HENSCHEL ROBOTICS

DOC-HD17-ETC-MAN



HDrive-ETC

Integrierter Servoantrieb · EtherCAT

Betriebsanleitung

Revision 1.5 · November 2026

Henschel-Robotics GmbH
Mulchlingerstrasse 67
CH-8405 Winterthur, Schweiz

info@henschel-robotics.ch
https://www.henschel-robotics.ch

Dokumentinformationen

DOC-HD17-ETC-MAN · Revision 1.5 · November 2026

Zweck

Diese technische Anleitung beschreibt ausführlich die Inbetriebnahme und den Betrieb des Servoantriebs HDrive-ETC. Sie richtet sich an qualifizierte Techniker und Ingenieure, die für Systemintegration und Instandhaltung verantwortlich sind.

Geltungsbereich

- Installation und Inbetriebnahme
- Technische Daten und Parameter
- Sicherheitsrichtlinien und Warnhinweise
- Fehlerbehebung und Instandhaltung

Dokumentenlenkung

Rev.	Datum	Autor	Änderungsübersicht
1.0	September 2024	Technisches Team	Erstausgabe
1.1	November 2025	Technisches Team	EMV-Zertifizierung, Aktualisierung der technischen Daten
1.2	März 2026	Technisches Team	Überarbeitung von Layout und Redaktion (Typst)
1.3	August 2026	Technisches Team	Endschalter-Referenzfahrt, Modi 15–18 (Ablauf, DI-Zuordnung, Geschwindigkeiten)
1.4	Oktober 2026	Technisches Team	Objekt 0x60FF / 0x606C und PDO-Geschwindigkeitseinheiten: deg/s (nicht RPM)
1.5	November 2026	Technisches Team	Fehlercodes (0x603F) korrigiert; Fehlercodes im Inhaltsverzeichnis unter Fehlerbehebung

Wichtiger Hinweis
Dieses Dokument enthält sicherheitsrelevante Informationen. Lesen Sie alle Abschnitte sorgfältig durch, bevor Sie mit der Installation oder dem Betrieb beginnen.

Henschel-Robotics GmbH · Mulchlingerstrasse 67 · CH-8405 Winterthur
info@henschel-robotics.ch · https://www.henschel-robotics.ch

Inhaltsverzeichnis

1 Rechtliches & Sicherheit 4
1.1 Haftungsausschluss 4
1.2 Sicherheitshinweise 4
2 Produktübersicht 6
2.1 Systemübersicht 6
2.2 Produktvarianten 6
2.3 Konformität & Zertifizierungen 7
3 Installation & Inbetriebnahme 8
3.1 Mechanische Installation 8
3.2 Elektrische Installation 8
3.3 Einschaltablauf 10
3.4 TwinCAT-Konfiguration 11
4 Technische Dokumentation 13
4.1 Regelungsarchitektur 13
4.2 Übersicht Reglerstruktur 13
4.3 Systemarchitektur 14
4.4 Firmware-Verwaltung 15
4.5 Optimierung der Regelung 15
4.6 Konfiguration der digitalen E/A 16
4.7 EtherCAT-Objektzuordnung 17
4.8 Endschalter-Referenzfahrt (Modi 15–18) 19
4.9 Bandbreitenbasierte Parameterberechnung 22
4.10 EtherCAT-Objektverzeichnis 25
4.11 Prozessdatenobjekte (PDOs) 26
5 Fehlerbehebung & Instandhaltung 28
5.1 Fehlercodes 28
5.2 Diagnose 29
6 Technische Daten 31
6.1 Elektrische Daten 31
6.2 Umgebungsbedingungen 32
6.3 Leistungsdaten 33

1 Rechtliches & Sicherheit

1.1 Haftungsausschluss

Henschel-Robotics GmbH übernimmt keine Haftung für Schäden, die aus unsachgemässer Verwendung des Produkts entstehen. Die Kenntnis dieser Anleitung ist Voraussetzung für die bestimmungsgemässe Verwendung. Alle Anweisungen in dieser Anleitung und in der technischen Dokumentation des Encodersystems sind daher zwingend zu befolgen.

Henschel-Robotics GmbH haftet nicht für Fehlfunktionen oder Ausfälle, die auf die Nichtbeachtung dieser Betriebsanleitung zurückzuführen sind.

1.1.1 Bestimmungsgemässe Verwendung

Das **HDrive-System** ist ein elektronischer Servomotor für den Einsatz in industrieller Umgebung. Es ist für den Betrieb in geschützten Innenräumen vorgesehen. Die Servomotoren sind nicht wasserdicht und müssen so eingebaut werden, dass ein sicherer und zuverlässiger Betrieb gewährleistet ist.

Einschränkung der Verwendung
Der HDrive-Servomotor darf nur für die oben genannten Zwecke verwendet werden. Jeder Einsatz ausserhalb der festgelegten technischen Parameter, die Kombination mit nicht kompatiblen Komponenten oder Änderungen, welche die vorgesehene Funktion des Produkts beeinflussen, können zu Betriebsstörungen führen. **Henschel-Robotics GmbH übernimmt keine Haftung** für Probleme oder Schäden infolge einer solchen Fehlanwendung.

1.2 Sicherheitshinweise

1.2.1 Allgemeine Sicherheitsanforderungen

KRITISCHE SICHERHEITSANFORDERUNGEN

Installation & Instandhaltung

- Installation und Instandhaltung dürfen ausschliesslich durch **qualifiziertes Fachpersonal** erfolgen
- Stellen Sie sicher, dass die **Spannungsversorgung getrennt** ist und alle mechanischen Teile stillstehen
- Beachten Sie stets die in Ihrem Land geltenden **Arbeitsschutz- und Sicherheitsvorschriften**

Elektrische Gefährdungen

- **Hohe Spannungen, Ströme und bewegte mechanische Teile** können schwere oder tödliche Verletzungen verursachen
- Gerät nicht in **explosionsgefährdeter oder brennbarer Umgebung** betreiben
- Das Gerät darf **nur bestimmungsgemäss** betrieben werden

Einhaltung der Vorschriften

- Die Missachtung dieser Vorsichtsmassnahmen stellt einen **Verstoss gegen Sicherheitsnormen** dar

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

- Jede Fehlanwendung kann **schwere Personen- und/oder Umweltschäden** verursachen

1.2.2 Elektrische Sicherheitshinweise

ELEKTRISCHE SICHERHEITSVORSCHRIFTEN

Anforderungen an die Spannungsversorgung

- Stellen Sie sicher, dass die **Spannungsversorgung AUSGESCHALTET** ist, bevor Sie das Gerät anschliessen
- Schliessen Sie das Gerät gemäss den Anweisungen in dieser Anleitung an
- **Die Spannungsversorgung muss stabil und störungsfrei sein**
- Bei Bedarf **EMV-Filter** in der Versorgungsleitung einsetzen

Kabelführung

- **Nicht verwendete Signalausgangsadern** müssen **einzeln isoliert** werden
- Verwenden Sie stets **geschirmte Kabel**, vorzugsweise **paarweise verdrillt** (Twisted Pair)
- Alle Kabel **so kurz wie möglich** halten
- **Signalkabel nicht** in der Nähe von Hochspannungs- oder Leistungskabeln verlegen

EMV-Konformität (Richtlinie 2014/30/EU)

- Vor der Handhabung **statische Aufladung** von Körper und Werkzeugen **ableiten**
- Bei Bedarf **Schirmung vorsehen**
- **Keine starken Magnete** am oder in der Nähe des Geräts verwenden
- Kabelschirm an eine **störungsfreie Erdung** anschliessen

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

2 Produktübersicht

2.1 Systemübersicht

Der **„HDrive“ der Henschel-Robotics GmbH** ist ein integrierter Servomotor auf Basis moderner mehrpoliger Schrittmotortechnologie. Das System vereint:

- **Leistungsteil** — hocheffiziente Motorendstufe
- **Kommunikationsmodul** — EtherCAT-Echtzeitschnittstelle
- **Positionssensor** — magnetisches 14-Bit-Encodersystem
- **Steuerung** — ARM™-Mikrocontroller mit umfassendem Achsplaner

Die integrierte Elektronik bietet **Lage-**, **Drehzahl-** und **Drehmomentregelung** mit werkseitig kalibrierter Präzision.

