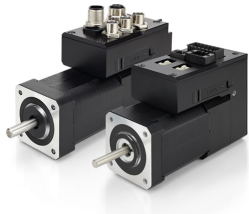


PD2-E EtherCAT





Kurzanleitung

Original: de

Nanotec Electronic GmbH & Co. KG

Kapellenstraße 6

85622 Feldkirchen, Deutschland

Version 1.1.0

Firmware: v2602

Tel. +49 89 900 686-0

Fax +49 89 900 686-50

info@nanotec.de

Einleitung

Der *PD2-E* ist ein bürstenloser Motor mit integrierter Steuerung in zwei Versionen in Schutzart IP30 bzw. IP65. Durch den integrierten Absolut-Encoder (Single-Turn- und Multi-Turn-Varianten erhältlich) ist der sofortige Betrieb im *Closed Loop*-Modus ohne Referenzfahrt möglich.

Diese Anleitung beschreibt die Montage und Inbetriebnahme des Motors. Die ausführliche Dokumentation zum Produkt und die Datenblätter der Motoren finden Sie auf **www.nanotec.com**. Diese Kurzanleitung ersetzt nicht das *technische Handbuch* des Motors.

Urheberrecht

© 2013 – 2026 Nanotec Electronic GmbH & Co. KG. Alle Rechte vorbehalten.



Bestimmungsgemäße Verwendung

Der Motor mit integrierter Steuerung *PD2-E* findet Verwendung als Komponente von Antriebssystemen in vielfältigen Industrieanwendungen.

Verwenden Sie das Produkt bestimmungsgemäß innerhalb der durch die technischen Daten definierten Grenzen (siehe insbesondere **Zulässige Betriebsspannung**) und unter den freigegebenen **Umgebungsbedingungen**. Dieses Nanotec-Produkt darf unter keinen Umständen als Sicherheitsbauteil in ein Produkt oder eine Anlage integriert werden.

Alle Produkte, in denen eine von Nanotec hergestellte Komponente enthalten ist, müssen bei Übergabe an Endnutzer entsprechende Warnhinweise samt Anleitung für sichere Verwendung und sicheren Betrieb enthalten. Alle von Nanotec bereitgestellten Warnhinweise müssen unmittelbar an den Endnutzer weitergegeben werden.

Gewährleistung und Haftungsausschluss

Nanotec haftet nicht für Schäden und Fehlfunktion durch Montagefehler, Nichtbeachten dieses Dokuments oder sachwidrige Reparatur. Verantwortlich für Auswahl, Betrieb, Nutzung unserer Produkte sind Anlagenkonstrukteur, Betreiber und Nutzer. Nanotec verantwortet keine Produktintegration im Endsystem. Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen auf www.nanotec.de. **Anm.:** Produktumbau / -änderung, sowie das Öffnen sind untersagt.

Zielgruppe und Qualifikation

- Das Produkt und diese Dokumentation richten sich an technisch geschulte Fachkräfte wie Entwicklungsingenieure, Anlagenkonstrukteure, Monteure/ Servicekräfte und Applikationsingenieure.
- Nur Fachkräfte dürfen das Produkt installieren, programmieren und in Betrieb nehmen. Fachkräfte sind Personen, die
- eine entsprechende Ausbildung und Erfahrung im Umgang mit Motoren und deren Steuerung haben,
 - den Inhalt dieses technischen Handbuchs kennen und verstehen,
 - die geltenden Vorschriften kennen.

EU-Richtninen zur Produktsicherheit

- Folgende EU-Richtlinien wurden beachtet:
- RoHS-Richtlinie (2011/65/EU, 2015/863/EU)
 - EMV-Richtlinie (2014/30/EU)

Mitgeltende Vorschriften

- Neben diesem technischen Handbuch sind folgende Vorschriften zu beachten:
- Unfallverhütungsvorschriften
 - örtliche Vorschriften zur Arbeitssicherheit

Sicherheits- und Warnhinweise



VORSICHT!

