

How To: Einstellen des Kraftreglers

Eine Anleitung zum Einstellen der Technologiefunktion «Kraftregelung»

Klassifizierung: Öffentlich
 LinMot intern

Inhalt	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	3
Zusätzliche Dokumente	4
Informationsstand:	4
Einleitung	5
1 Voraussetzungen an die Geräte	9
1.1 <i>Funktionsumfang der Drives</i>	10
1.1.1 <i>Regelgenauigkeit / Auflösung</i>	10
1.1.2 <i>Analoge Eingänge</i>	10
1.1.3 <i>Reglerstruktur</i>	10
1.1.4 <i>Filter</i>	11
1.1.5 <i>Vorsteuerung</i>	11
1.1.6 <i>Speed Limiter</i>	11
1.2 <i>Voraussetzung Sensor / Messverstärker</i>	11
2 Elektrischer Anschluss	12
2.1 <i>Anschluss Messumformer / Sensor 0-10V</i>	12
2.2 <i>Anschluss Messumformer / Sensor -10...10V</i>	14
3 Einstellen des Messumformers / Sensors	16
4 Parametrierung des analogen Eingangs	16
4.1 <i>Parametrieren des Eingangskanals</i>	16
4.2 <i>Parametrieren des Messbereichs</i>	17
4.3 <i>Parametrieren der Filter</i>	18
5 Einstellverfahren Kraftregelkreis	19
5.1 <i>Ermittlung des Vorsteuerparameters «FF Friction»</i>	19
5.2 <i>Ermittlung des Vorsteuerparameters «FF Acceleration»</i>	20
5.3 <i>Parameter «FF Friction Deadband»</i>	20
5.4 <i>Strombegrenzung</i>	22
5.5 <i>Speed Filter</i>	24
5.6 <i>Speed Limiter</i>	24
5.7 <i>Empirisches Einstellen des Kraftregelkreises für statische Regelung</i>	24
6 Nutzung der Technologiefunktion «Kraftregelung» auf I/O Geräten	29
7 Nutzung der Technologiefunktion «Kraftregelung» auf Geräten mit Drive-Profilen	30
7.1 <i>Nutzung Kraftregelung auf Profil DS402</i>	30
7.2 <i>Nutzung Kraftregelung auf Profil ProfiDrive</i>	30
8 Dokumentversion	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hypothetische Anwendungsfälle - machbar.....	5
Abbildung 2: Hypothetische Anwendungsfälle - nach Möglichkeit vermeiden.....	5
Abbildung 3: Hypothetische Anwendungsfälle - machbar.....	6
Abbildung 4: Hypothetische Anwendungsfälle - nach Möglichkeit vermeiden.....	7
Abbildung 5: Hypothetische Anwendungsfälle - machbar.....	8
Abbildung 6: Prinzipdarstellung 0-10V Messeinrichtung.....	12
Abbildung 7: Beispielanschluss eines Messumformers an E12X0 Drive.....	13
Abbildung 8: Prinzipdarstellung -10-10V Messeinrichtung.....	14
Abbildung 9: Beispielanschluss eines Messumformers an E12X0 Drive.....	15
Abbildung 10: Eingangsparametrierung - Eingangskanal wählen.....	16
Abbildung 11: Eingangsparametrierung - Einstellen des Messbereichs.....	17
Abbildung 12: Eingangsparametrierung - Einstellen von Filterzeiten.....	18
Abbildung 13: FF Friction – Motorkraftkonstante.....	19
Abbildung 14: Bestimmen der Geschwindigkeitsfluktuation für das "FF Friction Deadband".....	21
Abbildung 15: Stromlimit in der Kraftregelung.....	22
Abbildung 16: Empirische Reglereinstellung - Motorkraftkonstante.....	22
Abbildung 17: LinMot Talk "Control Panel" - Variable anzeigen.....	23
Abbildung 18: LinMot Talk "Control Panel" - Manuell Motor positionieren und Kraftanstieg beobachten.....	24
Abbildung 19: Oszilloskop Aufzeichnungskanäle für Kraftregler.....	25
Abbildung 20: Oszilloskop Triggereinstellungen für Kraftregler.....	26
Abbildung 21: Oszilloskop Pre-Trigger für Kraftregler.....	26
Abbildung 22: Einstellung Kraftregler - "Control Panel".....	27
Abbildung 23: Kraftregelung - Mögliches Einstellresultat.....	28
Abbildung 24: Auffinden von Parameterskalierungen.....	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht unterstützter Drives und deren Grundfunktionen.....	9
Tabelle 2: Drives und Feldbusse für Verwendung der Fahrbefehle "Kraftregelung".....	9
Tabelle 3: Kraftregelung mittels Drive-Profilen.....	30

Zusätzliche Dokumente

Dokument	Link

Informationsstand:

Die in dieser Anleitung verwendeten Informationen basieren auf der Firmware:

- Firmware 6.9 Build 20201026

Bei Verwendung anderen Versionen kann der Umfang an Funktionen abweichen!

Einleitung

Für eine gute und stabile Kraftregelung sind ein paar Punkte zu beachten:

- Messen Sie *so nahe wie möglich an der Last*, auf die Sie eine geregelte Kraft einkoppeln möchten!
- Es ist günstiger, bei vertikaler Krafteinwirkung gegen die Eigenmasse der Mechanik zu arbeiten und nicht die Eigenmasse der zu regelnden Kraft zu überlagern.
- Wählen Sie den Messbereich des Sensors passend zu den Anforderungen der Anwendung aus.
- Vermeiden Sie unnötig grosse Messbereiche, da dies die Auflösung reduziert.
- Die beste Genauigkeit eines Sensors ist im Regelfall immer im oberen Drittel des Messbereichs.

Hypothetische Anwendungsfälle:

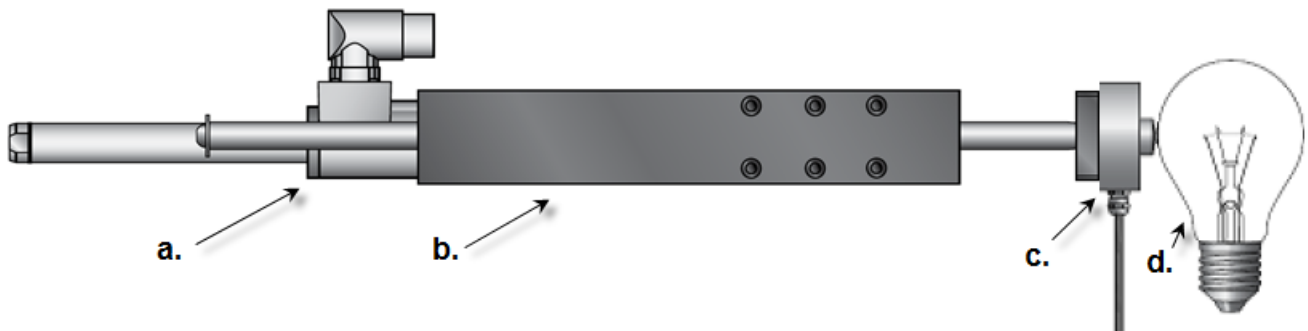


Abbildung 1: Hypothetische Anwendungsfälle - machbar

Abbildung 1 zeigt einen Linearmotor (a) in einer Führung (b). Der Kraftsensor (c) ist am Ende der Führung angebaut und übt eine Presskraft auf ein Objekt (d) aus.

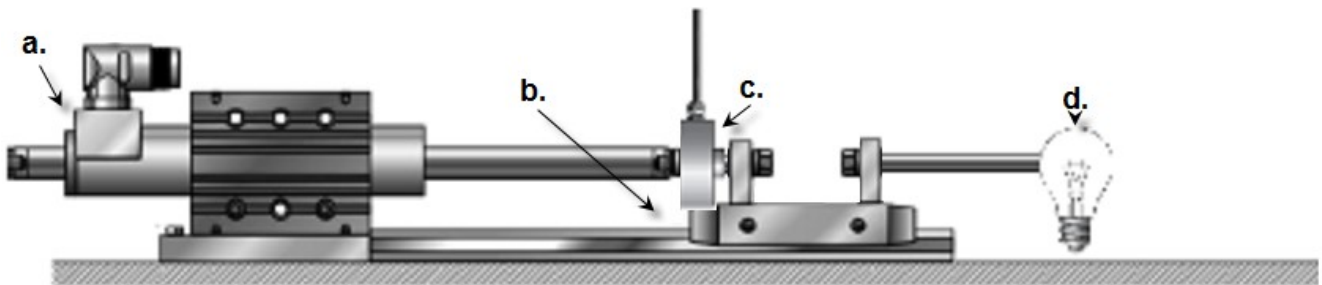


Abbildung 2: Hypothetische Anwendungsfälle - nach Möglichkeit vermeiden

Abbildung 2 zeigt einen Linearmotor (a), dessen Läufer die Presskraft über den Kraftsensor (c) auf einen Führungswagen (b) einkoppelt, der wiederum die Kraft auf das zu pressende Objekt (d) weiterleitet.

Hier werden Störeffekte des Führungswagen mitgemessen und wirken sich störend auf den Regelungsprozess aus.

Solche Einbauvarianten sollten vermieden werden.

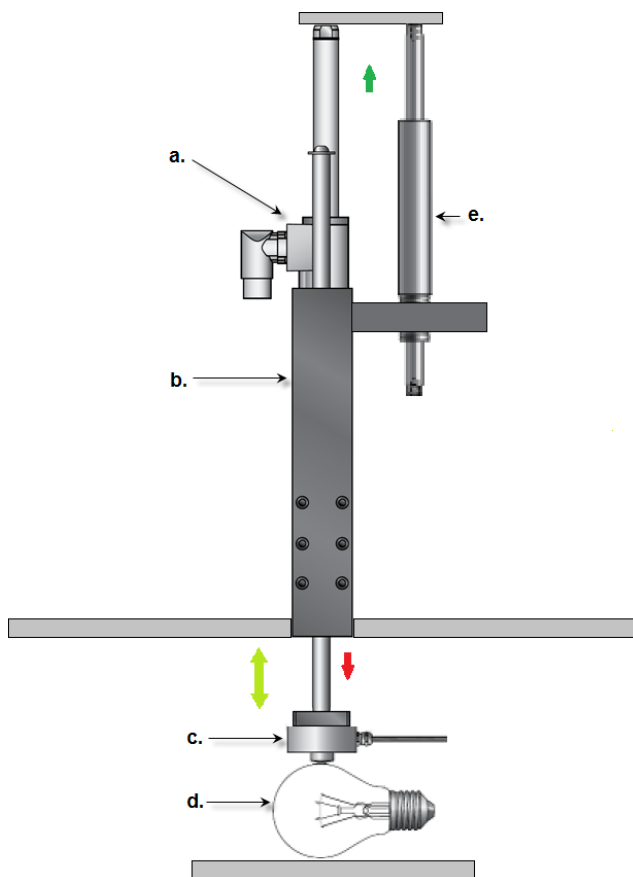


Abbildung 3: Hypothetische Anwendungsfälle - machbar

In Abbildung 3 wird ein Linearmotor (a) in einer Führung (b) vertikal verwendet, um über einen Kraftsensor (c) eine Presskraft auf ein Objekt (d) auszuüben. Die Eigengewichtskraft vom Motor / der Führung wird hier durch eine Feder (MagSpring, e) kompensiert. Damit wirkt keine zusätzliche gravimetrische Kraft über der zu regelnden Kraft.

