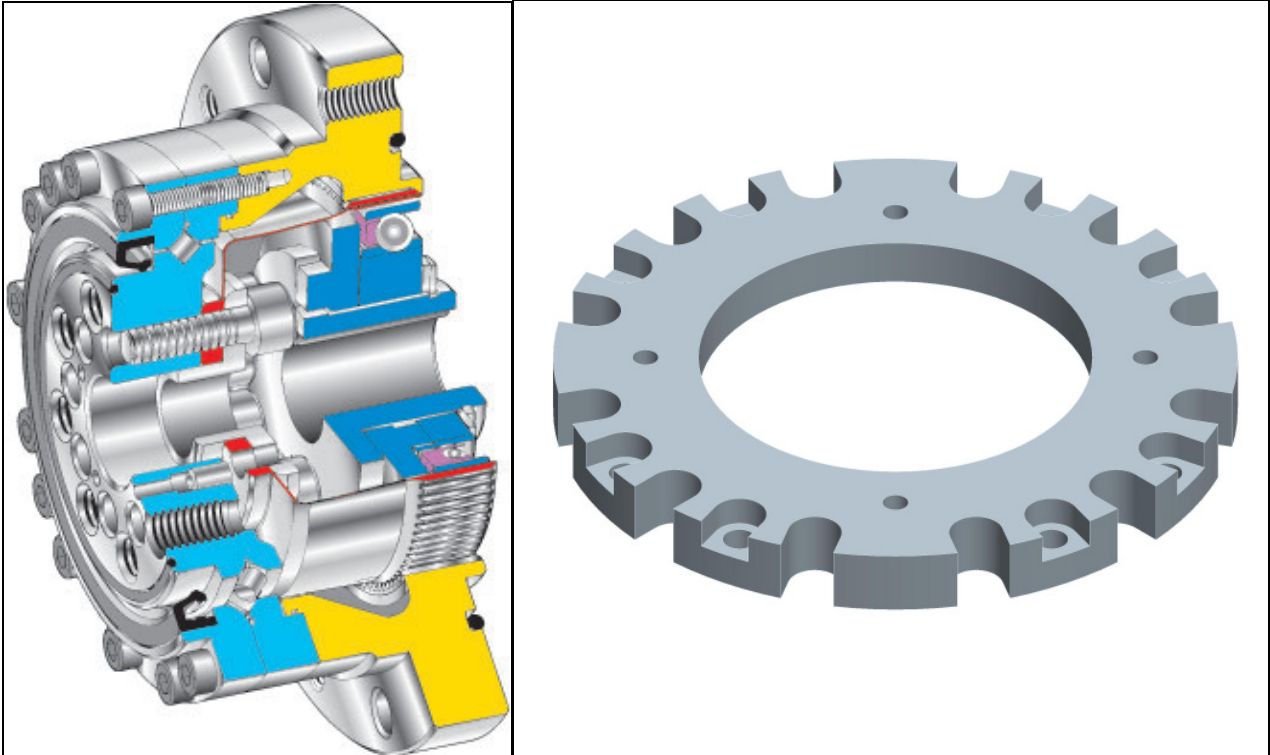


Fig. 4 HarmonicDrive HFUC-2UH Unit und Adapterflansch für Siemens-Motor

Bei Umgebungstemperaturen von -10°C steigt allerdings das motorseitige Anlaufmoment von $0,68\text{Nm}$ auf ca. 4Nm . Die Auswirkungen auf den Drehmomentenverlauf zeigt Fig. 5. Das Vorspannmoment des Getriebes muss deshalb in Arbeitsposition auf 4Nm@Motor erhöht werden (34%-ige Ausnutzung des Katalogwertes).