Verbrennungsgefahr durch heiße Oberflächen!

Der Motor kann sich im Betrieb stark erhitzen. Dies führt bei Berührung möglicherweise zu Verbrennungen.

►Achten Sie beim Einsatz darauf, dass die Umgebungsbedingungen gewährleistet sind und der Betrieb innerhalb der durch die technischen Daten definierten Grenzen erfolgt.

►Bauen Sie den Motor so ein, dass eine Temperaturableitung und passive Kühlung möglich sind.

►Warten Sie nach dem Abschalten ab, bis alle Komponenten abgekühlt sind, bevor Sie sie berühren.



HINWEIS

Beschädigung der Steuerung!

Ein Wechsel der Verdrahtung im Betrieb kann die Steuerung beschädigen.

► Ändern Sie die Verdrahtung nur im spannungsfreien Zustand und warten Sie nach dem Abschalten, bis sich die Kondensatoren entladen haben.



HINWEIS

Beschädigung der Steuerung durch Erregerspannung des Motors!

Während des Betriebs können Spannungsspitzen die Steuerung beschädigen.

► Verbauen Sie geeignete Schaltungen (z. B. Stützkondensator), die Spannungsspitzen abbauen.



HINWEIS

Beschädigung der Elektronik durch unsachgemäßen Umgang mit ESD-empfindlichen Bauteilen!

Das Gerät enthält Bauteile, die empfindlich gegen elektrostatische Entladung sind. Unsachgemäßer Umgang kann das Gerät beschädigen.

► Beachten Sie die Grundprinzipien des ESD-Schutzes beim Umgang mit dem Gerät.



HINWEIS

Beschädigung der Elektronik durch verpolten Anschluss der Versorgungsspannung!

Bei Verpolung entsteht ein Kurzschluss zwischen Versorgungsspannung und GND (Masse) über die Leistungsdiode.

► Installieren Sie eine Leitungsschutzeinrichtung (Sicherung) in der Zuleitung.

Technische Daten und Anschlussbelegung

Umgebungsbedingungen	
Umgebungsbedingung	Wert
Schutzklasse	<i>PD2-E...-30-</i>...: IP30 <i>PD2-E...-65-</i>...: IP65 (IP54 am Wellenausgang)
Verschmutzungsgrad	2
Umgebungstemperatur (Betrieb)	-10 ... +40°C
Umgebungstemperatur (Lagerung und Transport)	-20 ... +85°C
Rel.Luftfeuchtigkeit (Betrieb), nicht kondensierend	0 ... 85%
Rel. Luftfeuchtigkeit (Lagerung und Transport), nicht kondensierend	0 ... 85%
Abs.. Luftfeuchtigkeit (Lagerung und Transport), nicht kondensierend	30 g/m ³
Max. Aufstellhöhe über <i>NN</i> (ohne Leistungsbeschränkung im Betrieb)	1500 m (Leistungs einschränkung ab 1000 m: -1%/100 m)
Max. Aufstellhöhe über <i>NN</i> (Lagerung und Transport)	3000 m