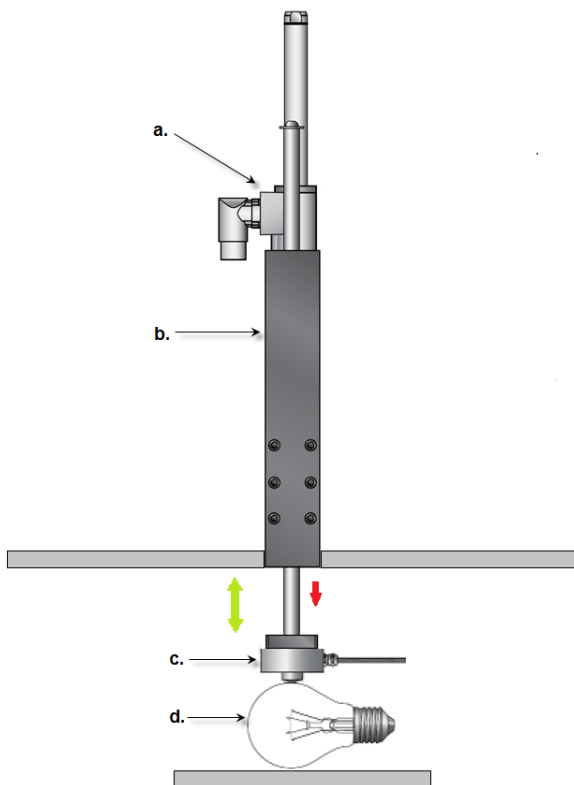


Abbildung 4: Hypothetische Anwendungsfälle - nach Möglichkeit vermeiden

Abbildung 4 zeigt eine vertikale Pressanwendung, wo ein Linearmotor (a) vertikal in einer Führung (b) eine Presskraft über den Kraftsensor (c) auf ein Objekt (d) einwirken lässt. Hier überlagert sich die Gewichtskraft der bewegten Teile von Führung und Motor auf die zu regelnde Kraft. Das kann sich je nach nötiger Dynamik und Genauigkeit störend auswirken.

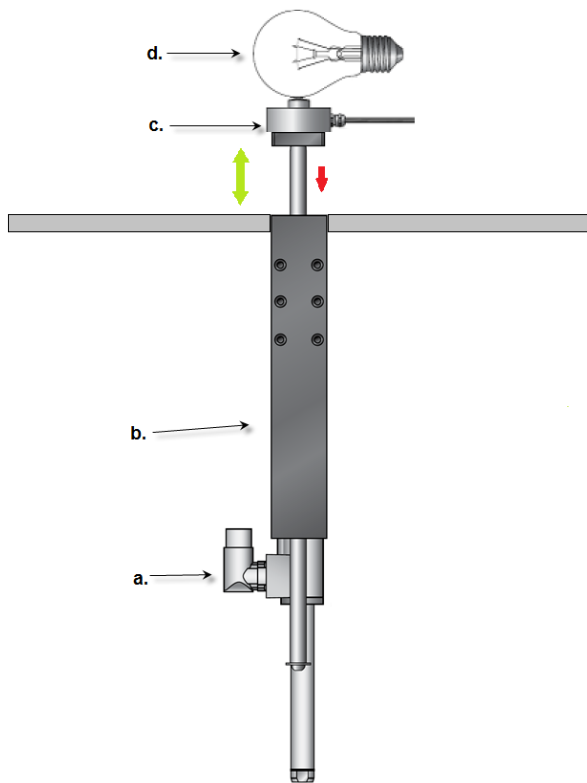


Abbildung 5: Hypothetische Anwendungsfälle - machbar

Abbildung 5 zeigt ebenfalls eine vertikale Pressanwendung. Hier wirkt aber der Linearmotor (a) montiert in einer Führung (b) über den Kraftsensor (c) entgegen der Gewichtskraft der beweglichen Komponenten auf das Objekt (d) ein. Der Kraftsensor misst hier nur die zu regelnde Grösse ohne überlagerte Grundkräfte. Diese werden hier automatisch als eine Art Offset-Kraft kompensiert.

1 Voraussetzungen an die Geräte

Die nachfolgenden Drives bieten die Technologiefunktion «Kraftregelung», wobei bei einigen Modellen funktionale Unterschiede in der Reglerstruktur bestehen. Je nach Prozess kann dies einschränkend auf die Regelungsqualität sein.

Drives mit Kraftregelung	A/D	Eingänge	Reglerstruktur	Filter	Vorsteuerung	Speed Limiter
B1100-VF	10 Bit	1x 0-10V & 1x -10...10V	PI	-	-	-
B1100-GP	10 Bit	1x 0-10V & 1x -10...10V	PI	-	-	-
C11X0	10 Bit	1x 0-10V & 1x -10...10V	PI	-	-	X
C12X0	12 Bit	1x 0-10V & 1x -10...10V	PID	X	X	X
C14X0	12 Bit	1x 0-10V & 1x -10...10V	PID	X	X	X
E11X0	12 Bit	1 x 0-10V	PI	-	-	-
E12X0	12 Bit	1x 0-10V & 1x -10...10V	PID	X	-	X
E14X0	12 Bit	1x 0-10V & 1x -10...10V	PID	X	X	X

Tabelle 1: Übersicht unterstützter Drives und deren Grundfunktionen

X: Vorhanden, -: nicht vorhanden

Die nachfolgenden Drives mit den gelisteten Feldbus-Varianten unterstützen Fahrbefehle der Technologiefunktion «Kraftregelung» über den Feldbus:

Drives	Feldbus
B1100-GP	CANOpen DeviceNet, LinRS
C11X0-	Profinet, EtherCAT, CANOpen, LinRS
C12X0-	Profinet, EtherCAT, Powerlink, Ethernet/IP, CC-Link, Sercos III (FSP_IO), LinUDP
C14X0-	Profinet, EtherCAT, Powerlink, Ethernet/IP, Sercos III (FSP_IO), LinUDP
E11X0-	CANOpen, Profibus DP, DeviceNet, LinRS
E12X0-	Profinet, EtherCAT, Powerlink, Ethernet/IP, Sercos III (FSP_IO), Profibus DP, LinUDP, CANOpen, LinRS
E14X0-	Profinet, EtherCAT, Powerlink, Ethernet/IP, Sercos III (FSP_IO), Profibus DP, LinUDP, CANOpen, LinRS

Tabelle 2: Drives und Feldbusse für Verwendung der Fahrbefehle "Kraftregelung"

Um die Kraftregelung nutzen zu können, muss die Technologiefunktion «Kraftregelung» separat bestellt werden. Bei der Bestellung ist, falls dies nachträglich erfolgt, die Geräteseriennummer anzugeben, da die Freischalt-Lizenz an die Seriennummer gekoppelt ist.

Details zum Aktivieren der Technologiefunktion finden Sie im zugehörigen Handbuch [Technologiefunktion Kraftregelung \(0185-1096-D\)](#).



Achtung: Die Technologiefunktion «Kraftregelung» muss separat bestellt werden und ist nicht automatisch verfügbar!

Die Werte von Tabelle 1 beziehen sich auf die Firmware 6.9 Build 20201026 und können bei Verwendung anderer Firmware-Versionen abweichen.

1.1 Funktionsumfang der Drives

Die Drives haben unterschiedlichen Funktionsumfang. In Tabelle 1 ist dies aufgelistet. Je nach Anwendung / Anforderung kann dies relevant sein.

Die Auflösung des A/D Wandlers bestimmt in Verbindung mit dem Sensor und dessen Messbereich die mögliche Auflösung und Regelgenauigkeit.

Die analogen Eingänge bestimmen die mögliche Ausgangsoption des Sensors/Messverstärkers und auch die mögliche Reglerauflösung.

Die Reglerstruktur bestimmt die Möglichkeit, den gewünschten Sollwert Regeln zu können.

Der / die verfügbaren Filter erlauben eine Signalfilterung.

Vorsteuerparameter erlauben eine Kompensation bekannter und konstanter Grössen.

Die «Speed Limiter» Funktionalität ist für bestimmte Anwendungsfälle nützlich.

1.1.1 Regelgenauigkeit / Auflösung

Drive-intern beträgt die Auflösung der möglichen Sollwertvorgabe 0.1N.

Wichtig ist aber auch die erzielbare Auflösung vom Messsignal. Als Erfahrungswert kann man sagen, dass man auf das 10-fache der Messauflösung oder genauer regeln kann.

Beispiel 1:

Messverstärkersignal 0-10V -> 0-100N

A/D 12Bit = 0,00244140625 V / Bit

=> 0.0244140625 N als kleinste mögliche Auflösung

Daher sollte *0.2N Reglergenauigkeit erfahrungsgemäss* realisierbar sein.

Beispiel 2:

Messverstärkersignal -10...10V -> -50...50N

A/D 12Bit = 0,0048828125 V / Bit

=> 100N / 20V * 0,0048828125 V/Bit -> 0,0244140625 N/Bit als kleinste mögliche Auflösung

Daher sollte *0.2N Reglergenauigkeit erfahrungsgemäss* realisierbar sein.

1.1.2 Analoge Eingänge

Je nach Drive steht ein einzelner 0-10V oder auch zusätzlich ein -10...10V Eingang zur Verfügung.

Je nach verwendetem Messumformer kann dann der nötige Anschluss erfolgen.

Ein direkter Anschluss einer Messbrücke ist nicht möglich!

Es ist immer ein für die Messzelle passender Messumformer notwendig.

1.1.3 Reglerstruktur

Die Reglerstruktur bestimmt, wie komplex die Regelstrecke sein darf, um Störungen ausregeln zu können.

Jeder Regleranteil kann als ein einstellbarer Kompensationsfreiheitsgrad betrachtet werden.

Eine Reglerstruktur mit PID kann also einen weiteren Freiheitsgrad zur Kompensation anbieten im Vergleich zu einem PI Regler.

Erfahrungsgemäss genügt für die Kraftregelung allerdings ein reiner I-Regler.

1.1.4 Filter

Filter dienen der Signalglättung / Stabilisierung, falls Störungen das Signal sehr unruhig machen und damit den Regelkreis zusätzlich belasten. Aktive Filter begrenzen allerdings die Dynamik des Systems, daher muss der Einsatz von Filterzeitkonstanten auf die gewünschte Anwendung hin betrachtet werden.

Die Filter dienen im Wesentlichen dazu, die gemessene Grösse zu filtern/stabilisieren und nicht, um EMV-Effekte zu kompensieren.

1.1.5 Vorsteuerung

Vorsteuerparameter dienen dazu, bekannte und konstante Störgrößen direkt zu kompensieren. Dies entlastet den Regelkreis und kann je nach Anwendung das System stabiler regelbar machen, oder generell regelbar machen.