2.1.1 Hauptmerkmale

Merkmal	Beschreibung
Kommunikation	EtherCAT-Echtzeitkommunikation
Regelung	Geschlossener Regelkreis für Lage, Geschwindigkeit und Drehmoment
Leistung	Hohe Dynamik und Effizienz, geringe Drehmomentwelligkeit
Genauigkeit	Positioniergenauigkeit ±0,1° (1σ)
Encoder	Magnetisches 14-Bit-Encodersystem

2.2 Produktvarianten

2.2.1 Typenbezeichnung

Der HDrive ist mit oder ohne Getriebe erhältlich. Die Typenbezeichnung ist wie folgt aufgebaut:

`HDrive-ETC-[i]`

Symbol	Optionen	Beschreibung
ETC	ETC	Kommunikationsprotokoll (EtherCAT)
i	i	Industrieversion mit V_{pwr} = 48 VDC

> **HINWEIS**
> **Beispiel:** `HDrive-ETC-i` = Flansch Nema 17 (diese Anleitung), EtherCAT, Industrieversion

Die mechanische Flanschgrösse (z. B. Nema 17 oder 23) ergibt sich aus dem mechanischen Bestellcode und dem Datenblatt der jeweiligen Katalogvariante.

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

2.3 Konformität & Zertifizierungen

Der HDrive hat umfassende EMV-Prüfungen nach europäischen Normen erfolgreich bestanden.

2.3.1 Störaussendung

Norm	Beschreibung	Status
EN 55011:2016/A1:2017 CISPR 11-2015+AMD1:2016	Gestrahlte Störaussendung	**BESTANDEN**

2.3.2 Störfestigkeit

Norm	Beschreibung	Status
EN 61000-4-3:2006 +A1 +A2 IEC 61000-4-3:2006 +A1 +A2	Elektromagnetische Felder	**BESTANDEN**
EN 61000-4-4:2012 IEC 61000-4-4:2012	Schnelle transiente elektrische Störgrössen (Burst)	**BESTANDEN**
EN 61000-4-5:2014 +A1:2017 IEC 61000-4-5:2014 +AMD1:2017	Stossspannungen (Surge)	**BESTANDEN**

HINWEIS
Zertifizierungsdatum: 21. November 2025 — vollständige Konformität mit der EU-EMV-Richtlinie 2014/30/EU

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

3 Installation & Inbetriebnahme

Dieses Kapitel beschreibt die mechanische und elektrische Installation sowie die Inbetriebnahme des Servoantriebs HDrive-ETC.

3.1 Mechanische Installation

3.1.1 Montageanforderungen

Der Motor wird mit den **vier M3-Gewinden** an der Stirnseite (nahe der Motorwelle) befestigt:

Parameter	Wert	Bemerkungen
Gewindegrösse	M3	Metrisches Gewinde
Gewindetiefe	4,5 mm	Maximale Einschraubtiefe
Lochbild	4 Bohrungen	Quadratisches Lochbild an der Stirnseite

3.1.2 Zentrierbund

Verwenden Sie den **2 mm tiefen Zentrierbund** mit den folgenden Massen, um eine korrekte Ausrichtung sicherzustellen:

Zentrierbund:

Parameter	Wert
Tiefe	2,0 mm
Durchmesser	$22^{+0}_{-0,05}$ mm (mit Toleranz)

Motorwelle:

- **Werkstoff:** Aluminium
- **Maximale Axiallast (dynamisch):** 10 N
- **Maximale Radiallast (dynamisch)** bei 20 mm Wellenlänge: 21 N

> **WARNUNG**
> Eine korrekte Zentrierung ist entscheidend für optimale Leistung und Lebensdauer des Systems.

3.2 Elektrische Installation

3.2.1 Steckverbinder im Überblick

Die Feldverdrahtung erfolgt über runde **M8**-Steckverbinder nach IEC 61076-2-104. **Alle** Feldanschlüsse — **Spannungsversorgung**, **Digitaleingänge** und **EtherCAT** — sind **A-codierte** 4-polige Steckverbinder (drei

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

separate Anschlüsse mit gleicher mechanischer Codierung und gleichem Pinbild, aber unterschiedlicher elektrischer Funktion je Anschluss).

Verwenden Sie ausschliesslich **A-codierte** M8-Kabel und konfektionierte Leitungen, die für das jeweilige Signal (Versorgung, E/A oder Ethernet) und die erforderliche IP-Schutzart ausgelegt sind. Für EtherCAT sind **geschirmte**, paarweise verdrillte Industrieleitungen mit **A-codierten** M8-Steckern zum Master bzw. zum nächsten Slave zu verwenden.

3.2.2 Anforderungen an die Spannungsversorgung

Der HDrive-ETC benötigt eine **24-V-DC-Spannungsversorgung** mit folgenden Eigenschaften:

Parameter	Wert	Einheit
Versorgungsspannung V_s	24	V DC
Versorgungsspannung V_p	24–48	V DC
Spannungstoleranz	±10%	V DC
Nennstrom V_s	0,5	A
Nennstrom V_p	2	A
Max. Leistungsaufnahme	36	W

3.2.3 M8 A-codiert — Pinnummerierung (alle M8-Anschlüsse)

Alle M8-Anschlüsse am Antrieb haben die **gleiche A-codierte** 4-polige Geometrie. Die **Pinnummern** bezeichnen an jedem Steckverbinder dieselben mechanischen Positionen; die **elektrischen Funktionen** unterscheiden sich je Anschluss (siehe Tabellen unten).

Spannungsversorgung	Digitale E/A	EtherCAT

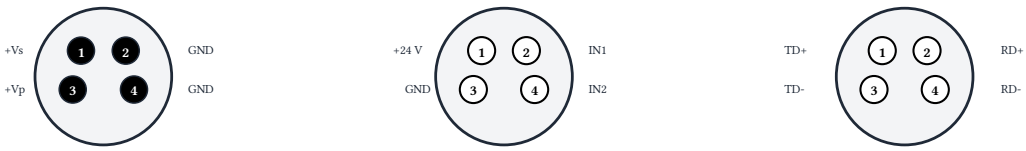


*Tabelle 1: A-codierte M8-Steckverbinder am Antrieb — Ansicht auf die Steckseite. **Spannungsversorgung:** Stecker (schwarze Pins, weisse Nummern). **Digitale E/A** und **EtherCAT:** Buchsen (weisse Kontakte, schwarze Nummern).*

3.2.4 Pinbelegung Versorgungsanschluss (M8 A-codiert)

Der Versorgungseingang ist ein **4-poliger A-codierter M8-Stecker** mit redundanten Versorgungs- und Masse-Pins (linke Spalte in Tabelle 1):

Pin	Funktion	Beschreibung	Aderfarbe
1	+24 V	Versorgungsspannung V_s, positiv	Braun
2	GND	Bezugsmasse	Blau

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

3	+24 V	Versorgungsspannung V_p, positiv	Weiss
4	GND	Bezugsmasse (redundant)	Schwarz

HINWEIS
GND-P und GND-S sind im Gerät miteinander verbunden.

3.2.5 Pinbelegung EtherCAT-Anschluss (M8 A-codiert)

EtherCAT nutzt einen Fast-Ethernet-PHY mit **100 Mbit/s** an einer **A-codierten M8**-Schnittstelle — mit demselben Gehäuse und derselben Pinnummerierung wie die Versorgungs- und Digital-E/A-Anschlüsse. Die Pinbelegung folgt der üblichen **TD/RD**-Paarbezeichnung für Twisted-Pair-Ethernet (siehe rechte Spalte in Tabelle 1).

Pin	Signal	Richtung	Beschreibung
1	TD+	Senden	Sendedaten, positiv
2	RD+	Empfangen	Empfangsdaten, positiv
3	TD–	Senden	Sendedaten, negativ
4	RD–	Empfangen	Empfangsdaten, negativ

HINWEIS
Kabel: geschirmtes Twisted-Pair-Kabel, geeignet für 100BASE-TX; Kabelschirm gemäss EMV-Konzept an das Erdungskonzept der Anlage anschliessen.

3.2.6 Pinbelegung Digital-E/A-Anschluss (M8 A-codiert)

Der Digitaleingangsanschluss ist ein **4-poliger A-codierter M8**-Steckverbinder (mittlere Spalte in Tabelle 1).

Pin	Funktion	Beschreibung
1	+24 VDC	Sensorversorgung V_s, mit 100 mA abgesichert
2	Eingang 1	Digitaleingang 1
3	GND	Bezugsmasse
4	Eingang 2	Digitaleingang 2

HINWEIS
Der Eingang schaltet auf HIGH, wenn die Eingangsspannung 12 VDC überschreitet, und auf LOW, wenn sie 9 VDC unterschreitet.