Elektrische Eigenschaften und technische Daten

Elektrische Daten	
Betriebsspannung Motor (Nennwert)	48 V DC Außer Varianten PD2-EB... B -...: 24 V DC
Zulässiger Bereich der Betriebsspannung	11,4...57,6 V DC
Logikspannung (Nennwert)	24 V DC
Spannungsbereich der Logikversorgung	11,4...30 V DC
Nennstrom	- PD2-EB42MB-... : 3,1 A eff. - PD2-EB42MD-... : 1,5 A eff. - PD2-EB42LB-... : 4,8 A eff. - PD2-EB42LD -... : 2,4 A eff. - PD2-EB42CD -... : 3,66 A eff. - PD2-E421... (Schrittmotoren) : 1,8 A eff.
Spitzenstrom (für max. 1 s)	- PD2-EB42MB-... : 9,3 A eff. - PD2-EB42MD-... : 4,6 A eff. - PD2-EB42LB-... : 14,4 A eff. - PD2-EB42LD -... : 7,2 A eff. - PD2-EB42CD -... : 11 A eff. - PD2-E421... (Schrittmotoren) : 3 A eff.
Technische Daten	
Betriebsmodi	<i>Profile Position Mode, Profile Velocity Mode, Profile Torque Mode, Velocity Mode, Homing Mode, Interpolated Position Mode, Cyclic Sync Position Mode, Cyclic Sync Velocity Mode, Cyclic Synchronous Torque Mode, Takt-Richtungs-Modus EtherCAT, Analogeingang, NanoJ-Programm</i>
Sollwertvorgabe/ Programmierung	
Eingänge	4 Digitaleingänge (+5 V/+24 V (V+Logic) DC), per Software umschaltbar, Werkseinstellung: 5 V 2 Analogeingänge 0...24 V
Ausgänge	2 digitale Ausgänge, <i>Push-Pull</i> , (+5 V/+24 V (V +Logic) DC) max. 100 mA 1 PWM-Bremsenausgang für externe Haltebremse
Integrierter Encoder	- PD2-...-E-x(x): magnetischer Singleturn-Absolut-Encoder, 16 Bits - PD2-...-M-x(x): magnetischer Multiturn-Absolut-Encoder, 16 Bits Multi-turn-, 17 Bits Single-turn-Auflösung
Schutzschaltung	Über- und Unterspannungsschutz, Übertemperaturschutz (> 80°C auf der Leistungsplatine

Übertemperaturschutz

Ab einer Temperatur von ca. 80°C auf der Leistungsplatine wird das Leistungsteil der Steuerung abgeschaltet und das Fehlerbit gesetzt. Nach Abkühlung und dem Bestätigen des Fehlers funktioniert die Steuerung wieder normal.

LED-Signalisierung

Betriebs-LED

Die Betriebs-LED zeigt den aktuellen Status an.

Normaler Betrieb

Im normalen Betrieb blinkt die grüne Betriebs-LED einmal in der Sekunde sehr kurz auf.

Fehlerfall

Liegt ein Fehler vor, schaltet die LED auf Rot um und signalisiert eine Fehlernummer.

Folgende Tabelle zeigt die Bedeutung der Fehlernummern.

Blinktakt	Fehler
1	Allgemein
2	Spannung
3	Temperatur
4	Überstrom
5	Regler

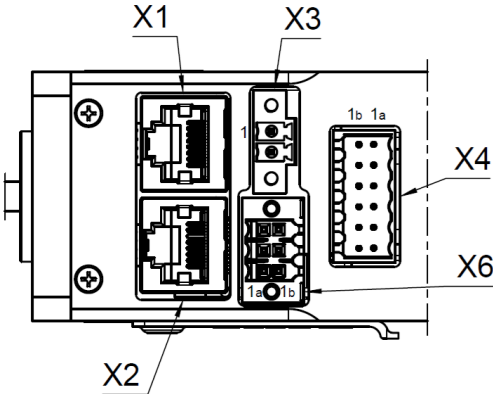
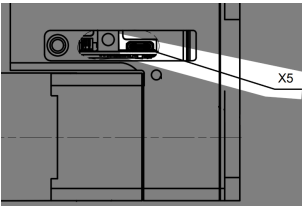
Blinktakt	Fehler
6	Watchdog-Reset



HINWEIS

Für jeden aufgetretenen Fehler wird im Objekt **1003_n** ein genauerer Fehlercode hinterlegt.