1.1.6 Speed Limiter

Der «Speed Limiter» ist eine Zusatzfunktion, die für folgende Fälle eingeführt wurde:

- Verschrauben
- Verschiessen
- Drehen auf Moment

Falls in den aufgeführten Prozessen aus irgendeinem Grund die mechanische Last / Gegenkraft / Gegenmoment wegfällt, würde der Kraftregler innerhalb kürzester Zeit die volle Antriebsleistung stellen. Um mögliche Schäden in solchen Situationen vermeiden zu können, kann die Bewegungsgeschwindigkeit während der Kraftregelung überwacht und/oder begrenzt werden. Dies kann auch als Fehlermeldung und / oder Schnellabschaltung genutzt werden.

1.2 Voraussetzung Sensor / Messverstärker

Bei dem verwendeten Drive muss der benötigte analoge Eingang frei verfügbar sein. Je nach Sensor steht ein 0-10V Eingang, oder differentieller -10...10V Eingang zur Verfügung.

Der Sensor muss über den nötigen Messverstärker an den Eingang angeschlossen werden. Da es sich um analoge Signale handelt, empfiehlt es sich, Augenmerk auf EMV und evtl. zusätzliche Schirmung der Messsignale zu achten.

2 Elektrischer Anschluss

Die folgenden Anschlussvarianten setzen voraus, dass der Drive generell gemäss Installation Guide betriebsfähig beschaltet ist.

Der Anschluss der Speisespannungen, Motorkabel, etc. werden hier nicht betrachtet, sind aber für eine korrekte Funktion zu erstellen!



Achtung: Achten Sie auf eine EMV-gerechte Installation! Sporadisch ausgelöste Störungen können zu Schäden im mechanischen System oder dem Kraftsensor führen!

2.1 Anschluss Messumformer / Sensor 0-10V

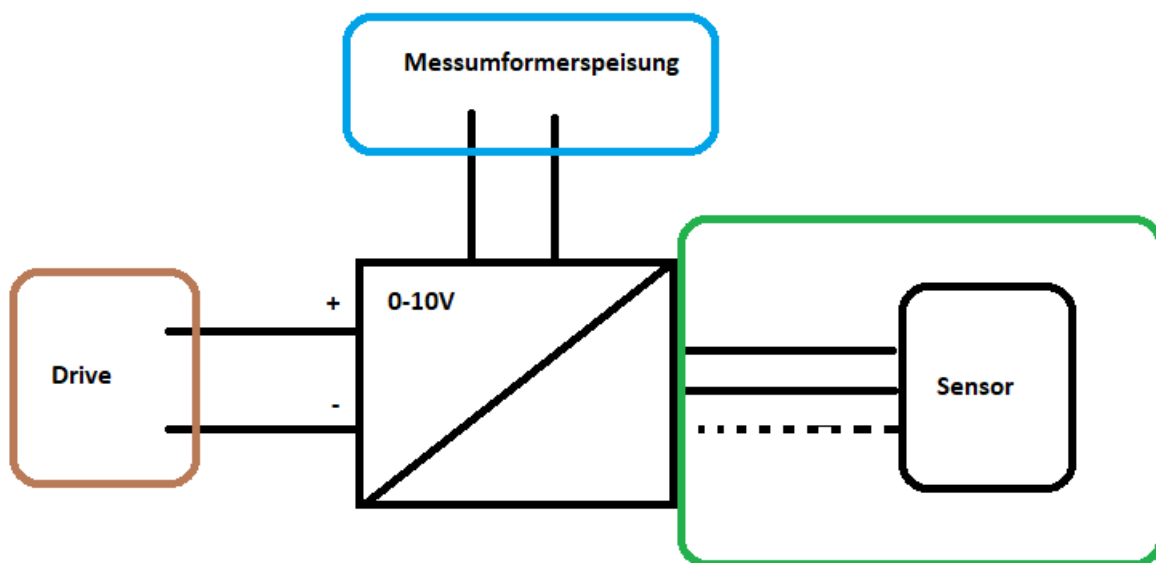


Abbildung 6: Prinzipdarstellung 0-10V Messeinrichtung

Die Prinzipdarstellung einer 0-10V Messeinrichtung zeigt den Messumformer, der am Drive an den analogen Eingang «0-10V» und die Drive-Masse «GND» gekoppelt wird (brauner Bereich).

Der Messumformer selbst benötigt eine separate Energieversorgung, die gemäss Herstellerangabe des Messumformers erfolgen muss (blauer Bereich).

Der Sensor, der die physikalische Grösse erfasst, muss ebenfalls gemäss Angaben von Sensor- und Messumformer-Hersteller angeschlossen werden (grüner Bereich).

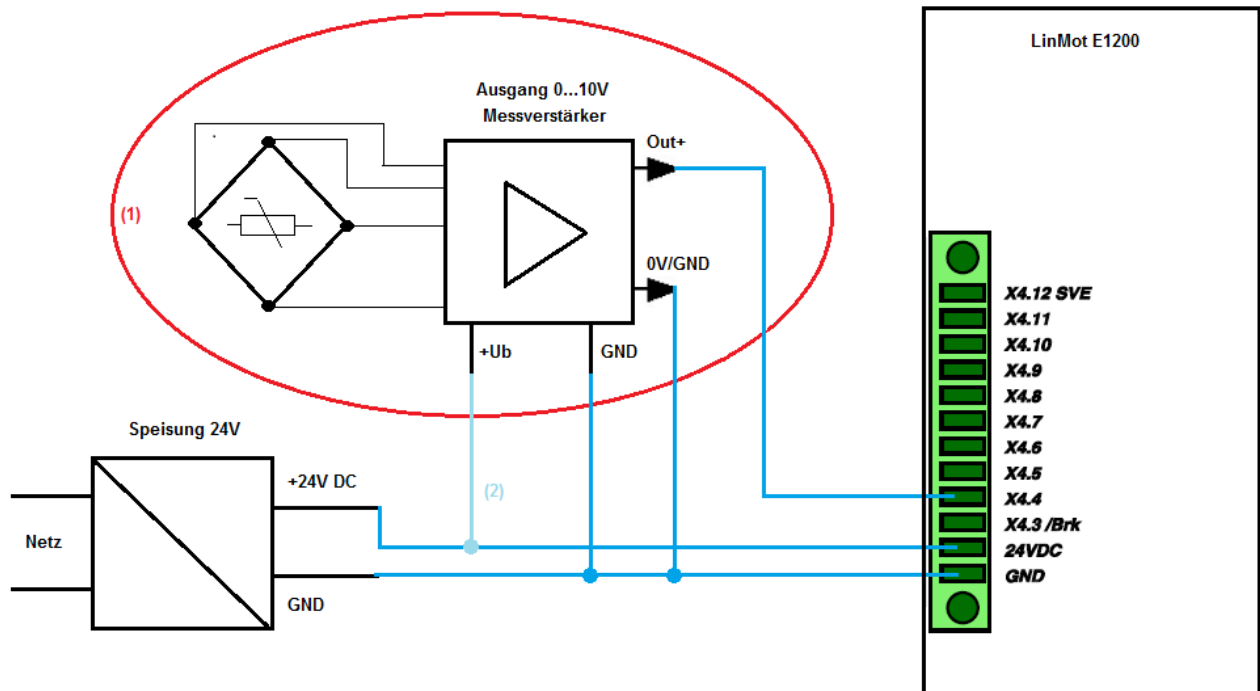


Abbildung 7: Beispielanschluss eines Messumformers an E12X0 Drive

Abbildung 7 zeigt schematisch den Anschluss eines Kraftsensors und dessen Messumformers (1. Rot markiert) an einen Drive (hier vom Typ E1200) und dessen Logikspeisung.

Da die meisten industriellen Messumformer als Speisung auf 24V DC ausgelegt sind, kann der Messumformer wie auch der Drive über die gleiche 24V Speisung versorgt werden



Achtung: Beachten Sie die zulässige Speisespannung des Messumformers gemäss dessen Installationsanleitung. Falls diese nicht mit der für LinMot Drives typischen 24V DC Speisung kompatibel ist, muss der Anschluss in geeigneter Form erfolgen.

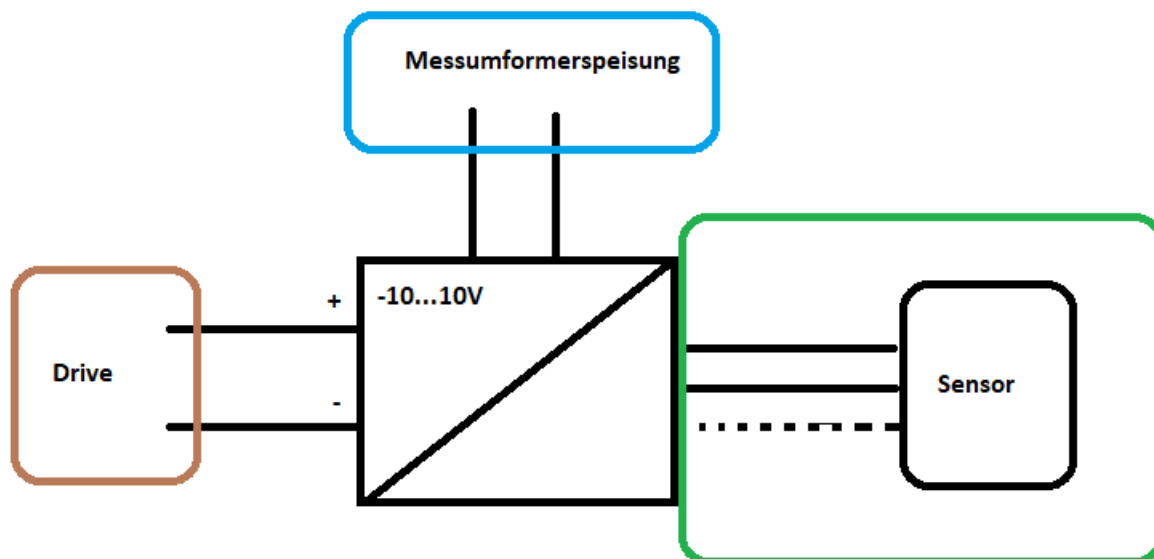


Abbildung 8: Prinzipdarstellung -10-10V Messeinrichtung

Die Prinzipdarstellung einer -10...10V Messeinrichtung zeigt den Messumformer, der am Drive an den analogen Eingang «-10...10V» und die Drive-Masse «GND» gekoppelt wird (brauner Bereich).

Der Messumformer selbst benötigt eine separate Energieversorgung, die gemäss Herstellerangabe des Messumformers erfolgen muss (blauer Bereich).

Der Sensor, der die physikalische Grösse erfasst, muss ebenfalls gemäss Angaben von Sensor- und Messumformer-Hersteller angeschlossen werden (grüner Bereich).