3.3 Einschaltablauf

Der HDrive durchläuft beim Einschalten einen festgelegten Ablauf:

1. **Einschalten**

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

- 24-V-DC-Versorgung anlegen
- Motor-LED leuchtet weiss
- Bootloader lädt die Firmware (ca. 2 Sekunden)
- Motor-LED leuchtet dauerhaft rot, danach gelb

2. **EtherCAT-Initialisierung**
   - Kommunikation mit dem EtherCAT-Master wird aufgebaut
   - Motor-LED blinkt grün
3. **Betriebsbereit**
   - System nimmt Steuerbefehle entgegen
   - Motor-LED leuchtet dauerhaft grün

> **HINWEIS**
> **Typische Startzeit:** 2–5 Sekunden, abhängig von der Netzwerkkonfiguration.

3.4 TwinCAT-Konfiguration

Für die Einbindung in TwinCAT gehen Sie wie folgt vor:

1. **Netzwerk einrichten** — HDrive in die EtherCAT-Topologie aufnehmen; Netzwerkparameter konfigurieren
2. **Motorparameter** — motorspezifische Parameter setzen; Encodereinstellungen konfigurieren
3. **Betriebsarten** — Lage-, Geschwindigkeits- und Drehmomentmodus konfigurieren; Reglerparameter einstellen
4. **Kommunikationstest** — EtherCAT-Kommunikation prüfen; Steuerbefehle testen

3.4.1 NC-Schleppfehler (Time Compensation)

Im CSP-Modus berechnet die TwinCAT NC den Schleppfehler der Achse aus ihrem eigenen Sollwert und der Istposition des Antriebs (`0x6064`). Ein grosser Nachlauf bei konstanter Geschwindigkeit ist meist überwiegend durch Totzeiten von Bus, Task und Antrieb bedingt ($\omega \cdot T$), nicht durch das Lastmoment. Kompensieren Sie dies in TwinCAT — nicht über CoE `0x60F4` (roher CiA-Schleppfehler: Ist − Soll in 0,1°).

Pfad: **MOTION → NC-Task → Axes → HDrive → Drive → Time Compensation**.

Bewährte Startwerte für CSP ohne Last (NC-Schleppfehler ≈ 0 bei konstanter Geschwindigkeit):

Parameter	Wert
Time Compensation Mode Drive (nur Lagemodus)	`ON (with velocity and acceleration)`
IO Time is absolute	`FALSE`
Task Delay in Cycles	`1`
Drive Delay in Cycles	`1`
Additional Drive Delay	`15000` µs (15 ms)

Tabelle 2: TwinCAT NC Drive Time Compensation — Referenzwerte für HDrive im CSP-Modus

1. **Encoder → Time Compensation** — eingangsseitige Kompensation aktivieren (`DcInputShift`; optional **Encoder Delay in Cycles**), damit auch die Istposition zeitlich korrekt zugeordnet wird.

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

2. **Position Lag Monitoring** — nur Schwellwerte (maximaler Schleppfehler / Filterzeit); der totzeitbedingte Nachlauf wird dadurch nicht beseitigt.

Die veralteten Parameter **Delay Velo / Position** in neuen Projekten nicht verwenden. Im Stillstand (Schleppfehler ≈ 0) und unter Last (verbleibender Nachlauf sichtbar) erneut prüfen. Bei Änderungen der Zykluszeit oder der Filter **Additional Drive Delay** neu einstellen.

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

4 Technische Dokumentation

4.1 Regelungsarchitektur

Der HDrive-ETC arbeitet mit **zeitdiskreten Regelalgorithmen**, bei denen Drehmoment-, Lage- und Drehzahlregler unabhängig voneinander eingestellt werden können. Diese modulare Regelungsarchitektur ermöglicht eine präzise Anpassung an die jeweilige Anwendung.

> **Kritische Warnung**
> Die offene und frei parametrierbare Regelungsarchitektur muss sorgfältig an die jeweilige Anwendung angepasst werden. **Eine falsche Parametrierung kann den Antrieb und die angeschlossene Last beschädigen.**

4.1.1 Feldorientierte Regelung (FOC)

Der Schrittmotor wird mittels **feldorientierter Regelung (FOC)** betrieben. Diese bietet:

- **Getrennte Regelung** von drehmomentbildendem und feldbildendem Strom
- **Höhere Effizienz** gegenüber konventioneller Schrittmotoransteuerung
- **Unterdrückung des Rastmoments** mit weniger Vibrationen und Geräuschen
- **Präzise Drehmomentregelung** für anspruchsvolle Anwendungen

4.1.1.1 Koordinatentransformation

- **Park-Transformation** — dreht αβ-Koordinaten in das synchron rotierende DQ-System
- **Inverse Transformationen** — wandeln DQ zurück in ABC für die PWM-Erzeugung

4.1.1.2 Regelungsarchitektur

- **D-Achsen-Regelung** — Regelung des flussbildenden Stroms
- **Q-Achsen-Regelung** — Regelung des drehmomentbildenden Stroms
- **Drehzahlregelung** — regelt den Motorstrom so, dass eine Drehzahl gehalten wird
- **Lageregelung** — regelt die Position des Motors

4.1.1.3 Erweiterte Funktionen

- **Stromfilterung** — Tiefpassfilterung der DQ-Ströme
- **Spannungsvorsteuerung** — Kompensation der Gegen-EMK
- **Phasenstromüberwachung** — Echtzeitmessung der Phasenströme A/B
- **Kompensation der Drehmomentwelligkeit** — Algorithmen zur Reduktion der Welligkeit

4.2 Übersicht Reglerstruktur

Der HDrive-ETC verwendet eine **Kaskadenregelung**, die mit drei ineinander verschachtelten Regelkreisen eine ruhige und präzise Bewegungsführung ermöglicht:

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

4.2.1 Hierarchie der Regelkreise

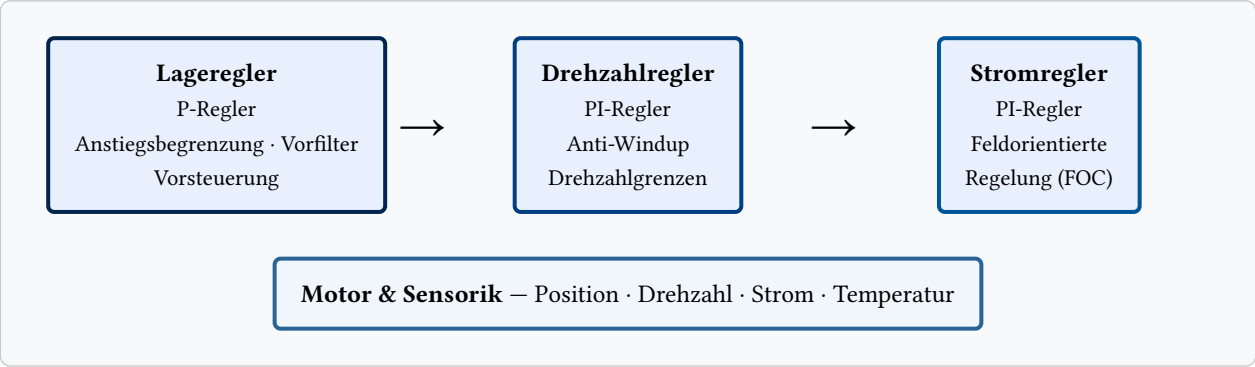


Abbildung 1: Kaskadierte Reglerstruktur des HDrive-ETC

4.2.2 Regelkreise und Betriebsarten

Regelkreis / Modus	Zweck	Eingang → Ausgang	Regler	Takt
Lageregelkreis (äusserer)	Präzise Positionierung	Sollposition → Drehzahlsollwert	P	2 kHz
Drehzahlregelkreis (mittlerer)	Motordrehzahl	Solldrehzahl (vom Lageregler) → Stromsollwert	PI	2 kHz
Stromregelkreis (innerer)	Drehmoment / Strom	Sollstrom (vom Drehzahlregler) → PWM an die Motorphasen	PI	20 kHz
Lagemodus	Vollständige Kaskade	Lage → Drehzahl → Strom	—	—
Drehzahlmodus	Direkte Drehzahlvorgabe	Drehzahl → Strom	—	—
Drehmomentmodus	Direkte Strom-/Drehmomentvorgabe	Stromsollwert → PWM (ohne äussere Regelkreise)	—	—