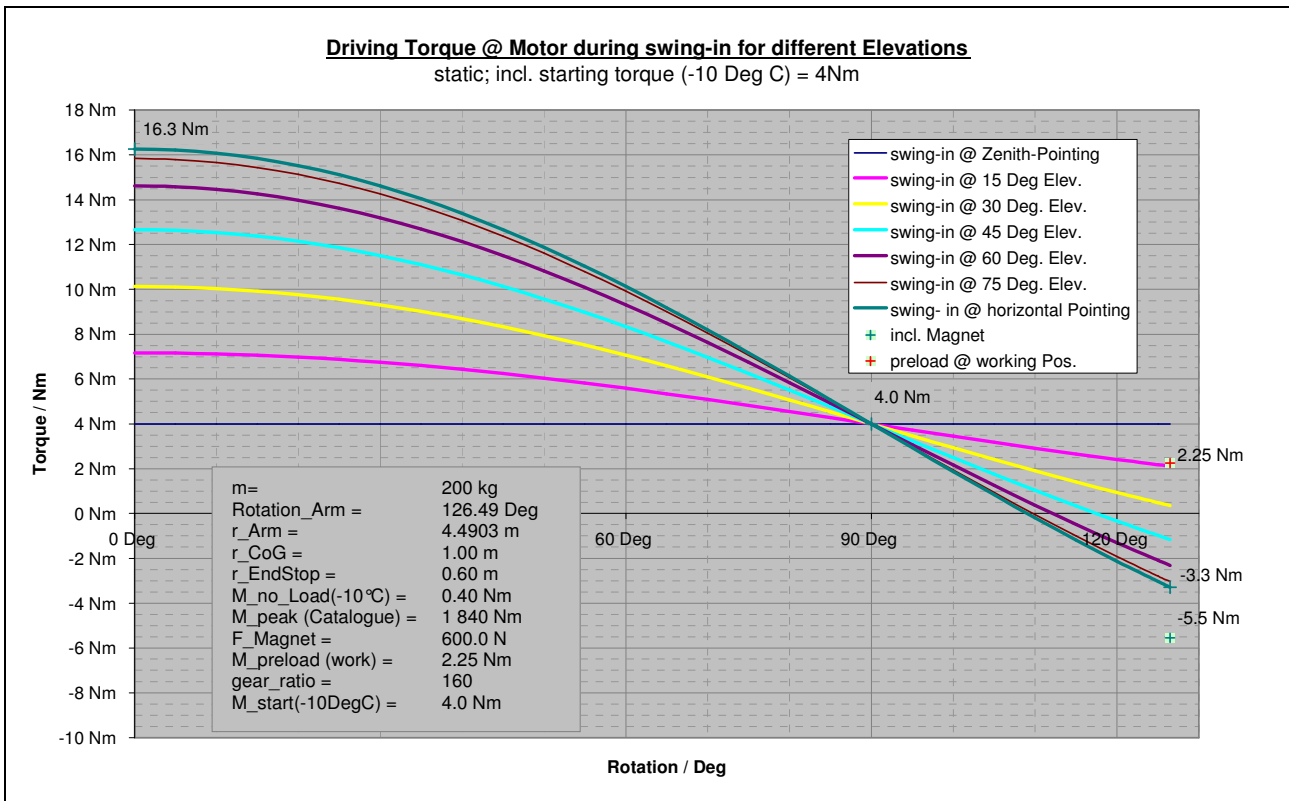


Fig. 5 Drehmomentbelastung des Motors während der Einschwingbewegung bei Umgebungstemperaturen von -10°C (mit vorläufigen Maßen und Massen)

4.2 Motor

In Absprache und auf Empfehlung des Getriebeherstellers ist ein kompakter permanenterregter Synchronmotor mit angebautem Inkrementalgeber und Bremse vorgesehen. Konkret handelt es sich um den luftgekühlter Motor 1FK7083-5AF71-1DB3 (3,3kW; AH80mm) der Firma Siemens. Als wassergekühlte Alternative wurde auch der Motor 1FT6084-8WF71-1DE3 (10,99kW; AH80mm) angeboten.