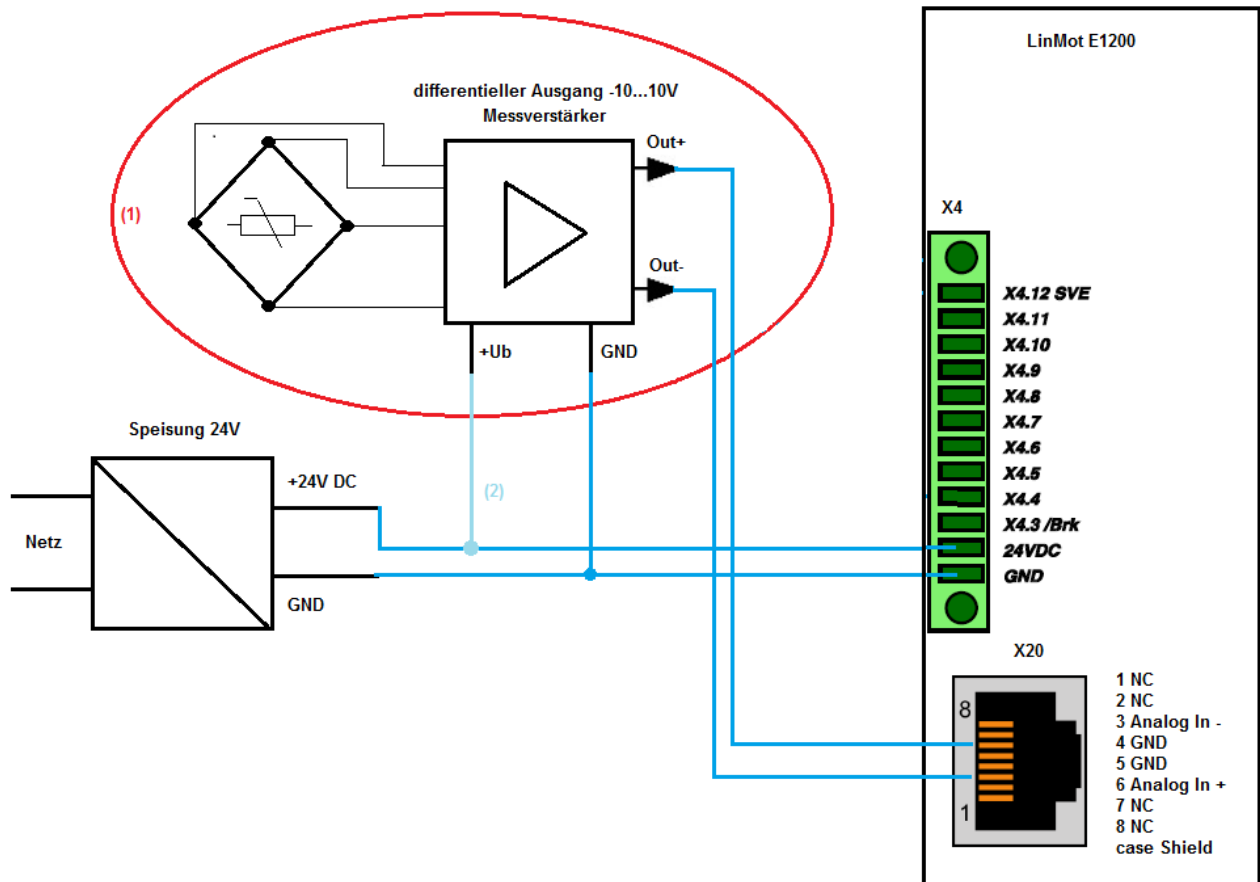


Abbildung 9: Beispielanschluss eines Messumformers an E12X0 Drive

Abbildung 9 zeigt schematisch den Anschluss eines Kraftsensors und dessen Messumformers (1. Rot markiert) an einen Drive (hier vom Typ E1200) und dessen Logikspeisung.

Da die meisten industriellen Messumformer als Speisung auf 24V DC ausgelegt sind, kann der Messumformer wie auch der Drive über die gleiche 24V Speisung versorgt werden



Achtung: Beachten Sie die zulässige Speisespannung des Messumformers gemäss dessen Installationsanleitung. Falls diese nicht mit der für LinMot Drives typischen 24V DC Speisung kompatibel ist, muss der Anschluss in geeigneter Form erfolgen.

3 Einstellen des Messumformers / Sensors

Je nach verwendetem Sensor / Messumformer muss dieser noch eingestellt werden. Konsultieren Sie hier die Anleitung des Herstellers des Sensors / Messumformers!

4 Parametrierung des analogen Eingangs

Um ein externes Messsignal nutzen zu können, ist nach erfolgtem elektrischem Anschluss der Eingangskanal zu konfigurieren.

Je nach verwendetem Drive sind bestimmte Parameter nicht verfügbar (siehe Tabelle 1).

4.1 Parametrieren des Eingangskanals

Zum Parametrieren des Eingangskanals wählen Sie im Parameterbaum die Rubrik:

The screenshot shows the software interface for configuring the input channel. On the left, a tree view displays the parameter structure. The 'Protected Technology Functions' folder is expanded, and the 'Analog Force Feedback Control' sub-folder is selected. Within this sub-folder, the 'Input Selection' parameter is highlighted with a red box. On the right, a dialog box is open, showing a list of input options with radio buttons. The 'None' option is selected. The dialog also displays the 'Value' and 'Raw Data' for each option.

Name	Value	Raw Data
<input checked="" type="radio"/> None	On	4
<input type="radio"/> Analog Input On X4.9	Off	1
<input type="radio"/> Diff Analog Input On X4.10/X4.11	Off	2

Abbildung 10: Eingangsparametrierung - Eingangskanal wählen

Wählen Sie hier den verwendeten Eingangskanal aus.

4.2 Parametrieren des Messbereichs

Zum Parametrieren des Messbereichs wählen Sie im Parameterbaum die Rubrik:

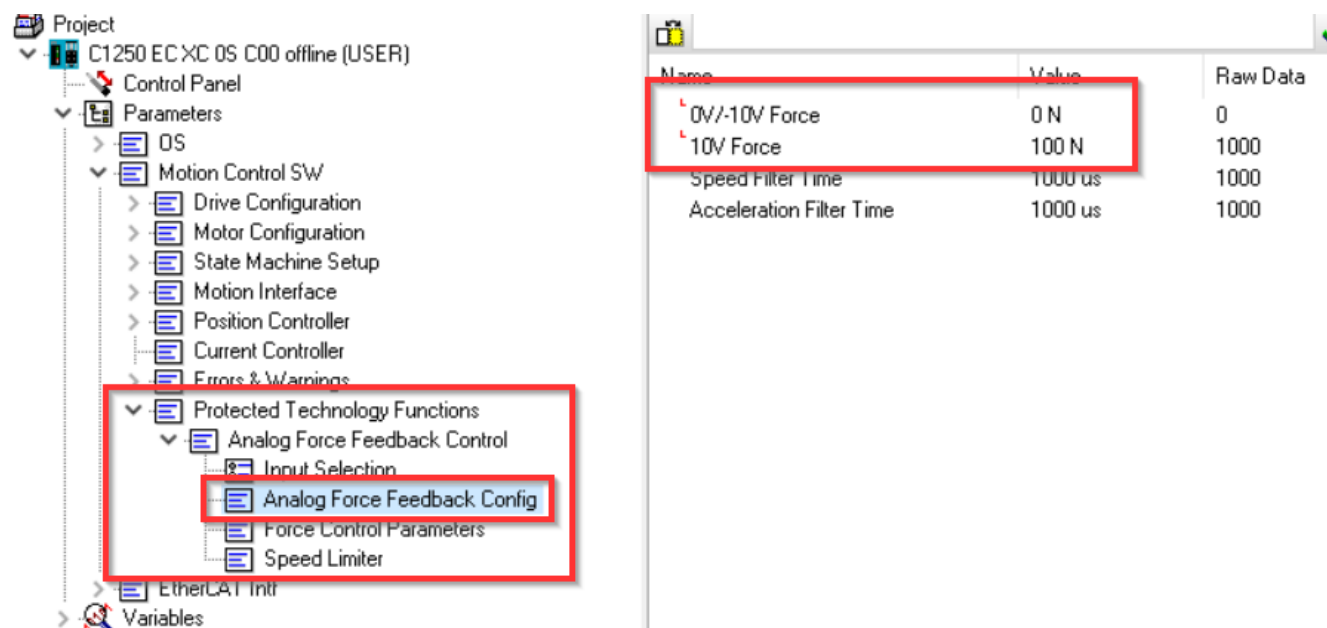


Abbildung 11: Eingangsparametrierung - Einstellen des Messbereichs

Geben Sie hier nun den Messbereich ein, der in Ihrem Messumformer für das analoge Signal zugewiesen wurde.

Für den Parameter «0V/-10V Force»:

- Bei 0-10V Messbereichsstart bei 0V
- Bei -10...10V Messbereichsstart bei -10V

4.3 Parametrieren der Filter

Zum Parametrieren der Filter wählen Sie im Parameterbaum die Rubrik:

Name	Value	Raw Data
0V/-10V Force	0 N	0
10V Force	100 N	1000
Speed Filter Time	1000 us	1000
Acceleration Filter Time	1000 us	1000

Abbildung 12: Eingangsparametrierung - Einstellen von Filterzeiten



Achtung: Die Filter sind nicht auf jedem Drive-Typ verfügbar! Beachten Sie Tabelle 1.

Hier können Sie bei Bedarf die Filterzeit «Speed Filter Time» anpassen. Diese Filterzeit wird verwendet, um die Kraftänderungsrate für den D-Anteil des Regelkreises zu bestimmen.

Die «Acceleration Filter Time» dient zum Bestimmen der Ist-Beschleunigung, die als Eingangsgröße des FF Acceleration Vorfilter dient.

Die verwendete Ist-Geschwindigkeit hat im Positionsreglersatz A bzw. B ihre «Speed Filter Time» (UPID 13A8/13BC) und kann dort angepasst werden.



Hinweis: Im Regelfall muss hier nichts verändert werden. Eine Erhöhung dämpft den Vorfiltereinfluss, eine Verringerung verstärkt den Vorfiltereinfluss auf den Regelkreis.

5 Einstellverfahren Kraftregelkreis

Die hier aufgeführten Vorsteuerparameter sind nicht auf jedem Drive verfügbar. Details entnehmen Sie Tabelle 1.

Im Regelfall ist es nicht notwendig, diese Vorsteuerparameter zu verwenden. Falls die Regelung nur schwer realisierbar ist, können die Vorsteuerwerte ermittelt werden.

Zunächst sollten Sie diese auf den Vorgabewerten belassen und mit dem Einstellen des Regelkreises beginnen.

5.1 Ermittlung des Vorsteuerparameters «FF Friction»

Dieser Vorsteuerparameter wird für die Kompensation von Trockenreibungskräften verwendet. Der Wert dieses Parameters wird zum Ausgang des PI/PID-Netzwerks addiert, wenn sich der Motor bewegt (Vorzeichen wechselt je nach Bewegungsrichtung).

Der entsprechende Wert für diesen Parameter kann berechnet werden, wenn der Motortyp und der Wert der Trockenreibungskraft bekannt sind. Damit wird der Einfluss der Trockenreibung aus dem PI/PID Regelkreis herauskompensiert.

Um eine korrekte Kompensation zu erhalten, wird der Wert dieses Parameters wie folgt berechnet: Trockenreibungskraft [N] geteilt durch die Kraftkonstante des Motors [N/A].

$$FF\ Friction = \frac{Trockenreibungskraft\ [N]}{Motorkraftkonstante\ [N/A]}$$

Die Motorkraftkonstante finden Sie im Motordatenblatt, oder im Parameterbaum unter:

The screenshot shows the software's parameter configuration interface. On the left, a tree view shows the hierarchy: Project > C1250 EC XC OS C00 offline (USER) > Parameters > OS > Motion Control SW > Motor Configuration > Motor Definitions. The 'Motor Definitions' folder is highlighted with a red box. On the right, a table titled '25.6 N/Apk' displays various motor parameters. The 'Force Constant' row is highlighted with a red box, showing a value of 25.6 N/Apk and raw data of 2560.