4.3 Systemarchitektur

4.3.1 Echtzeit-Regelsystem

Parameter	Takt	Beschreibung
ADC-Interrupt	20 kHz	Abtastung der Strommessung
Stromregelung	20 kHz	Aktualisierungsrate FOC
Lageregelung	2 kHz	Aktualisierung Lageregelkreis
Zustandsautomat	2 kHz	System-Zustandsautomat

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

4.3.2 Zustandsautomat

Hauptzustände (CiA 402):

- **Not Ready to Switch On** — Systeminitialisierung
- **Switch On Disabled** — Versorgung angelegt, nicht bereit
- **Ready to Switch On** — System betriebsbereit
- **Switched On** — Motor eingeschaltet, nicht in Betrieb
- **Operation Enabled** — voller Betrieb
- **Quick Stop Active** — Schnellhalt aktiv
- **Fault Reaction Active** — Fehlerreaktion läuft
- **Fault** — Fehlerzustand

Sicherheitsüberwachung:

- **Spannungsüberwachung** — Erkennung von Über- und Unterspannung
- **Temperaturüberwachung** — thermischer Schutz
- **Drehzahlüberwachung** — Schutz vor Überdrehzahl

4.4 Firmware-Verwaltung

4.4.1 Firmware-Update

Die Firmware kann über die **EtherCAT-Schnittstelle** aktualisiert werden. Die EEPROM-Konfiguration bleibt dabei erhalten.

1. **Verbindung herstellen** — HDrive über EtherCAT mit Beckhoff TwinCAT verbinden; Kommunikationsstatus prüfen
2. **Firmware-Zugriff** — EtherCAT-Zustandsmaschine in den Zustand Bootstrap versetzen
3. **Hochladen** — neue Firmware-Datei mit „File Access over EtherCAT (FoE)“ hochladen; Fortschritt überwachen
4. **Abschluss** — Ende des Updates abwarten; EtherCAT-Zustandsmaschine in den Zustand Init schalten; der Antrieb startet neu, prüft und lädt die neue Firmware (ca. 1 Minute)

4.5 Optimierung der Regelung

4.5.1 Optimierung der Regelbandbreite

Die **Bandbreite des Stromreglers** bestimmt, wie schnell der Antrieb auf äussere Störungen reagiert — etwa plötzliche Laständerungen, Reibung oder mechanische Stösse. Eine höhere Bandbreite führt zu schnellerer Störausregelung und steiferer Drehmomentregelung. Sie erhöht **nicht** die Höchstdrehzahl; diese wird durch die übergeordneten Drehzahl- und Lageregelkreise bestimmt.

Umgebung / Last	Strom-BW	Störungscharakteristik
Positionierung mit geringen Störungen	300 Hz	Konstante Last, kaum äussere Kräfte, ruhige Bewegung hat Vorrang

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

Standard-Automatisierung	500 Hz	Mässige Lastschwankungen, typische Pick-and-Place- oder Förderanwendungen
Anwendungen mit starken Störungen	800 Hz	Veränderliche oder stossartige Lasten, schnelle Ausregelung äusserer Kräfte erforderlich

Die Bandbreite des Lagereglers sollte etwa **1/20 der Stromreglerbandbreite** betragen. Bei einer Strombandbreite von 500 Hz sollte die Lagebandbreite also bei rund 25 Hz liegen. Die Bandbreite des Drehzahlreglers wird aus der Lagebandbreite abgeleitet und muss nicht manuell eingegeben werden.

EMPFEHLUNG
Beginnen Sie mit vorsichtigen Einstellungen und erhöhen Sie die Bandbreite schrittweise, während Sie die Stabilität des Systems beobachten. Eine unnötig hohe Strombandbreite kann elektrisches Rauschen verstärken.

4.6 Konfiguration der digitalen E/A

4.6.1 Digitale Ein-/Ausgänge

Pin	Funktion	Typ	Beschreibung	Spannung
DI1	Digitaleingang 1	Eingang	Allgemein verwendbar; negativer Endschalter (Modi 15 / 17)	24 V / 0 V
DI2	Digitaleingang 2	Eingang	Allgemein verwendbar; positiver Endschalter (Modi 16 / 18)	24 V / 0 V

Merkmale der Digitaleingänge:

- **Pull-up-Widerstände** für eine zuverlässige Signalerkennung
- **Entprellte Eingänge**, Signal muss 5 Zyklen stabil anliegen
- **Polaritätsumkehr** über die EtherCAT-Konfiguration einstellbar
- **Positions-Latch** zur präzisen Positionserfassung

4.6.2 Positions-Latch

Der HDrive verfügt über ein **Positions-Latch**, das die exakte Motorposition beim Auslösen durch ein digitales Eingangssignal erfasst. Diese Funktion ist wichtig für präzise Positionieraufgaben und die Erkennung von Referenzpunkten.

4.6.2.1 Auslösemodi

Auslösemodus	Beschreibung	EtherCAT-Wert
Steigende Flanke	Löst beim Wechsel des Eingangs von LOW auf HIGH aus	1
Fallende Flanke	Löst beim Wechsel des Eingangs von HIGH auf LOW aus	2
Beide Flanken	Löst bei steigender und fallender Flanke aus	Beide Modi

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

4.6.2.2 Details zur Umsetzung

- **Entprellung:** Die geforderte Stabilität über 5 Zyklen verhindert Fehlauslösungen durch elektrische Störungen
- **Positionserfassung:** Erfasst die Position mit hoher Präzision (Auflösung 1/10 Grad)
- **Auslösequelle:** Speichert, welcher Eingang und welche Flanke das Latch ausgelöst hat
- **Latch-Reset:** Manuelles Zurücksetzen über das EtherCAT-Objektverzeichnis

4.6.2.3 Einträge im EtherCAT-Objektverzeichnis

Objekt	Name	Datentyp	Beschreibung
0x6667	Latch Position 1	DINT (32-bit)	Erfasste Position von DI1
0x6668	Latch Trigger Source 1	SINT (8-bit)	Auslösequelle (1 = steigend, 2 = fallend)
0x6669	Latch Reset 1	SINT (8-bit)	Latch 1 zurücksetzen (1 schreiben)
0x6670	Latch Position 2	DINT (32-bit)	Erfasste Position von DI2
0x6671	Latch Trigger Source 2	SINT (8-bit)	Auslösequelle (1 = steigend, 2 = fallend)
0x6672	Latch Reset 2	SINT (8-bit)	Latch 2 zurücksetzen (1 schreiben)

4.6.2.4 Anwendungsbeispiel

1. **Auslösemodus konfigurieren** über den EtherCAT-Master
2. **Sensor anschliessen** an DI1 oder DI2 (z. B. Näherungsschalter, Encoder-Indexsignal)
3. **Latch-Status überwachen** über die EtherCAT-Objekte
4. **Erfasste Position auslesen**, sobald das Latch ausgelöst hat
5. **Latch zurücksetzen**, um die nächste Erfassung freizugeben

> **HINWEIS**
> Pro Reset-Zyklus wird nur ein Latch-Ereignis erfasst. Das Latch muss manuell zurückgesetzt werden, bevor eine neue Position erfasst werden kann.

4.7 EtherCAT-Objektzuordnung

4.7.1 Sollwertobjekte (vom EtherCAT-Master geschrieben)

Objekt	Name	Datentyp	Beschreibung	Betriebsart
0x607A	Target Position	DINT (32-bit)	Sollposition in 1/10 Grad	Lage
0x60FF	Target Velocity	DINT (32-bit)	Sollgeschwindigkeit in deg/s	Drehzahl
0x6071	Target Torque	INT (16-bit)	Solldrehmoment in mNm	Drehmoment
0x6060	Mode of Operation	SINT (8-bit)	Wahl der Betriebsart	Alle

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

4.7.2 Reglerparameter-Objekte (Konfiguration)

Objekt	Name	Beschreibung	Einheit
0x6660	Cascade Control	P/I-Verstärkungen aller Regler	Diverse
0x6660.1	Current P-Gain	Proportionalverstärkung Stromregler	A/A
0x6660.2	Current I-Gain	Integralverstärkung Stromregler	A/(A·s)
0x6660.4	Speed P-Gain	Proportionalverstärkung Drehzahlregler	A/RPM
0x6660.5	Speed I-Gain	Integralverstärkung Drehzahlregler	A/(RPM·s)
0x6660.6	Position P-Gain	Proportionalverstärkung Lageregler	RPM/°

4.7.3 Istwertobjekte (vom EtherCAT-Master gelesen)

Objekt	Name	Datentyp	Beschreibung
0x6064	Position Actual	DINT (32-bit)	Aktuelle Position in 1/10 Grad
0x606C	Velocity Actual	DINT (32-bit)	Aktuelle Geschwindigkeit in deg/s
0x6077	Torque Actual	INT (16-bit)	Aktuelles Drehmoment in mNm
0x6041	Status Word	UINT (16-bit)	Motorstatus und Fehlerbits

4.7.4 Wahl der Betriebsart (Objekt 0x6060)

Die Zahlenwerte für die Modi **1**, **3**, **4**, **6** und **8** entsprechen CiA 402 (siehe Firmware `IOperationMode.h`).