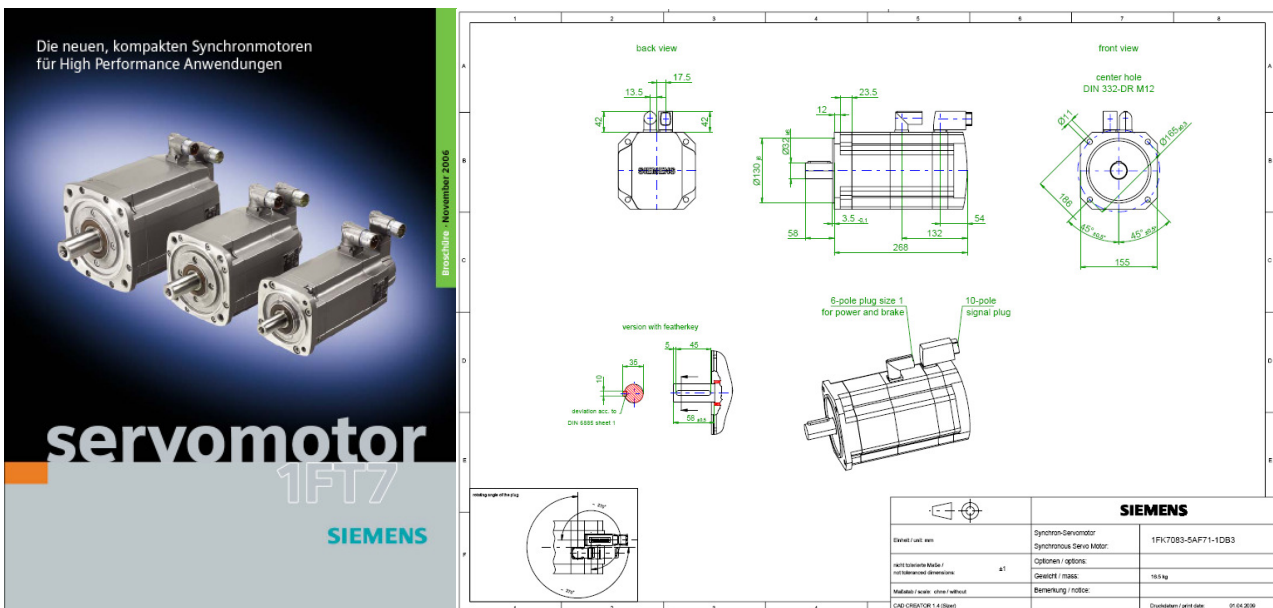


Fig. 6 luftgekühlter Motor 1FK7083-5AF71

Der Getriebehersteller bietet die Montage mit Hilfe eines speziellen Adapterflansches an.

4.3 Motoransteuerung

Da es sich als Folge des erhöhten Drehmomentes (aufzubringen bei horizontaler Elevation) um einen elektronisch kommutierten Motor handelt, ist die ansonsten im Projekt eingesetzte MPIA-Servosteuerung nicht einsetzbar. Die Frage nach Kauf oder Eigenentwicklung wurde im Gespräch WG mit der MPIA-Elektronikabteilung zugunsten einer kommerziellen Lösung beantwortet.

Der Motoranbieter selbst bietet verschiedene passende Steuerungen an. Darunter befinden sich prinzipiell auch wassergekühlte Varianten. Der motornaher Teil der ‚Steuerung‘ wird Antriebssystem SINAMICS S120 genannt. Für die Bauform ‚Blocksize‘ liegt ein Angebot vor. Die Bauform ‚Chassis‘ oder ‚Wassergekühlt-Chassis‘ wurden allerdings für höhere Motorleistungen entwickelt und wären für den Cal-Swingarm überdimensioniert.



Fig. 7 luftgekühlte Steuerungen



Fig. 8 wassergekühlte Steuerung (für Leistungen ab 90kW → für Cal-Swingarm überdimensioniert)

Das Antriebssystem SINAMICS S120 weist eine Trennung von Leistungsteil und Regelungsbaugruppe (Control Unit) auf. Die Kommunikation zur übergeordneten Steuerung (TBD) erfolgt über PROFIBUS mit Profil PROFIdrive V4 (Control Unit CU310 DP) oder PROFINET IO (Industrial-Ethernet-Standard IEC 61158 für die industrielle Automatisierung) über 2 Ports (Buchsen RJ45) mit Profil PROFIdrive V4 gemäß IEC 61800-7 (Control Unit CU310 PN). Bezüglich der Auswahl der zu beschaffenden Anbindung besteht noch Entscheidungsbedarf.