Name	Value	Raw Data	Val
Maximal Current	32 A	32000	XXXX
Maximal Motor Supply Voltage	92 V	9200	XXXX
Phase Resistance	10 Ohm	1000	XXXX
Motor Definition Temp	20 °C	200	XXXX
Phase Inductance	2.8 mH	28	XXXX
Force Constant	25.6 N/Apk	2560	XXXX
Torque Constant	0 Nm/Arms	0	XXXX
Temperature Coefficient Magnets	0 %/K	0	XXXX
Mechanical Offset Angle	0 °	0	XXXX
Zero Position (ZP)	130 mm	1300000	XXXX
Standard Stroke (SS)	100000 mm	1000000000	XXXX
Extended Stroke	100000 mm	1000000000	XXXX
Edge Force Constant	0 N/Apk	0	XXXX

Abbildung 13: FF Friction – Motorkraftkonstante



Achtung: Dieser Filter kann das System bei sehr kleinen Geschwindigkeitswechseln zum Schwingen anregen! Setzen Sie hier unbedingt den «FF Friction Deadband» Wert!

5.2 Ermittlung des Vorsteuerparameters «FF Acceleration»

Dieser Vorsteuerparameter wird für die Kompensation von Kräften verwendet, die durch die Beschleunigung von Motor und Lastmasse verursacht werden. Der Wert dieses Parameters, multipliziert mit dem Wert der Ist-Beschleunigung, wird zum Ausgang des PID-Netzwerks addiert.

Der entsprechende Wert für diesen Parameter kann berechnet werden, wenn der Motortyp und die Masse bekannt sind. Damit kann der Einfluss der beschleunigten Masse kompensiert werden und muss nicht durch den eigentlichen Regelkreis behandelt werden.

Um eine korrekte Kompensation zu erhalten, wird der Wert dieses Parameters wie folgt bestimmt: Gesamtmasse der Last [kg] geteilt durch die Kraftkonstante des Motors [N/A].

$$FF\ Acceleration = \frac{Bewegte\ Masse\ Last\ [Kg]}{Motorkraftkonstante\ [\frac{N}{A}]}$$

5.3 Parameter «FF Friction Deadband»

Der Parameter «FF Friction Deadband» ist ein Zusatz, um ein Totband für die Wirkung der Vorsteuerung «FF Friction» zu definieren.

Ist der Parameter «0», so wird jede Bewegung bei einem Vorzeichenwechsel einen Stromanteil am Motor stellen.

Das kann ggf. ungünstig wirken und den Regelkreis zum Schwingen anregen. Um dies zu vermeiden, kann hiermit ein Totband definiert werden, so dass sehr leichte Bewegungsschwankungen nicht zur Berechnung der Reibungsvorsteuerung verwendet werden.

Wählen Sie das Totband nicht zu klein. Wählen Sie den Wert mindestens etwas grösser, wie die Schwankungsbreite der Geschwindigkeit im Stillstand.

Dies können Sie mit dem Oszilloskop aufzeichnen und mit der Min/Max Funktion als «Peak to Peak» Wert ablesen.

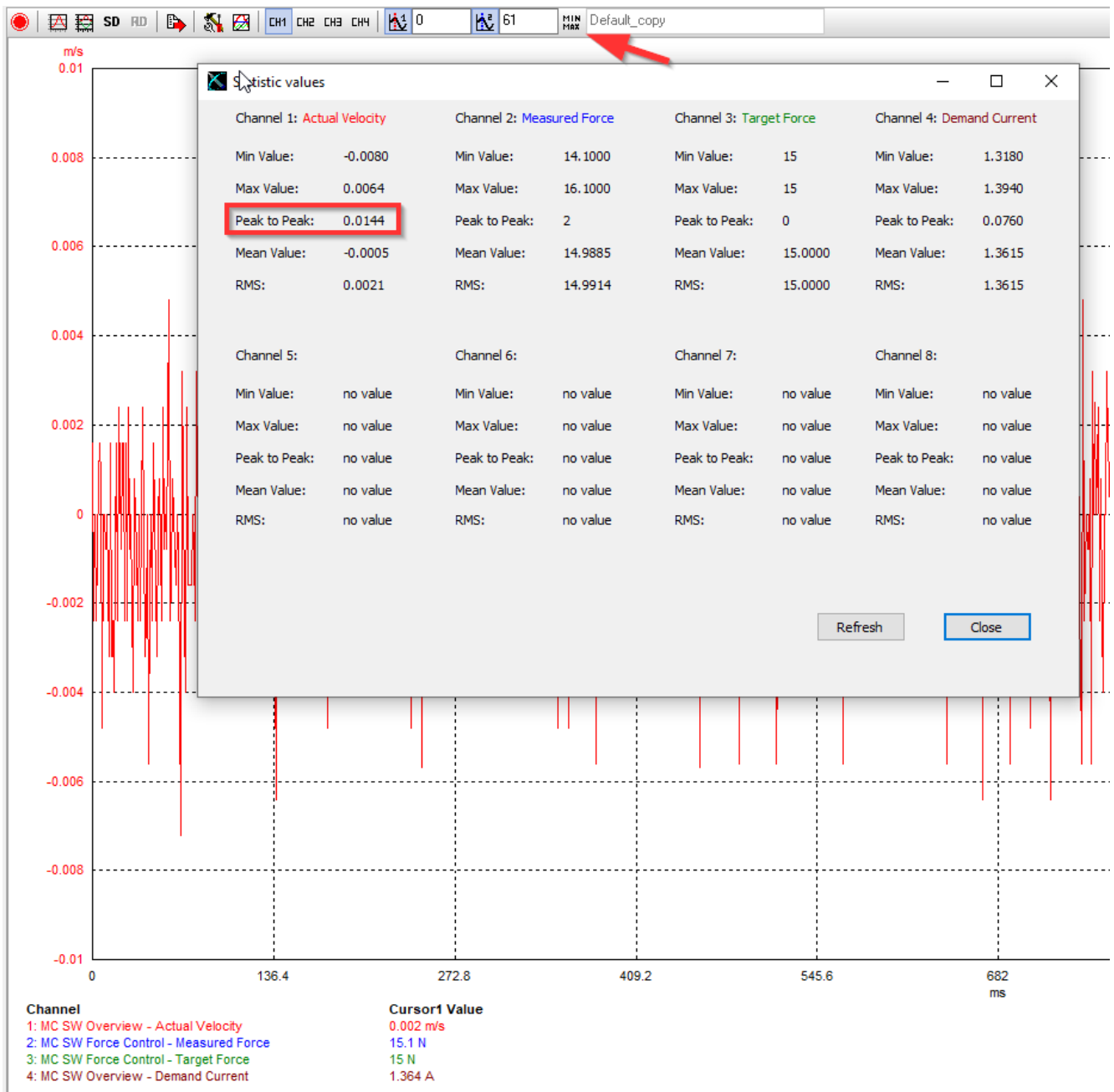


Abbildung 14: Bestimmen der Geschwindigkeitsfluktuation für das "FF Friction Deadband"

Hier ist eine Schwankung im Bereich von 0.0144m/s zu sehen. Daher sollte ein Totband von mindestens 0.02m/s definiert werden, um das Rauschen der Positionssensoren zu minimieren.

5.4 Strombegrenzung

Der Kraftregler hat ein eigenes Stromlimit, das standardmässig bei der Inbetriebnahme auf den zulässigen Maximalwert der Leistungsstufe gesetzt wird. Man kann durch Verringerung dieses Wertes die maximal mögliche Kraft begrenzen.

Das sollte zum Schutz speziell von Kraftmesszellen genutzt werden, um die Kraft auf die Messzelle zu limitieren oder Spitzen zu begrenzen.

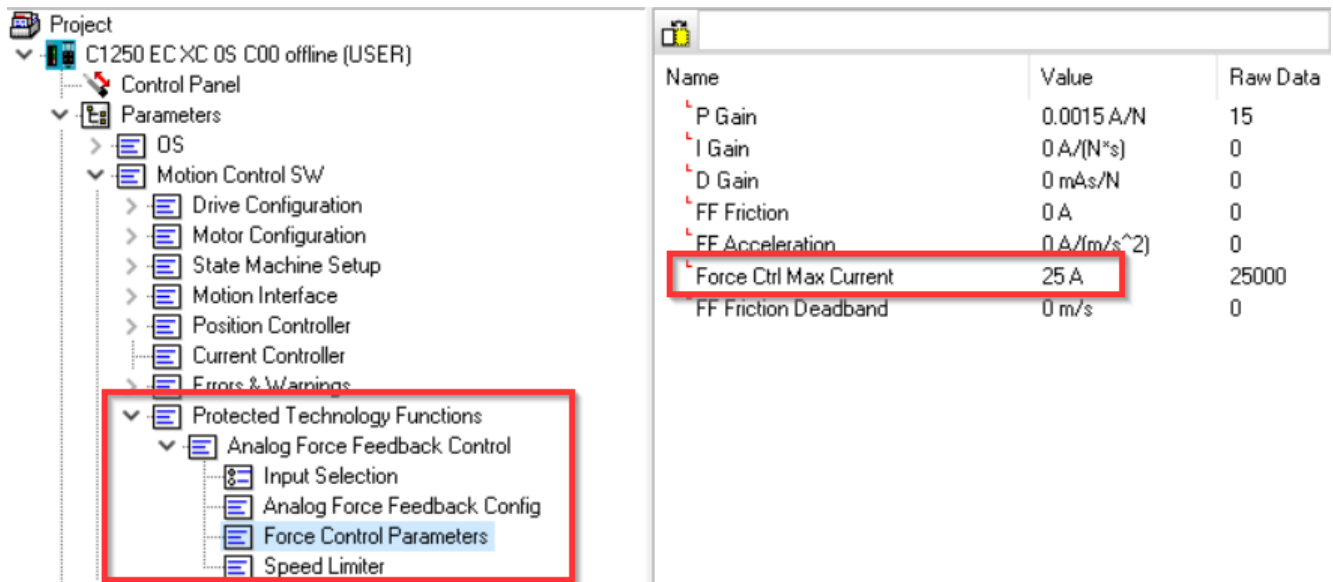


Abbildung 15: Stromlimit in der Kraftregelung

Um ein mögliches Stromlimit für den Kraftregler zu ermitteln, benötigen Sie die Motorkraftkonstante. Diese finden Sie hier:

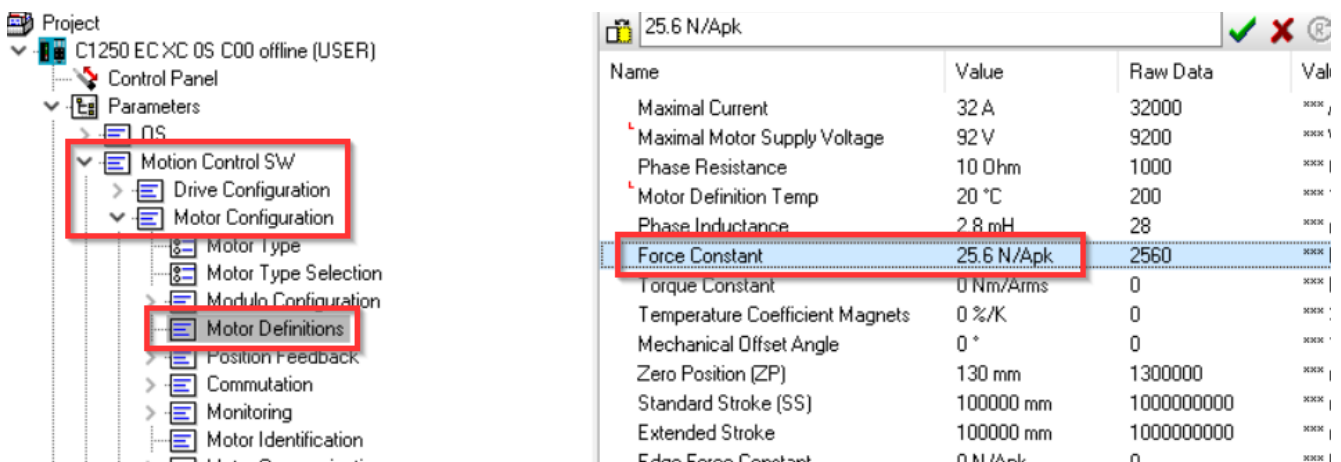


Abbildung 16: Empirische Reglereinstellung - Motorkraftkonstante

Dividieren Sie dann den Wert des Kraftsensor-Messbereichs durch die Kraftkonstante, um das Stromlimit zu erhalten.

Beispiel:

Messsystem misst Kraft von 0 – 150N

Kraftkonstante = 25.6N/A

$$\text{Force control Max Current} = \frac{150\text{N}}{25.6\text{N/A}} = 5.85\text{A}$$

Wenn Sie die Kraftbegrenzung ermittelt und eingetragen haben, schalten Sie nun den Drive aktiv.

Die Achse sollte referenziert sein und sich mechanisch gekoppelt auf einem Testobjekt befinden, um eine Kraft über die Kraftmessung ausüben und messen zu können.



Achtung: Achten Sie darauf, dass kein Luftspalt, sondern mechanisch Kontakt besteht, um Sprünge und damit Stöße auf die Sensorik zu vermeiden!



Achtung: Die berechnete Strombegrenzung kann durch Toleranzen und Temperaturdrift gegebenenfalls zu gering sein, um den Messbereich voll auszunutzen. Erhöhen Sie in diesem Fall die Stromgrenze so weit, dass das Messbereichsende erreicht wird!

Prüfen Sie, ob die Wirkungsrichtung der Messung korrekt zur Bewegungsrichtung des Motors erfolgt. Hierzu können Sie die gemessene Kraft im «Control Panel» anzeigen lassen.

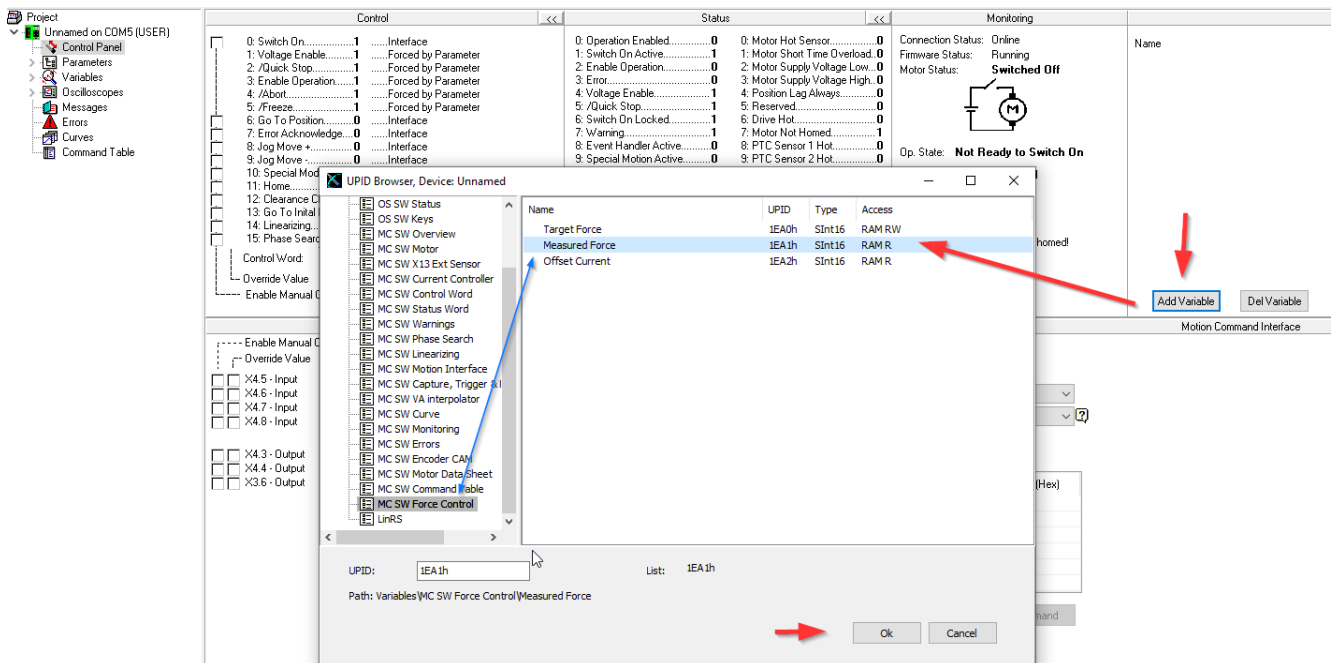


Abbildung 17: LinMot Talk "Control Panel" - Variable anzeigen

Mit dem «Motion Command Interface» führen Sie dann mit der +1/-1mm Taste kleine Bewegungen aus, sodass der Motor über die Messzelle eine Kraft ausübt.

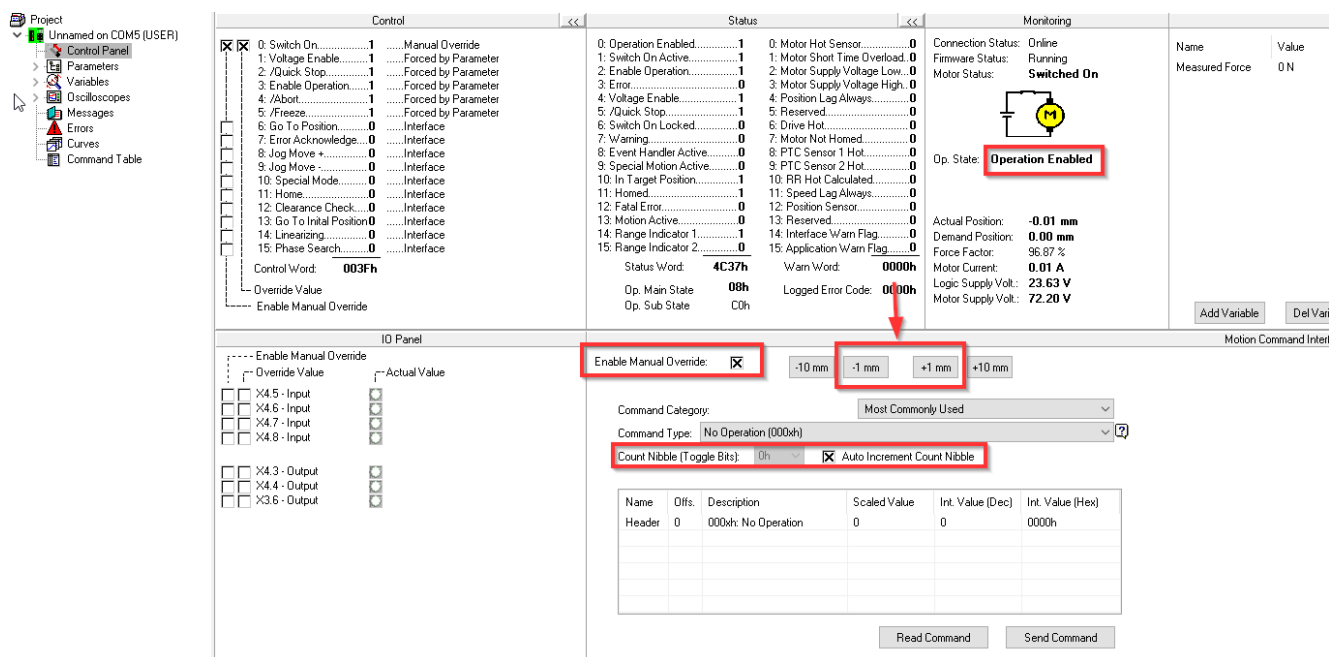


Abbildung 18: LinMot Talk "Control Panel" - Manuell Motor positionieren und Kraftanstieg beobachten

Wenn Sie in positive Richtung fahren, sollten Sie einen positiven Kraftanstieg feststellen.

5.5 Speed Filter

Im Normalfall muss an den «Speed Filtern» nichts justiert werden. Belassen Sie die Werte auf den Voreinstellungen.

5.6 Speed Limiter

Generell sollte der «Speed Limiter» definiert werden, um im Fall eines «Kraftabbriss» (Sensor verliert kraftschlüssigen Kontakt) ein durchgehen des Antriebs zu vermeiden.

Je nach Prozess lässt sich eine Geschwindigkeitsgrenze ermitteln. Bei Kraftregelungs-Befehlen wird zunächst positionsgeregelt verfahren, bis ein Kraftlimit erreicht wird. Auf dieses Limit wechselt der Lageregler auf den Kraftregler.

Man kann dann z.B. die Geschwindigkeit in diesem Umschaltzeitpunkt als Limit verwenden, oder auch kleinere Werte ansetzen, da die Geschwindigkeit generell abnimmt, wenn die Sollkraft erreicht wird.

5.7 Empirisches Einstellen des Kraftregelkreises für statische Regelung

Um den Kraftregler empirisch einstellen zu können, muss zunächst Mechanik und Messtechnik installiert und in Betrieb genommen sein. Speziell die Wirkungsrichtung des Kraftsensors bezogen auf die positive Bewegungsrichtung muss geprüft werden.

Bei rotativen Antrieben konfigurieren Sie das Einheitensystem im Motorwizard auf «Rotary», sodass Sie Nm anstatt N in den Parametern der Kraftregelung finden.

Wenn der Antrieb konfiguriert und parametrier ist, kann mit dem Einstellen des Kraftreglers begonnen werden. Dazu muss zunächst die Mechanik in einen Zustand gebracht werden, dass bei aktivem Antrieb eine Kraftregelung möglich ist. Der Sensor sollte also mechanisch Kontakt zur Last haben und einen Messwert liefern.

Standardmässig arbeitet der LinMot Drive im positionsgeregelten Betrieb und wechselt nur durch spezielle Kraftregelungsbefehle in den Kraftregelungsmodus.