Anschlüsse



Anschluss	Funktion	Pin-Belegung / Beschreibung
X1	EtherCAT IN	
X2	EtherCAT OUT	
X3	Anschluss für die Spannungs-Versorgung	1. V+ 2. GND
X4	Ein-/Ausgänge und externe Logikversorgung Schaltsschwellen für digitale Eingänge: 5 V (Werkseinstellung) Ein: >4,09 V; Aus: <0,95 V 24 V: Ein: >14,74 V; Aus: <3,78 V	a1: GND a2: V+ Logic a3: Digitaler Eingang 1: 5 V / 24 V, umschaltbar mit Objekt 323A_n , max. 1 MHz a4: Digitaler Eingang 2: 5 V / 24 V, umschaltbar mit Objekt 323A_n , max. 1 MHz a5: Digitaler Eingang 3: 5 V / 24 V, umschaltbar mit Objekt 323A_n , max. 1 MHz a6: Digitaler Eingang 4: 5 V / 24 V, umschaltbar mit Objekt 323A_n , max. 1 MHz b1: Analoge Eingang 1: 12 Bit, 0 V...+24 V b2: Analoge Eingang 2: 12 Bit, 0 V...+24 V b3: Digitaler Ausgang 1: Push-Pull, umschaltbar5 V / V+ Logic mit 323A_n , max. 100 mA b4: Digitaler Ausgang 1: Push-Pull, umschaltbar5 V / V+ Logic mit 323A_n , max. 100 mA b5: Brake - b6:Brake +: PWM gesteuerter Ausgang für optionale externe Haltebremse, max. V+ Logic, 400 mA, 20 kHz

Anschluss	Funktion	Pin-Belegung / Beschreibung
X6 (nur bei PD2-E(B)42x(x)-xS-...)	STO (<i>Safe Torque Off</i>) Ausführliche Beschreibung im Dokument <i>Funktionsbeschreibung STO</i> auf nanotec.de .	a1: STO-A-RTN a2: STO-FBL a3: STO-B-RTN b1: STO-A-IN b2: STO-FBH b3: STO-B-IN



HINWEIS

EMV: Bei einer DC-Stromversorgungsleitung mit einer Länge von >30 m oder Verwendung des Motors an einem DC-Bus sind zusätzliche Entstör- und Schutzmaßnahmen notwendig.

- Ein EMI-Filter ist in die DC-Zuleitung mit möglichst geringem Abstand zur Steuerung/Motor einzufügen.
- Lange Daten- oder Versorgungsleitungen sind durch Ferrite zu führen.

Inbetriebnahme

Die Software *Plug & Drive Studio 3* bietet Ihnen eine Möglichkeit, die Konfiguration vorzunehmen und die Motorparameter an Ihre Applikation anzupassen. Weiterführende Informationen finden Sie im Dokument *Plug & Drive Studio 3: User Manual* auf www.nanotec.com.

Beachten Sie folgende Hinweise:



VORSICHT!

Bewegte Teile können zu Handverletzungen führen!

Wenn Sie im laufenden Betrieb bewegte Teile anfassen, kann dies zu Handverletzungen führen.

- Greifen Sie während des Betriebs nicht nach bewegten Teilen. Warten Sie nach dem Abschalten, bis alle Bewegungen beendet sind.



VORSICHT!

Motorbewegungen sind im freistehenden Betrieb unkontrolliert und können Verletzungen hervorrufen.

Wenn der Motor unbefestigt ist, kann der Motor z. B. herunterfallen. Das kann zu Fußverletzungen oder zu Beschädigungen am Motor führen.

- Wenn Sie den Motor frei stehend betreiben, beobachten Sie den Motor, schalten Sie ihn bei Gefahr sofort ab und achten Sie darauf, dass der Motor nicht herunterfallen kann.



VORSICHT!

Bewegte Teile können Haare und lose Kleidung erfassen.

Im laufenden Betrieb können Haare oder lose Kleidung erfasst werden, dies kann zu Verletzungen führen.

- Bei langen Haaren tragen Sie ein Haarnetz oder andere geeignete Schutzmaßnahmen, wenn Sie in dem Bereich bewegter Teile sind. Arbeiten Sie nicht mit loser Kleidung oder Krawatten in der Nähe bewegter Teile.