Fig. 9 zeigt eine mögliche Beschaltung der Control Unit mit Profibus-Schnittstelle. Es bestehen u.a. folgende Anschlüsse:

- 1 Geberauswertung: folgende Gebersignale können ausgewertet werden:
 - Inkrementalgeber TTL/HTL
 - SSI-Geber ohne Inkrementalsignale
- 4 parametrierbare Digitaleingänge (potenzialfrei)
- 4 parametrierbare bidirektionale Digitaleingänge/-ausgänge (nicht potenzialfrei)
- 1 Temperatursensor-Eingang (KTY84-130 oder PTC)
- 1 Sicherer-Halt-Eingang (Enable Pulses) zur Ansteuerung des angeschlossenen Power Moduls PM340

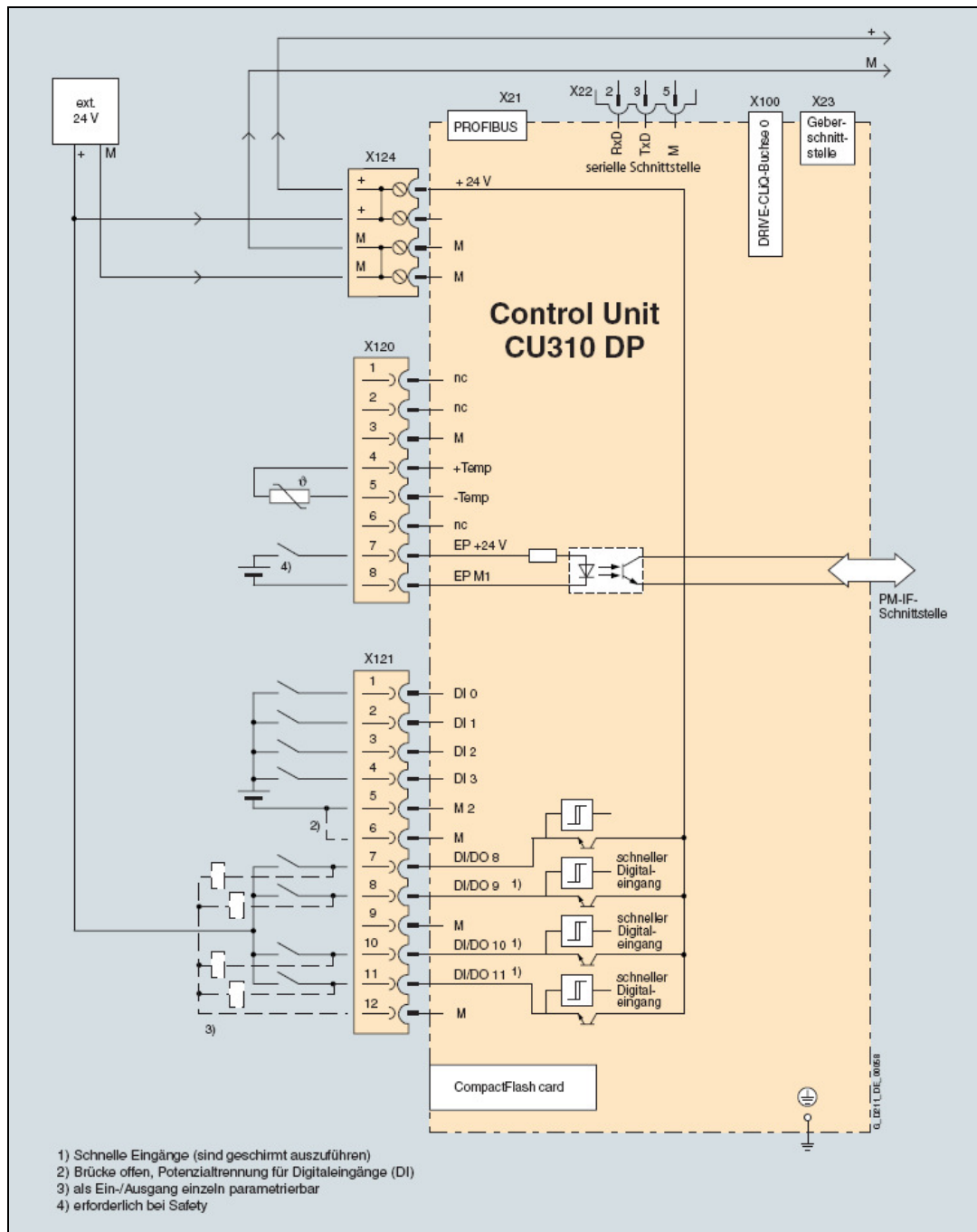


Fig. 9 Anschlussbeispiel Control Unit CU310 DP (Profibus)

SINAMICS S120 - Antriebssysteme ermöglichen u.a. eine Servoregelung und lassen sich für komplexe Bewegungsaufgaben über ein SPS-Interface ansteuern, sind aber auch in der Lage bis zu

64 verschiedene zuvor programmierte Bewegungsfunktionen/Positionieraufgaben auf externe Kommandos auszuführen.

Funktion EPos: Bis zu 64 absolute Zielpositionen oder Fahrwege, sowie die jeweiligen Verfahrgeschwindigkeiten können bei der Inbetriebnahme fest im Antrieb hinterlegt werden. Dabei zählen vor und