Wert	CiA 402 / Name	Verhalten beim HDrive-ETC
1	Profile Position (PP)	Interner **Bahnplaner** (`Motion`): Zielposition 0x607A (sowie Profilgeschwindigkeit, -beschleunigung und -verzögerung) werden mit der steigenden Flanke von Steuerwort-**Bit 4** (neuer Sollwert) übernommen. Ein neuer Sollwert ersetzt eine laufende Bewegung immer sofort (Bit 5 wird derzeit ignoriert). Statuswort Bit 12 = Sollwert quittiert, Bit 10 = Ziel erreicht (Fenster 0x6067). Nur Absolutpositionierung.
3	Profile Velocity (PV)	Profil- bzw. begrenzte Drehzahlregelung.
4	Profile Torque (PT)	Drehmoment-/Strommodus.
6	Homing (CiA 402)	Führt die Methode in **0x6098** aus (unterstützt: **15–18**, gleicher Ablauf wie die Modi 15–18). Steigende Flanke an Steuerwort-Bit 4 startet die Referenzfahrt; Statuswort Bit 12 = referenziert, Bit 13 = Fehler.
8	Cyclic Sync Position (CSP)	Kein interner Profilgenerator: **0x607A** wird **in jedem EtherCAT-Zyklus** als Lagesollwert übernommen (Firmware `AXIS_STATE_MOTORMODE_POSITION_NOPP`). Einsatz mit TwinCAT **NC / CSP** (oder jedem Master, der Positionen zyklisch vorgibt). In Feldbus-Tools auch als **zyklische Position** / zyklischer NC-Sollwert bezeichnet.

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

15	Neg. Endschalter, erweitert	Sucht **DI1** in negativer Richtung; Anwender-Nullpunkt bei Encoder 0° nach Verlassen des Schalters.
16	Pos. Endschalter, erweitert	Sucht **DI2** in positiver Richtung; Anwender-Nullpunkt bei Encoder 0° nach Verlassen des Schalters.
17	Neg. Endschalter, einfach	Sucht **DI1** in negativer Richtung; Anwender-Nullpunkt an der **Öffnungsflanke** des Schalters.
18	Pos. Endschalter, einfach	Sucht **DI2** in positiver Richtung; Anwender-Nullpunkt an der **Öffnungsflanke** des Schalters.
−99	Kalibrierung	Encoder- bzw. Welligkeitskalibrierung (der Motor muss sich so bewegen können, wie es die Routine erfordert).

4.7.4.1 Positionierung: Modus 1 (PP) vs. Modus 8 (CSP)

Aspekt	Modus 1 — Profile Position (PP)	Modus 8 — Cyclic Sync Position (CSP)
Objekt 0x6060	`1`	`8`
Bahnplaner	Ja — Profil im Antrieb (`Motion + OperationModeProfilePosition`)	Nein — Sollwert vom Master in jedem Zyklus
Typischer Master	SPS / einfacher Master; Ziel + Grenzwerte; keine zyklische NC	TwinCAT NC / CSP oder vergleichbare zyklische Lagevorgabe
Sollposition (0x607A)	Ziel für den internen Bahnplaner	Direkter Sollwert in jedem Zyklus

> **HINWEIS**
> Die zyklische Lagevorgabe der Beckhoff **NC** verwendet CiA 402 **CSP → 8**. Punkt-zu-Punkt-Bewegungen mit Rampen im Antrieb → **1**.

4.8 Endschalter-Referenzfahrt (Modi 15–18)

Diese vier Modi bilden die Endschalter-Referenzfahrt des Antriebs. Sie können direkt gewählt werden oder über den CiA-402-Referenzfahrtmodus **6** mit der Methode (**15–18**) in Objekt **0x6098**. Der Wellenencoder ist über eine mechanische Umdrehung (360°) absolut; der Schalter dient dazu, eine mechanische Flanke zu finden und im einfachen Modus den Anwender-Nullpunkt festzulegen.

4.8.1 Eingangszuordnung und Polarität

Modus	Richtung	Digitaleingang	Nullpunkt nach Referenzfahrt
15	Negativ	DI1 — Objekt **0x6691** (Bit 0 von **0x60FD**)	Encodermagnet 0° (erweitert)
16	Positiv	DI2 — Objekt **0x6692** (Bit 1 von **0x60FD**)	Encodermagnet 0° (erweitert)

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

17	Negativ	DI1 — Objekt **0x6691** (Bit 0 von **0x60FD**)	Öffnungsflanke des Schalters (einfach)
18	Positiv	DI2 — Objekt **0x6692** (Bit 1 von **0x60FD**)	Öffnungsflanke des Schalters (einfach)

Die Referenzfahrt-Logik wertet dieselben aufbereiteten Eingänge aus wie die CoE-Objekte: Pin-Tausch je nach Hardware-Revision (Rev. ≥ 2), 500-Hz-Filter und Polarität **0x60FE**.

Objekt	Wert	Schalter aktiv, wenn
0x60FE	`0` (Standard)	Low-aktiv: physisch Low (Eingang gegen GND gezogen) gilt als aktiv (`1` in **0x6691** / **0x6692**).
0x60FE	`1`	High-aktiv: physisch High gilt als aktiv.

Ein Eingang gilt als **betätigt**, wenn das zugehörige Objekt `1` ist.

4.8.2 Ablauf (für 15–18 identisch, bis der Schalter wieder geöffnet ist)

Die erste Berührung des Schalters ist **nicht** der Haltepunkt. Der Motor kehrt immer um und hält erst an (bzw. fährt im erweiterten Modus weiter), nachdem der Schalter wieder **geöffnet** hat.

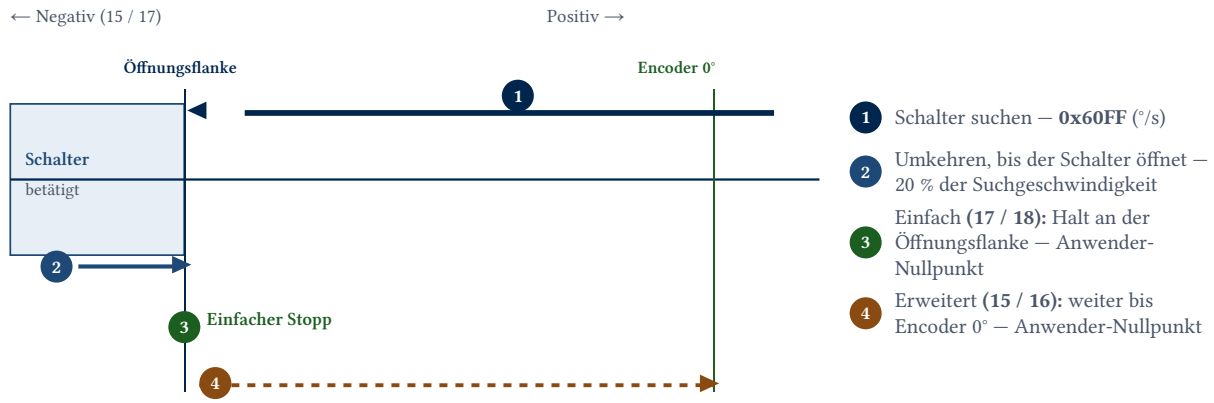


*Abbildung 2: Endschalter-Referenzfahrt in negativer Richtung (Modi **15** / **17**). Die positiven Modi **16** / **18** laufen spiegelbildlich ab. Schritt **3** beendet die einfache Referenzfahrt; Schritt **4** gilt nur für den erweiterten Modus.*

1. Antrieb freigeben (CiA 402 **Operation enabled**).
2. Suchgeschwindigkeit in **0x60FF** setzen (in °/s, siehe unten), danach **0x6060** auf **15**, **16**, **17** oder **18** schreiben.
3. **Suche:** Der Antrieb fährt mit Suchgeschwindigkeit auf den Schalter zu, bis der Eingang aktiv ist (entprellt, 1 ms).
4. **Umkehr** mit niedriger (Rückfahr-)Geschwindigkeit.
5. Ist der Schalter bereits wieder offen (Überfahren): erneut mit Rückfahrgeschwindigkeit anfahren, bis er aktiv ist.
6. **Schalter verlassen:** mit Rückfahrgeschwindigkeit **vom Schalter weg** fahren, bis der Eingang inaktiv ist (entprellt). Dies ist die **Öffnungsflanke**.
7. **Einfach (17 / 18):** Motor abschalten, ca. 100 ms warten, aktuellen Winkel als Positionsoffset speichern. Die Anwenderposition (**0x6064**) ist danach an dieser Öffnungsflanke 0.