HINWEIS

EMV: Stromführende Leitungen – insbesondere um Versorgungsleitungen – erzeugen elektromagnetische Wechselfelder. Diese können den Motor und andere Geräte stören.

Geeignete Maßnahmen können sein:

- Geschirmte Leitungen verwenden und den Leitungsschirm beidseitig auf kurzem Weg erden.
- Stromversorgungs-Leitungen so kurz wie möglich halten.
- Kabel mit paarweise verdrehten Adern verwenden.
- Motorgehäuse großflächig auf kurzem Weg erden.
- Versorgungs- und Steuerleitungen getrennt verlegen.
- Ladekondensator von ca. 1000 µF pro Ampere Nennstrom parallel an die Versorgungsspannung anschließen.

Konfiguration über USB

Allgemeines

Es gibt folgende Möglichkeiten, die Steuerung über USB zu konfigurieren:

Konfigurationsdatei

Diese Datei lässt sich mittels dem USB-Anschluss auf die Steuerung speichern. Lesen Sie dazu die Kapitel **USB Anschluss** und **Konfigurationsdatei**.

NanoJ-Programm

Dieses Programm lässt sich mit *NanoJ* programmieren, kompilieren und anschließend über USB auf die Steuerung übertragen. *NanoJ* ist in der Software *Plug & Drive Studio 3* integriert. Weiterführende Informationen finden Sie im Dokument *Plug & Drive Studio 3: User manual* auf www.nanotec.com.

Nach dem Anschließen an eine Spannungsversorgung liest die Steuerung die Konfiguration in folgender Reihenfolge aus:

1. Die Konfigurationsdatei wird ausgelesen und verarbeitet.
2. Das NanoJ-Programm wird gestartet.

USB-Anschluss



HINWEIS

Beschädigung des Produkts und/oder externer Hardware durch Potenzialdifferenzen am USB.

Das Anschließen des USB-Kabels während die Elektronik versorgt wird (Hot-Plugging), führt möglicherweise zu Schäden.

- USB anschließen, bevor Sie die Versorgungsspannung einschalten.
- Wenn möglich, Potentialdifferenzen zwischen PC und Produkt ausgleichen oder USB-Isolator verwenden.
- USB-Kabel zuerst an das Produkt anschließen, dann an den PC.

Wird die Steuerung über ein USB-Kabel mit einem PC verbunden, wird im Windows-Dateiexplorer ein MTP-Gerät mit dem *Device Name* der genauen Produktvariante angelegt, das einen Datenträger enthält.

Es werden bis zu drei Dateien angezeigt, die Konfigurationsdatei (*cfg*.txt*), die Firmware (**.fw*) und das *NanoJ-Programm* (*nanobj*.usz*), welches sofort nach dem Neustart der Steuerung intern gespeichert und nicht mehr angezeigt wird.

Sie können somit die Konfigurationsdatei oder das *NanoJ-Programm* auf die Steuerung speichern. Die Spannungsversorgung der Steuerung muss beim USB-Betrieb ebenfalls angeschlossen sein.

Konfigurationsdatei

Allgemeines

Die Konfigurationsdatei *cfg.txt* dient dazu, Werte für das Objektverzeichnis beim Start auf einen bestimmten Wert vorzubelegen. Diese Datei ist in einer speziellen Syntax gehalten, um den Zugriff auf die Objekte des Objektverzeichnisses möglichst einfach zu gestalten. Die Steuerung wertet alle Zuweisungen in der Datei von oben nach unten aus.