Rückbewegung als zwei Bewegungsfunktionen. Darüber hinaus ist es aber auch möglich, diese Parameter bedarfsabhängig von einer übergeordneten SPS zu übertragen. Selbst die fliegende Änderung von Zielpositionen und Geschwindigkeiten während einer Positionierfahrt ist möglich.

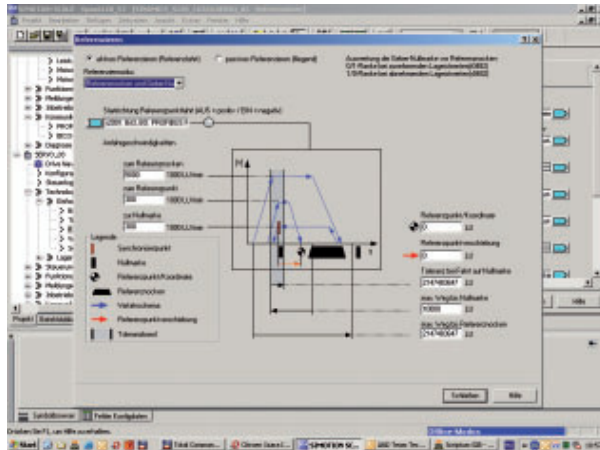


Fig. 10 vorkonfektionierte Parametriermaske für EPos in Inbetriebnahme-Software

Funktion Drive Control Chart „DCC“: erlaubt die Verlagerung antriebsnaher Steuerungs- und Regelungsaufgaben in den Antrieb. Damit ist eine flexible und optimale Anpassung des Antriebssystems an eine Vielfalt von Antriebs- und Automatisierungsszenarien möglich. Bausteine werden aus einer vordefinierten Bibliothek ausgewählt und per Drag and Drop grafisch miteinander verknüpft. Test- und Diagnosefunktionen erlauben es, das Programmverhalten zu verifizieren bzw. im Fehlerfall die Ursache zu identifizieren.

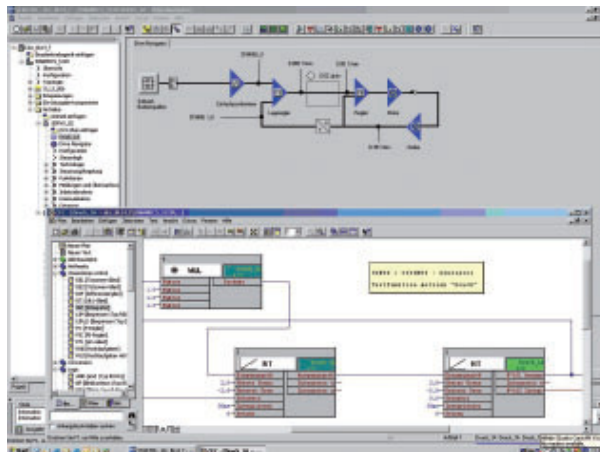


Fig. 11 Grafische Projektierung mit DCC

Es ist die Ausführung als 1-Geber- oder als 2-Geber-System realisierbar (z.B. für zweiten Winkelgeber direkt an Welle des Cal-Swingarms).