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

8. **Erweitert (15 / 16): Nicht** an der Öffnungsflanke anhalten. Mit Rückfahrgeschwindigkeit in derselben Richtung weiterfahren, bis der Absolutencoder innerhalb von ca. 1° um Magnet 0° liegt, dann den Positionsfilter zurücksetzen. Anwender-Nullpunkt ist Encoder 0°, nicht der Schalter. Liegt die Öffnungsflanke bereits so nahe an Encoder 0°, bricht der Ablauf mit Fehler **50** ab.
9. Bei Erfolg bleibt der Motor abgeschaltet, **0x6060** bleibt auf **15–18**, und das interne Flag „Referenzfahrt abgeschlossen“ wird gesetzt. Für eine erneute Referenzfahrt **0x6060** auf einen anderen Modus und wieder zurück setzen.

Die Zeitüberschreitung beträgt **5 Minuten**. Wird der Schalter nicht gefunden, wird der Motor abgeschaltet und Fehler **25** (Endschalter-Zeitüberschreitung) gesetzt.

4.8.3 Such- und Rückfahrgeschwindigkeit

Für die Referenzfahrgeschwindigkeit gibt es **ein einziges** Sollwertobjekt. Die Rückfahrgeschwindigkeit wird daraus abgeleitet und kann nicht separat eingestellt werden.

Objekt	Funktion	Verhalten
0x60FF	Target Velocity	Legt die **Suchgeschwindigkeit** zum Schalter fest, Einheit °/s (gleiches Objekt und gleiche Skalierung wie Profilgeschwindigkeit, Modus **3**). Das **Vorzeichen wird ignoriert**; die Richtung ergibt sich aus dem Modus (15/17 bzw. 16/18). Die Getriebeübersetzung wird berücksichtigt.
—	Rückfahr- / Schleichgeschwindigkeit	Immer **20 %** der Suchgeschwindigkeit. Wird verwendet, nachdem der Schalter gefunden wurde: Umkehr, erneutes Anfahren nach Überfahren, Verlassen bis zum Öffnen und (nur im erweiterten Modus) Schleichfahrt bis Encoder 0°.

Ist **0x60FF** gleich `0` oder liegt die umgerechnete Suchgeschwindigkeit unter 1 RPM, verwendet die Firmware eine Standard-Suchgeschwindigkeit von **50 RPM** (Rückfahrgeschwindigkeit 10 RPM).

> **HINWEIS**
> Objekt **0x6099** (Homing Speed, Subindizes „search for switch“ / „search for zero“) ist im Objektverzeichnis vorhanden, wird aber von den Modi 15–18 **nicht** verwendet. Über diese Subindizes lässt sich die Referenzfahrgeschwindigkeit nicht ändern.

4.8.4 Einfach oder erweitert — welcher Nullpunkt?

Beide Modi verwenden dieselbe Schaltersuche. Sie unterscheiden sich **nicht** darin, wie genau die Schalterflanke erfasst wird.

- **Einfach (17 / 18):** Anwender-Nullpunkt = mechanische **Öffnungsflanke** des Endschalters. Verwenden, wenn der Schalter die Maschinenreferenz ist (Verfahrwegende, Vorrichtung). Die Wiederholgenauigkeit entspricht der des Schalters (Hysterese, Montage, Anfahrgeschwindigkeit).
- **Erweitert (15 / 16):** Anwender-Nullpunkt = Magnet 0° des Absolutencoders (ein Inkrement in 360°). Der Schalter bestimmt nur die Seite bzw. die Umdrehung; danach dient er nicht mehr als Nullpunkt. Es handelt sich **nicht** um eine genauere Messung derselben Flanke. Bei einer Achse mit Getriebe oder Linearachse kann der Motor nach dem Schalter fast eine volle Motorumdrehung zurücklegen, bis Encoder 0° erreicht ist.

Der Encoder ist bereits über 360° absolut. Der erweiterte Modus verbessert die Encoderauflösung nicht; er wählt lediglich eine andere Referenz.

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

4.8.5 Typischer Ablauf auf der Master-Seite

1. Polarität **0x60FE** passend zur Schalterverdrahtung einstellen; **0x6691** / **0x6692** beim Betätigen des Schalters kontrollieren.
2. Suchgeschwindigkeit in °/s in **0x60FF** schreiben (oder 0 lassen für den Standardwert von 50 RPM).
3. **Switch on** / **Enable operation**, danach **0x6060** = **17** schreiben (Beispiel: negativ, einfach).
4. Warten, bis der Motor stillsteht. Die Anwenderposition **0x6064** sollte ≈ 0 (einfach) bzw. auf den Encoder ausgerichtet (erweitert) sein.
5. **0x6060** auf die gewünschte Betriebsart umschalten (**1** oder **8**).

Bewegung während der Referenzfahrt
Die Achse bewegt sich selbsttätig, bis der Ablauf beendet ist oder die Zeitüberschreitung eintritt. Stellen Sie sicher, dass der Verfahrweg zum Schalter frei ist. Bei fehlendem oder invertiertem Schalter fährt die Achse bis zur Zeitüberschreitung von 5 Minuten.

4.9 Bandbreitenbasierte Parameterberechnung

Der HDrive-ETC verfügt über eine **automatische Parameterberechnung**, die aus den vom Anwender vorgegebenen Bandbreiten optimale Reglerparameter ableitet.

4.9.1 Objekte zur Bandbreitenkonfiguration

Objekt	Name	Beschreibung	Einheit
0x6640	Control Bandwidth	Bandbreiten aller Regler	—
0x6640.1	Current BW	Bandbreite Stromregler (300–1000)	Hz
0x6640.2	Speed BW	Bandbreite Drehzahlregler (10–30)	Hz
0x6640.3	Position BW	Bandbreite Lageregler (10–30)	Hz

4.9.2 Objekte zur Dämpfungskonfiguration

Objekt	Name	Beschreibung	Einheit
0x6620	Motor Dynamic	Dämpfungsfaktoren aller Regler	—
0x6620.1	Current Damping	Dämpfung Stromregler	%
0x6620.2	Speed Damping	Dämpfung Drehzahlregler	%
0x6620.3	Position Damping	Dämpfung Lageregler	%

4.9.3 Automatische Parameteraktualisierung

Trigger-Objekt: 0x6637 — Trigger New Parameter Calculation

- **1 schreiben:** Startet die automatische Parameterberechnung. Liest die aktuellen Bandbreiten- und Dämpfungseinstellungen, berechnet optimale Verstärkungen und aktualisiert alle Regler.
- **2 schreiben:** Speichert die aktuellen Parameter im EEPROM (nichtflüchtig), damit sie nach einem Neustart erhalten bleiben.

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

- **3 schreiben:** Stellt die Werkseinstellungen wieder her und speichert sie im EEPROM.

Diese Aktionen werden unmittelbar nach dem Schreiben des Trigger-Werts wirksam.

4.9.4 Parameterintegrität (CRC)

Objekt **0x66F1 — Parameter integrity** (nur lesbar) liefert einen CRC-16-Fingerabdruck aller gespeicherten Anwenderparameter (Motor-, Regler- und Inbetriebnahmedaten im EEPROM-Block der Motorkonfiguration). Die LUTs für Encoder und Drehmomentwelligkeit haben eine eigene CRC und sind **nicht** enthalten.