Lesen und Schreiben der Datei

So erhalten Sie Zugriff auf die Datei:

1. Verbinden Sie die Steuerung mit Ihrem PC über das USB-Kabel.
2. Schließen Sie die Spannungsversorgung an und schalten Sie die Spannungsversorgung ein.
3. Nachdem der PC das Gerät als Wechseldatenträger erkannt hat, navigieren Sie im Explorer das Verzeichnis der Steuerung an. Dort ist die Datei *cfg*.txt* hinterlegt.
4. Öffnen Sie diese Datei mit einem einfachen Text-Editor, wie Notepad oder Vi. Benutzen Sie keine Programme, welche Textauszeichnung benutzen (LibreOffice oder dergleichen).

Nachdem Sie Änderungen an der Datei vorgenommen haben, gehen Sie wie folgt vor, um die Änderungen durch einen Neustart wirksam werden zu lassen:

1. Speichern Sie die Datei, falls nicht schon geschehen.
2. Trennen Sie die Spannungsversorgung der Steuerung für ca. 1 Sekunde, bis die Betriebs-LED aufhört zu blinken.
3. Verbinden Sie die Spannungsversorgung wieder. Mit diesem Start der Steuerung werden die neuen Werte der Konfigurationsdatei ausgelesen und wirksam.

Konfiguration über EtherCAT



TIPP

Die nachfolgende Beschreibung geht davon aus, dass ein EtherCAT-Master von Beckhoff mit der Software *TwinCAT* benutzt wird.

1. Verbinden Sie den EtherCAT Master mit der Steuerung, siehe **Anschlussbelegung**.
2. Versorgen Sie die Steuerung mit Spannung.
3. Beschaffen Sie sich die, exakt zur verwendeten **Firmware-Version** passende, *ESI-Datei* unter folgenden Quellen:
 - a. Über die Nanotec Homepage www.nanotec.com. Die aktuelle Version der Firmware und der *ESI-Datei* finden Sie im Download-Ordner von *Plug & Drive Studio*.
 - b. Vom Nanotec-Support.
4. Schließen Sie den System Manager von *TwinCAT* falls er geöffnet ist.
5. Kopieren Sie anschließend die *ESI-Datei* in den Unterordner von *TwinCAT*:

- Falls Sie *TwinCAT* Version 2 benutzen, verwenden Sie den Ordner <TWINCAT INSTALL DIR>/Io/EtherCAT
- Falls Sie *TwinCAT* Version 3 benutzen, verwenden Sie den Ordner <TWINCAT INSTALL DIR>/3.1/Config/IO/EtherCAT

Beispiel

Beispiel: Sollte auf Ihrem PC *TwinCAT* 2 unter dem Pfad C:\TwinCAT\ installiert sein, kopieren Sie die *ESI-Datei* in den Pfad C:\TwinCAT\Io\EtherCAT\.



HINWEIS

Die Zykluszeit des Sync-Signals muss immer auf 1ms stehen. Sie können die Bus-Zykluszeit (und entsprechend die Interpolationszeit in **60C2_h**) auf ganzzahlige Vielfache von 1 ms setzen.

Spezielle Fahrmodi (Takt-Richtung und Analog-Drehzahl)

Sie haben die Möglichkeit, den Motor direkt über den Takt- und Richtungseingang oder den Analogeingang anzusteuern, indem Sie die *speziellen Fahrmodi* aktivieren.

Der digitale Eingang 3 dient dabei als Freigabe.

Aktivierung

Um die *speziellen Fahrmodi* zu aktivieren, müssen Sie in **4015_h:01_h** den Wert "2" eintragen. In **4015_h:02_h** stellen Sie den Modus ein, indem Sie einen Wert zwischen "00"_h und "0F"_h schreiben.