Initial voreingestellt ist ein D-Anteil von 0, ein I-Anteil von 0 und ein P-Anteil von 0,0015.

Je nach verwendetem Motor sollte die Spitzenkraft mit dem «Force Control Max Current» mindestens so weit begrenzt werden, dass die obere Messbereichsgrenze des verwendeten Sensors nicht überschritten wird.

Setzen Sie die Vorsteuerwerte noch nicht, sondern versuchen erst, ob die gewünschte Regelung direkt realisierbar ist.



Achtung: Kraftsensoren können durch mechanische Überlastung irreparabel beschädigt werden! Beachten Sie die zulässigen maximalen Kraftwerte.

Setzen Sie generell zu Beginn für P den Wert 0 und für D den Wert 0 ein. Für die FF-Parameter jeweils 0.

Bei linearen Antrieben (lineares Einheitensystem) können Sie dann als Schrittweite für den I-Anteil 0.5 A/(N*s) verwenden, bei rotativen Antrieben (rotatives Einheitensystem) können Sie als Schrittweite 50 bis 100 A/(Nm*s) verwenden.

Verwenden Sie das Oszilloskop, um das Einregelverhalten beobachten zu können.

Stellen Sie dort folgendes ein:

The screenshot shows the 'Oscilloscope Settings' dialog box with the following configuration:

- Acquisition Mode: Single Shot
- Recording Time: 1364 ms
- Channel 1: Channel 1, Group: MC SW Overview, Variable: Actual Position
- Channel 2: Channel 2, Group: MC SW Force Control, Variable: Measured Force
- Channel 3: Channel 3, Group: MC SW Force Control, Variable: Target Force
- Channel 4: Channel 4, Group: MC SW Overview, Variable: Demand Current
- Channel 5: Channel 5, Group: MC SW Overview, Variable: Demand Velocity
- Channel 6: Channel 6, Group: MC SW Overview, Variable: Actual Velocity Filtered
- Channel 7: Channel 7, Group: MC SW Overview, Variable: Demand Acceleration
- Channel 8: Channel 8, Group: MC SW Overview, Variable: Difference Velocity

Abbildung 19: Oszilloskop Aufzeichnungskanäle für Kraftregler

Um eine Aufzeichnung zu starten, wenn der Kraftsollwert wechselt:

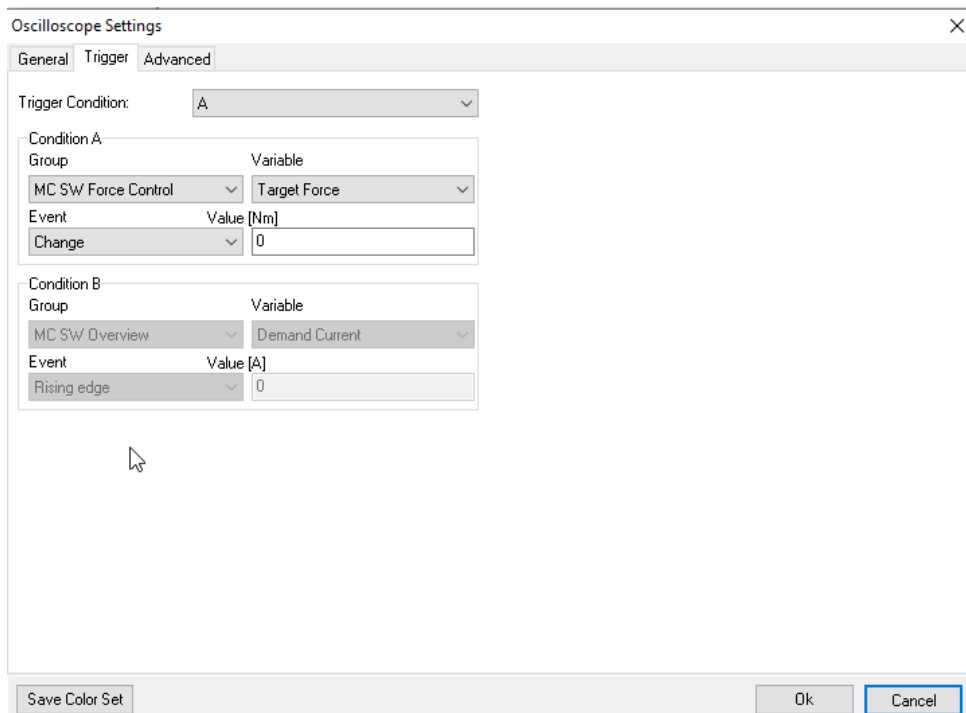


Abbildung 20: Oszilloskop Triggereinstellungen für Kraftregler

Um den Startsprung gut zu sehen, setzen Sie noch einen Pre-Trigger:

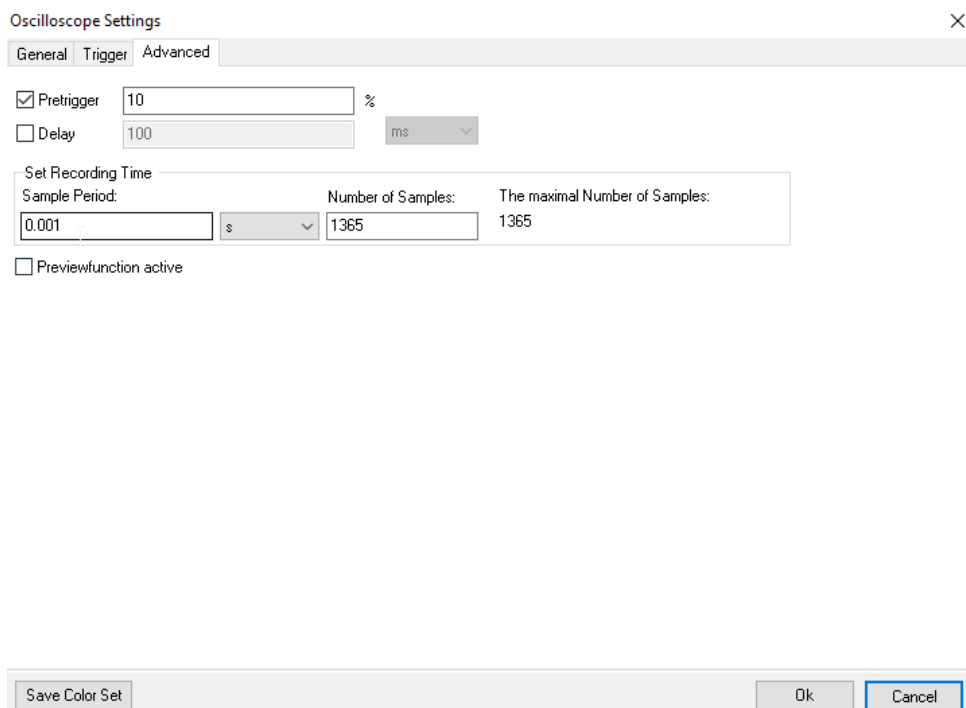


Abbildung 21: Oszilloskop Pre-Trigger für Kraftregler

Es empfiehlt sich zu Beginn zwei Kraftwerte für die ersten Einstellschritte zu definieren. Man kann zunächst als unterer Kraftwert 1/10 des Messbereichs wählen und als oberen Kraftwert z.B. 1/2 oder 2/3 des Messbereichs.

Beispiel:

Messbereich 0-100N
 Unterer Kraftwert: 100N / 10 = 10N
 Oberer Kraftwert: 100N * 2/3 = 66N

Sie können dann den Drive einschalten, referenzieren und wenn nötig, die Mechanik in den Arbeitsbereich bringen, wo ein Kraftschluss besteht, sprich der Sensor einen Messwert liefert.

Aktivieren Sie dann das Oszilloskop, welches auf das Trigger-Ereignis wartet, um eine Aufzeichnung zu erstellen.

Um den Regler einstellen zu können, müssen Sie im Wechsel verschiedene Sollkräfte vorgeben, um Änderungseffekte der Reglereinstellungen beobachten zu können.

Im «Control Panel» von LinMot Talk können Sie den Fahrbefehl «382xh: Force Ctrl Change Target Force» wählen und geben dort dann die Sollkraft für die Einstellschritte vor.

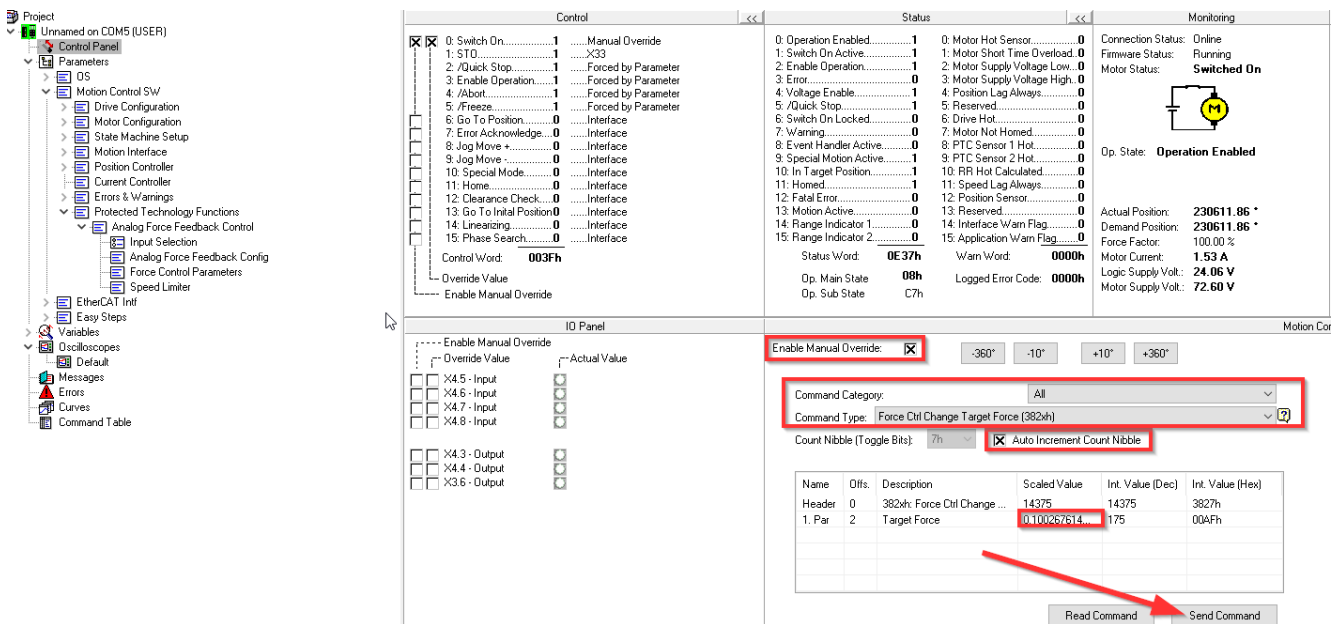


Abbildung 22: Einstellung Kraftregler - "Control Panel"

Die Einstellung könnte folgendermassen ablaufen:

1. Aktivieren des Oszilloskops («Waiting for Trigger»)
2. Vorgabe unterer Kraftwert
3. Oszilloskop begutachten, inwiefern und in welcher Geschwindigkeit der Sollwert erreicht wird
4. I-Anteil gegebenenfalls um einen Schritt (0.5 linear oder 50/100 rotativ) vergrößern
5. Oszilloskop erneut aktivieren («Waiting for Trigger»)
6. Vorgabe oberer Kraftwert
7. Oszilloskop begutachten, inwiefern und in welcher Geschwindigkeit der Sollwert erreicht wird
8. I-Anteil gegebenenfalls um einen Schritt (0.5 linear oder 50/100 rotativ) vergrößern
9. Falls Resultat noch nicht zufriedenstellend ist, wiederholen Sie den Ablauf ab Schritt 1

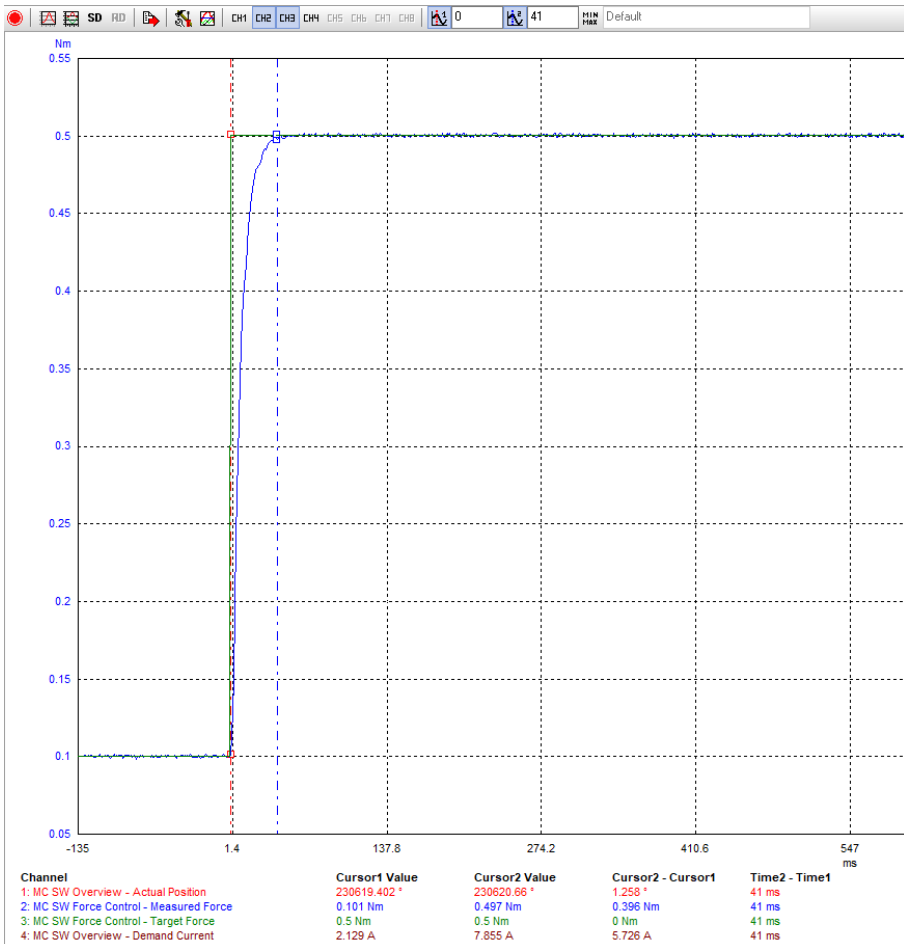


Abbildung 23: Kraftregelung - Mögliches Einstellresultat

Das Resultat der Einstellung kann wie in 23 gezeigt aussehen. Ziel ist letztlich das Erreichen des Sollwertes unter Einhaltung einer möglichen Ausregelzeit. Hier ist ein Sollwert von 0.5Nm innerhalb von 41ms erreicht worden.

Bei rotativen Antrieben ist ein Wert über 1000 für den I-Anteil normal. Bei linearen Antrieben ist dieser eher unter 100. Falls das erreichbare Resultat mit reinem I-Anteil nicht ausreichend ist, können Sie anstatt dem I-Anteil nun in kleinen Schritten den D-Anteil erhöhen. Hier ist es wichtig, wirklich nur kleine Schritte in der Größenordnung des vorgegebenen Skalierungsfaktors zu machen, da das System sonst zu schwingen beginnen kann, was wiederum zu Defekten im Sensorelement führen kann!

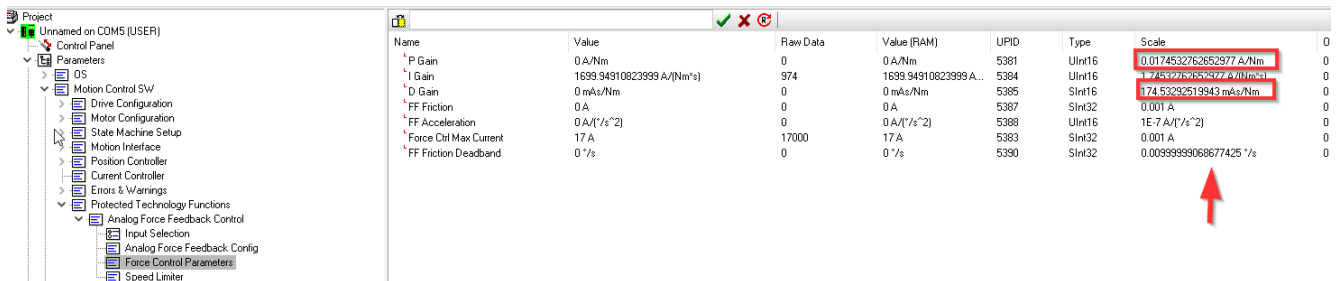


Abbildung 24: Auffinden von Parameterskalierungen

Falls das schrittweise hinzufügen des D-Anteils noch nicht zufriedenstellend ist, können Sie dann mit der gleichen Vorgehensweise den P-Anteil in Schritten des Scale-Wertes erhöhen.



Achtung: Kraftsensoren können durch mechanische Überlastung irreparabel beschädigt werden! Beachten Sie die zulässigen maximalen Kraftwerte und vermeiden Sie ein Aufschwingen des Regelkreises.

6 Nutzung der Technologiefunktion «Kraftregelung» auf I/O Geräten

Generell wird die Technologiefunktion «Kraftregelung» mittels Fahrbefehlen bedient. Diese sind auf allen Drives verfügbar. Die Befehle können per Command Table / Digitale Trigger oder auch per Feldbus von einer SPS aus verwendet werden.

Details zu den verfügbaren Befehlen finden Sie im Handbuch [Technologiefunktion "Kraftregelung"](#) und im Handbuch [Motion Control Software Manual](#)

7 Nutzung der Technologiefunktion «Kraftregelung» auf Geräten mit Drive-Profilen

Drives die steuerungsseitig per Drive-Profil eingebunden werden, arbeiten nicht mehr als reines I/O Gerät, sondern als Servoachse und werden mittels der steuerungsseitigen Motion-Befehlen gesteuert. Daher können die Fahrbefehle der Technologiefunktion «Kraftregelung» nicht mehr verwendet werden.

Bestimmte Profile auf entsprechenden Feldbussen bieten allerdings auch Kraft- oder Moment-Betriebsarten.

Die folgende Tabelle zeigt die Geräte mit Drive-Profilen und Feldbussen, welche die Technologiefunktion «Kraftregelung» ebenfalls nutzen können.

Drive-Typ	Profil	Feldbus	Typische Steuerung
C1150-DS	DS402	EtherCAT	Omron NJ / TRIO
C1250-DS	DS402	EtherCAT	Omron NJ / TRIO
C1450-DS	DS402	EtherCAT	Omron NJ / TRIO
E1250-DS	DS402	EtherCAT	Omron NJ / TRIO
E1450-DS	DS402	EtherCAT	Omron NJ / TRIO
C1250-PD	ProfiDrive	ProfiNet	Siemens
C1450-PD	ProfiDrive	ProfiNet	Siemens
E1250-PD	ProfiDrive	ProfiNet	Siemens
E1450-PD	ProfiDrive	ProfiNet	Siemens

Tabelle 3: Kraftregelung mittels Drive-Profilen

7.1 Nutzung Kraftregelung auf Profil DS402

Bei Verwendung des Drive-Profiles DS402 empfiehlt sich die Verwendung der PDO «*Cyclic Position Velocity Torque Mode 0x1604*», wenn positionsgeregelt, oder kraftgeregelt gearbeitet werden muss, oder «*Cyclic Torque Mode 0x1606*» wobei der Drive ausschliesslich im Kraftmodus arbeitet.

Hier ist zusätzlich zu beachten, dass diese beiden PDO's über den «Mode of Operation» gesteuert werden. Damit kann zwischen «Open Loop» und «Closed Loop» Force Control unterschieden werden. «Open Loop» ist lediglich ein ungeregeltes Stellen des Motorstroms, «Closed Loop» verwendet die Technologiefunktion «Kraftregelung» und regelt die gemessene Kraft.

Details zu den Modi und der Einbindung der PDO finden Sie im Interface Handbuch [EtherCAT CiA402](#) und im gerätespezifischen Kapitel in der Application Note [SPS Inbetriebnahme](#), oder kontaktieren Sie den technischen Support.

7.2 Nutzung Kraftregelung auf Profil ProfiDrive

Das Profil ProfiDrive unterstützt die Funktion Kraftregelung nicht direkt. Um die Funktion dennoch nutzen zu können, konsultieren Sie bitte in der Application Note [SPS Inbetriebnahme](#) das Kapitel «Drive Profile Siemens TIA».

8 Dokumentversion

Version	Datum	Autor	Beschreibung
1V0	25.02.2021	mr	Initialversion

© 2021 NTI AG

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Handbuchs oder Teilen daraus, sind vorbehalten. Kein Teil des Werks darf ohne schriftliche Genehmigung von NTI AG in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

LinMot® ist ein registriertes Markenzeichen von NTI AG.

Alle anderen in diesem Dokument genannten Produkt- und Firmenbezeichnungen sowie Marken sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber und werden nur zum Zweck der Warenbezeichnung erwähnt.

Hinweis

Die Angaben in dieser Dokumentation entsprechen dem Stand der Entwicklung zur Zeit der Drucklegung und sind daher unverbindlich. NTI AG behält sich vor, Änderungen, die dem technischen Fortschritt bzw. der Produktverbesserung dienen, jederzeit und ohne Angaben von Gründen vorzunehmen. Im Übrigen verweisen wir auf unsere "Allgemeinen Geschäftsbedingungen" in der jeweils gültigen Ausgabe.

Hauptsitz Europa / Asien

NTI AG - LinMot & MagSpring

Bodenaeckerstrasse 2
CH-8957 Spreitenbach
Schweiz

Verkauf / Administration: +41 56 419 91 91
office@linmot.com

Tech. Support: +41 56 544 71 00
support@linmot.com

Web: <https://www.linmot.com>

Hauptsitz Nord- / Südamerika

LinMot USA Inc.

N1922 State Road 120, Unit 1
Lake Geneva, WI 53147
USA

Verkauf / Administration: 262.743.2555
usasales@linmot.com

Tech. Support: 262.743.2555
usasupport@linmot.com

Web: <https://www.linmot-usa.com>