Subindex	Name	Typ	Beschreibung
0x66F1:0	Number of entries	USINT	Immer 3
0x66F1:1	Live CRC	UINT	CRC des aktuellen Parametersatzes (RAM / OD)
0x66F1:2	NVM CRC	UINT	CRC des zuletzt gespeicherten EEPROM-Abbilds
0x66F1:3	Match	USINT	`1` = Live entspricht NVM; `0` = ungespeicherte Änderungen

- Nach der Inbetriebnahme die **Live CRC** dokumentieren (z. B. im Prüfprotokoll zur Seriennummer), damit spätere Änderungen erkennbar sind (CRA / Konfigurationsintegrität).
- Jede Änderung eines Anwenderparameters aktualisiert die **Live CRC**. **Match** bleibt `0`, bis mit **0x6637 = 2** gespeichert wird.
- Die Web-GUI zeigt dieselben Werte unter **Maintenance → Configuration integrity** an.

Konfiguration übernehmen (Web-GUI). Unter **Maintenance → Configuration integrity** schreibt die Schaltfläche **Commit configuration** den Wert `0x6637 = 2` (aktuelle Anwenderparameter im EEPROM speichern und neu starten). Damit wird die aktuelle Live CRC zur beabsichtigten NVM-Referenz. Nach dem Neustart gilt **Match = yes**. Mit **Refresh CRC** wird `0x66F1` erneut gelesen, ohne zu speichern.

Farben der Parameterfelder (Web-GUI).

Darstellung	Bedeutung
Orange Schrift + orangefarbener Balken links	Lokal bearbeitet — noch nicht ins RAM des Antriebs geschrieben
Grüne Schrift + bernsteinfarbener Balken links + Kennzeichnung `not in EEPROM`	Vom Antrieb ins RAM übernommen — noch nicht im EEPROM gespeichert
Standarddarstellung	Entspricht der zuletzt übernommenen EEPROM-Referenz

Mit **Enter** in einem Einstellungsfeld (oder über **Save → save to session**) wird der Wert ins RAM geschrieben; das Feld wird grün. Dauerhaft speichern mit **Commit configuration** (oder **Save → save to EEPROM and restart**).

4.9.5 Richtwerte für die Bandbreite

Regler	Typischer Bereich	Empfohlen	Anwendung

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

Strom	100–1000 Hz	500 Hz	Hohe Präzision, schnelles Ansprechen
Drehzahl	10–50 Hz	50 Hz	Ruhiger Lauf, gutes Folgeverhalten
Lage	1–30 Hz	20 Hz	Stabile Positionierung, minimales Überschwingen

4.9.6 Richtwerte für den Dämpfungsfaktor

Regler	Typischer Bereich	Empfohlen	Wirkung
Strom	50–100%	70%	Schnelles Einschwingen, minimales Überschwingen
Drehzahl	50–100%	70%	Weiche Drehzahlübergänge
Lage	100–150%	70%	Stabile Positionierung, keine Schwingungen

4.9.7 Erforderliche Motorparameter

Parameter	Beschreibung	Einheit
Widerstand	Gleichstromwiderstand der Wicklung	mΩ
Induktivität	Wicklungsinduktivität	µH
Drehmomentkonstante	Drehmoment pro Ampere	mNm/A
Resonanzfrequenz	Mechanische Resonanz	Hz
Trägheitsmoment	Trägheitsmoment des Rotors	g·cm²
Dämpfung	Mechanische Dämpfung	µN·m·s/rad

HINWEIS
Die Parameterberechnung begrenzt die Bandbreiten automatisch anhand der Hardwaregrenzen und der Stabilitätsanforderungen der Regelkreise, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

4.9.8 Einstellparameter der Regelung

Parameter	Objekt	Beschreibung	Einheit
Trägheitsmoment	0x6633:01	Trägheitsmoment des Rotors	g·cm²
Dämpfung	0x6634:01	Mechanische Dämpfung	µN·m·s/rad
Strom-BW	0x6640:01	Bandbreite Stromregelung	Hz
Drehzahl-BW	0x6640:02	Bandbreite Drehzahlregelung	Hz
Lage-BW	0x6640:03	Bandbreite Lageregelung	Hz

4.9.9 Vorgehen bei der Reglereinstellung

1. **Mit niedrigen Bandbreiten beginnen** — vorsichtige Startwerte wählen:
   - Strombandbreite: 400 Hz

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

- Lagebandbreite: 15 Hz

2. **Erster Test** — den Motor im Reversierbetrieb zwischen zwei Positionen hin- und herfahren lassen.
3. **Trägheitsmoment anpassen** — den **Parameter Trägheitsmoment** sorgfältig so einstellen, dass der Lageregelkreis **nicht überschwingt**. Ziel ist eine ruhige Bewegung ohne Schwingen oder Nachschwingen.
4. **Bandbreite für mehr Dynamik erhöhen** — sobald das Trägheitsmoment gut eingestellt ist, die Bandbreiten schrittweise erhöhen, um ein schnelleres Ansprechverhalten zu erzielen.

EMPFEHLUNG
Nehmen Sie nur kleine, schrittweise Änderungen vor und testen Sie jedes Mal erneut, um eine stabile und zuverlässige Bewegung zu erhalten.

4.10 EtherCAT-Objektverzeichnis

Das **EtherCAT-Objektverzeichnis** enthält alle konfigurierbaren Parameter und Statusinformationen des HDrive-ETC.

4.10.1 Aufbau des Objektverzeichnisses

Kategorie	Beschreibung	Zugriff
Aktuelle Motordaten	Motorstatus und Messwerte in Echtzeit	Nur lesen
Sollwerte	Sollwerte vom EtherCAT-Master	Nur schreiben
Regelwerte	Reglerparameter und Einstellung	Lesen/Schreiben
Gespeicherte Werte	Systemkonfiguration und nichtflüchtige Daten	Lesen/Schreiben
Motorsystemwerte	Motorspezifische Parameter und Grenzwerte	Lesen/Schreiben

4.10.2 Parameter der Lageregelung

Parameter	Objekt-ID	Beschreibung	Einheit	Bereich
P-Verstärkung Lage	posPCas	Proportionalverstärkung	—	0–1000
Max. Lagegeschwindigkeit	posMaxSpeedCas	Maximale Regelgeschwindigkeit	RPM	0–2000
Max. Anstiegsrate	posMaxSlewRateCas	Maximale Positionsänderungsrate	deg/s	0–360
Lage-Vorfilter	posPreFilter	Filterfrequenz des Lagesollwerts	Hz	1–1000
Vorsteuerfilter	posFFFilter	Filterfrequenz der Vorsteuerung	Hz	1–1000

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

4.10.3 Parameter der Drehzahlregelung

Parameter	Objekt-ID	Beschreibung	Einheit	Bereich
P-Verstärkung Drehzahl	speedPCas	Proportionalverstärkung	—	0–1000
I-Verstärkung Drehzahl	speedICas	Integralverstärkung	—	0–1000
Vorsteuerung Drehzahl	speedFgCas	Vorsteuerverstärkung	—	0–100
Gegen-EMK Drehzahl	speedKbCas	Verstärkung Gegen-EMK-Kompensation	—	0–100
I-Max Drehzahl	speedImaxCas	Maximaler Integratorwert (Anti-Windup)	A	0–5

4.10.4 Parameter der Stromregelung

Parameter	Objekt-ID	Beschreibung	Einheit	Bereich
P-Verstärkung Strom	currPCas	Proportionalverstärkung	—	0–1000
I-Verstärkung Strom	currICas	Integralverstärkung	—	0–1000
Gegen-EMK Strom	currKbCas	Verstärkung Gegen-EMK-Kompensation	—	0–100
Regelbandbreite	currentCtrlBW	Bandbreite Stromregelung	Hz	100–2000
Dämpfungsfaktor	currentCtrlDF	Dämpfung Stromregelung	—	0,1–2,0

4.10.5 Fehlercodes (0x603F)

Die vollständige Liste der Herstellerfehler (Objekt **0x603F**) finden Sie in Abschnitt 5.1.