Zu den steuerungssseitigen Sicherheitsfunktionen gehören:

- Motorfreilauf (Safe Torque Off / STO)
- sichere Bremsenansteuerung (Safe Brake Control / SBC)
- sicheres Stillsetzen Kategorie 1 und 2 (Safe Stop 1 und 2)
- sicherer Betriebshalt (Safe Operating Stop / SOS)
- sichere Geschwindigkeitsbegrenzung (Safety-Limited Speed / SLS)

- sichere Geschwindigkeitsüberwachung (Safe Speed Monitor / SSM)

Eine Drehmomentbegrenzung ist möglich. Ohne übergeordnete Prozeßsteuerung (SPS) kann jedoch nach Verständnis des Autors nur ein maximales Drehmoment pro Bewegungsfunktion vorgegeben werden. Daraus resultiert im schlimmsten Fall, dass die Parkposition wegen Beschränkung auf das Vorspannmoment bei zenitfernen Elevationen nicht verlassen werden kann (mit den obigen Annahmen ohne Berücksichtigung des Anlaufmoments $>10,5^\circ$)!

Soll diese Begrenzung vermieden werden, so ist die Kommunikation zum übergeordneten Rechner derart zu modifizieren, dass von einer (zeitunkritischen) Datenkommunikation zusätzlich auf eine Prozesskommunikation/Real-Time Kommunikation übergegangen wird. Dies ermöglicht die Übertragung von Prozessdaten, stellt jedoch erhöhte Anforderungen an den übergeordneten Rechner und die Netztopologie. Als Ergebnis steht dann eine Vorgabe von Drehzahl-, Moment- und Stromsollwerten oder auch zusätzlicher Zielpositionen bereit (diese Prozessdaten müssen nicht takt synchron miteinander gekoppelt sein \rightarrow PROFINET IO mit RT ausreichend, noch anspruchsvolleres PROFINET IO mit IRT nicht erforderlich).

Ein anderer Weg zur variablen Drehmomentbegrenzung könnte evtl. der Einsatz der Control Unit SIMOTION D410 statt SINAMICS S120 sein. Dies wäre noch beim Anbieter zu hinterfragen.

Bezüglich weiterer Details wie Platzbedarf, Entwärmung und Ermittlung der Schaltschranktemperatur wird auf den Katalog „SINAMICS S120: PM 21“ verwiesen.

Für den unabhängigen Aufbau der Beiden Cal-Swingarme sind separate Motorsteuerungen vorteilhaft. Daraus ergibt sich die Empfehlung für den Einsatz von Einzelachssteuerungen *SINAMICS S120 AC/AC - Servo*.

5 Vorschlag zum sicheren Anfahren der Arbeitsposition mit Vorspannung

Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Ausführungen wird folgendes Verfahren zum vorgespannten, aber sicheren Anfahren der Arbeitsposition vorgeschlagen.

- ❖ Standard: Motor dreht nach Überfahren des Indexschalters um eine zuvor exakt festgelegte Winkelspanne über den Schaltpunkt hinaus (z.B. 50°).
Maßverkörperungen hierfür sind der Indexschalter vor dem Anschlag und der inkrementale Geber des Motors.
- ❖ 1. Sicherheitsstufe: Abschaltung auf Grund des gemessenen Motordrehmomentes
- ❖ 2. Sicherheitsstufe: TBC Sollbruchstelle
- ❖ 3. Sicherheitsstufe: Überspringen des Getriebe-Flexsplines (schädigt Getriebege nauigkeit)
- ❖ 4. Sicherheitsstufe: Getriebebruch