Die folgende Tabelle listet alle möglichen Modi und den Wert für **4015:02_h** auf:

Wert	Modus			
00 _h /01 _h	Takt-Richtung	-	-	Open Loop
02 _h	Testfahrt	Automatische Fahrt mit 30 U/min	Drehrichtung im Uhrzeigersinn	Open Loop
03 _h	Testfahrt	Automatische Fahrt mit 30 U/min	Drehrichtung gegen den Uhrzeigersinn	Open Loop
04 _h	Analog-Drehzahl	Richtung über "Richtungs"-Eingang	Maximale Drehzahl 1000 U/min	Open Loop
05 _h	Analog-Drehzahl	Richtung über "Richtungs"-Eingang	Maximale Drehzahl 100 U/min	Open Loop
06 _h	Analog-Drehzahl	Offset 5 V (Joystick-Modus)	Maximale Drehzahl 1000 U/min	Open Loop
07 _h	Analog-Drehzahl	Offset 5 V (Joystick-Modus)	Maximale Drehzahl 100 U/min	Open Loop
08 _h /09 _h	Takt-Richtung	-	-	Closed Loop
0A _h	Testfahrt	Automatische Fahrt mit 30 U/min	Drehrichtung im Uhrzeigersinn	Closed Loop
0B _h	Testfahrt	Automatische Fahrt mit 30 U min	Drehrichtung gegen den Uhrzeigersinn	Closed Loop
0C _h	Analog-Drehzahl	Richtung über "Richtungs"-Eingang	Maximale Drehzahl 1000 U/min	Closed Loop
0D _h	Analog-Drehzahl	Richtung über "Richtungs"-Eingang	Maximale Drehzahl 100 U/min	Closed Loop
0E _h	Analog-Drehzahl	Offset 5 V (Joystick-Modus)	Maximale Drehzahl 1000 U/min	Closed Loop
0F _h	Analog-Drehzahl	Offset 5 V (Joystick-Modus)	Maximale Drehzahl 100 U/min	Closed Loop

Sie müssen das Objekt **4015_h** (*Kategorie Applikation*) speichern, indem Sie den Wert "65766173_h" in **1010_h:03_h** schreiben, die Änderungen werden erst nach einem Neustart der Steuerung aktiviert.

Takt-Richtung

Die Steuerung setzt intern den Betriebsmodus auf **Takt-Richtung**. Sie müssen die Eingänge *Freigabe*, *Takt* und *Richtung* beschalten.

Analog-Drehzahl

Die Steuerung setzt intern den Betriebsmodus auf **Profile Velocity**. Zur Vorgabe der Drehzahl wird die Spannung am analogen Eingang benutzt und die entsprechende Zielgeschwindigkeit wird in **60FF_h** geschrieben.

Maximale Drehzahl

Die maximale Drehzahl kann zwischen 100 U/min und 1000 U/min gewechselt werden.

Ist eine andere Drehzahl notwendig, dann lässt sich diese über den Skalierungsfaktor für den Analogwert (siehe **Analoge Eingänge**) einstellen.

Verrechnung der Analogspannung

Es gibt zwei Modi, wie die analoge Eingangsspannung verrechnet wird.

Normaler Modus

Sie müssen die Eingänge *Freigabe*, *Richtung* und den *Analogeingang* beschalten. Das Maximum der analogen Spannung entspricht der maximalen Drehzahl. Die Richtung wird dabei über den Richtungseingang vorgegeben. Wenn kein Signal am Richtungseingang anliegt, dreht sich der Motor im Uhrzeigersinn bei Blick auf die Antriebswelle). Es existiert eine Totzone von 0 V bis 20 mV, in welcher der Motor nicht fährt.

Joystick Modus

Sie müssen den Eingang *Freigabe* und den *Analogeingang* beschalten. Die Hälfte der maximalen, analogen Spannung entspricht der Drehzahl 0, dabei passt die Steuerung den Offset in **3321_h** automatisch an.

Sinkt die Spannung unter die Hälfte, steigt die Drehzahl in negativer Richtung. Wenn die Spannung entsprechend über die Hälfte steigt, steigt auch die Drehzahl in positiver Richtung. Die Totzone geht dabei von U_{max}/2 ± 20 mV.

Automatische Fahrt mit 30 U/min (Testfahrt)

Der Motor dreht mit 30 U/min wenn der Eingang *Freigabe* gesetzt ist.