4.11 Prozessdatenobjekte (PDOs)

4.11.1 RxPDO (Master → Slave) — Steuerbefehle

Objekt	Beschreibung	Datentyp	Einheit
Steuerwort (0x6040)	Befehle an den Zustandsautomaten	UINT16	—
Sollposition (0x607A)	Lagesollwert	INT32	0,1°
Sollgeschwindigkeit (0x60FF)	Geschwindigkeitssollwert	INT32	deg/s
Solldrehmoment (0x6071)	Drehmomentsollwert	INT16	mNm

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

4.11.2 TxPDO (Slave → Master) — Statusinformationen

Objekt	Beschreibung	Datentyp	Einheit
Statuswort (0x6041)	Systemstatus und Fehler	UINT16	—
Istposition (0x6064)	Aktuelle Position	INT32	0,1°
Istgeschwindigkeit (0x606C)	Aktuelle Geschwindigkeit	INT32	deg/s
Istdrehmoment (0x6077)	Aktuelles Drehmoment	INT16	mNm
Iststrom (0x6078)	Motorstrom	INT16	mA
Isttemperatur (0x6079)	Systemtemperatur	INT16	0,1 °C

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

5 Fehlerbehebung & Instandhaltung

5.1 Fehlercodes

Objekt **0x603F** enthält die Herstellerfehlernummer des HDrive (derselbe Wert dezimal und hexadezimal, z. B. 50 = `0x32`).

Code	Beschreibung	Massnahme	Schweregrad
0 / `0x00`	Kein Fehler	Normalbetrieb	Info
1 / `0x01`	Programmfehler (Nullzeiger)	Support kontaktieren / Firmware aktualisieren	Kritisch
15 / `0x0F`	Positionsüberlauf / -unterlauf	Positionsreferenz zurücksetzen	Warnung
16 / `0x10`	Übertemperatur	Kühlung prüfen, Last reduzieren	Kritisch
17 / `0x11`	Unterspannung	DC-Versorgung prüfen (≥ 9 V)	Kritisch
18 / `0x12`	Überspannung	DC-Versorgung / Bremsenergie prüfen	Kritisch
19 / `0x13`	Überdrehzahl	Drehzahlvorgabe reduzieren / Last prüfen	Kritisch
20 / `0x14`	Positive Software-Endlage	Grenzwerte oder Ziel anpassen	Warnung
21 / `0x15`	Negative Software-Endlage	Grenzwerte oder Ziel anpassen	Warnung
22 / `0x16`	Negativer Endschalter ausgelöst	Verfahrweg freifahren / Polarität DI1 prüfen	Warnung
23 / `0x17`	Positiver Endschalter ausgelöst	Verfahrweg freifahren / Polarität DI2 prüfen	Warnung
25 / `0x19`	Endschalter-Zeitüberschreitung	Schalter nicht innerhalb von 5 min gefunden; DI, Polarität und Verfahrweg prüfen	Fehler
26 / `0x1A`	Fehler Positionssensor	Encoderanschluss prüfen	Kritisch
27 / `0x1B`	Fehler Leistungsendstufe	Leistungselektronik / DRV prüfen	Kritisch
28 / `0x1C`	Watchdog-Zeitüberschreitung	System-Reset erforderlich	Kritisch

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

30 / `0x1E`	SPI-Fehler Positionssensor	SPI-Kommunikation prüfen	Fehler
31 / `0x1F`	Kalibrierfehler	System neu kalibrieren	Fehler
33 / `0x21`	Konfigurationsfehler	Parametereinstellungen prüfen	Fehler
37 / `0x25`	Hardware nicht kompatibel	Hardware-Revision prüfen	Kritisch
38 / `0x26`	EtherCAT-Verbindung unterbrochen	Kabel / Master-Zustand OP prüfen	Fehler
50 / `0x32`	Endschalter: Mindestabstand zu Encoder 0° unterschritten	Nur erweiterte Referenzfahrt 15/16: Öffnungsflanke lag innerhalb von ca. 1° um Magnet 0°. Einfachen Modus 17/18 verwenden oder Schalter versetzen	Fehler
51 / `0x33`	Motormodus nicht vorhanden	Unterstützten Wert für 0x6060 wählen	Fehler
54 / `0x36`	Ungültige Bahnplaner-Einstellungen	0x6083 / 0x6084 > 0 setzen	Fehler
55 / `0x37`	Referenzfahrtmethode nicht unterstützt	Vor dem Start von Modus 6 in 0x6098 einen Wert von 15–18 setzen	Fehler

Hinweise zur Referenzfahrt: Die Methoden **15/16** sind erweitert (Nullpunkt bei Encoder 0°), **17/18** sind einfach (Nullpunkt an der Öffnungsflanke des Schalters). Die Statuswort-Bits 12/13 (referenziert / Fehler) gelten nur im CiA-Referenzfahrtmodus **6** — nicht, wenn 15–18 direkt in `0x6060` gewählt werden.

5.2 Diagnose

5.2.1 Kommunikationsprobleme

Symptom	Mögliche Ursache	Abhilfe
EtherCAT-Kommunikation unterbrochen	Problem mit dem Netzwerkkabel	Kabelverbindungen und Kabelzustand prüfen
Sporadische Kommunikationsausfälle	EMV-Störungen	EMV-Filter einsetzen, Erdung prüfen
Träge Reaktion	Netzwerküberlastung	EtherCAT-Zykluszeit optimieren
Teilnehmer nicht gefunden	Falsche Adressierung	Konfiguration der Teilnehmeradresse prüfen

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

5.2.2 Probleme mit dem Regelverhalten

Symptom	Mögliche Ursache	Abhilfe
Überschwingen der Position	Falsch eingestelltes Trägheitsmoment	Trägheitsmoment anpassen
Schwingungen	Ungeeignete Bandbreite	Systembandbreite ändern
Träges Ansprechverhalten	Zu niedrige Bandbreite	Regelbandbreite erhöhen

5.2.3 Motorprobleme

Symptom	Mögliche Ursache	Abhilfe
Starke Erwärmung	Hoher Strom	Last prüfen, Stromgrenzen reduzieren

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

6 Technische Daten

6.1 Elektrische Daten

6.1.1 Spannungsversorgung

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkungen
Versorgungsspannung V_s	24	V DC	Nennbetriebsspannung
Versorgungsspannung V_p	24–48	V DC	Nennbetriebsspannung
Spannungstoleranz	±10%	V DC	Betriebsbereich
Stromaufnahme V_s	0,5	A	Maximaler Dauerstrom
Stromaufnahme V_p	1,0	A	Maximaler Dauerstrom
Leistungsaufnahme	36	W	Maximale Leistungsaufnahme
Leistungsfaktor	>0,9	—	Energieeffizienz

6.1.2 Kommunikation

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkungen
Protokoll	EtherCAT	—	Echtzeitkommunikation
Datenrate	100	Mbps	Ethernet-Geschwindigkeit
Zykluszeit	1	ms	Typische Aktualisierungsrate
Teilnehmeradresse	0–65535	—	Konfigurierbar

6.1.3 Encoder

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkungen
Auflösung	16 384	Inkr./U	14-Bit-Auflösung
Genauigkeit	±0,1	°	Positioniergenauigkeit
Typ	Magnetisch	—	Berührungslose Erfassung
Kalibrierung	Werkseitig	—	Vorkalibriert

6.1.4 Regelgüte

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkungen
Positioniergenauigkeit	±0,1	°	Statische Positioniergenauigkeit

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

Wiederholgenauigkeit	±0,05	°	Wiederholgenauigkeit der Position
Bandbreite Stromregelung	100–1000	Hz	Einstellbare Bandbreite
Bandbreite Lage-/Drehzahlregelung	10–30	Hz	Einstellbare Bandbreite

6.1.5 Echtzeitverhalten

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkungen
ADC-Abtastrate	20	kHz	Strommessung
Regeltakt	20	kHz	Stromregelung
Lageregeltakt	2	kHz	Lageregelung
Takt Zustandsautomat	2	kHz	System-Zustandsautomat
Min. EtherCAT-Zyklus	50	µs	Kommunikationszyklus

6.2 Umgebungsbedingungen

6.2.1 Betriebsbedingungen

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkungen
Betriebstemperatur	–10 bis +60	°C	Umgebungstemperatur
Lagertemperatur	–20 bis +80	°C	Ausser Betrieb
Luftfeuchtigkeit	5 bis 95	% r. F.	Nicht kondensierend
Aufstellhöhe	0 bis 2000	m	Über Meereshöhe

6.2.2 Schutzarten

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkungen
IP-Schutzart	IP40	—	Nur für Innenräume
EMV	Klasse A	—	Industrieumgebung
Sicherheit	CE-Kennzeichnung	—	EU-Konformität

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

6.3 Leistungsdaten

6.3.1 Drehmoment und Drehzahl

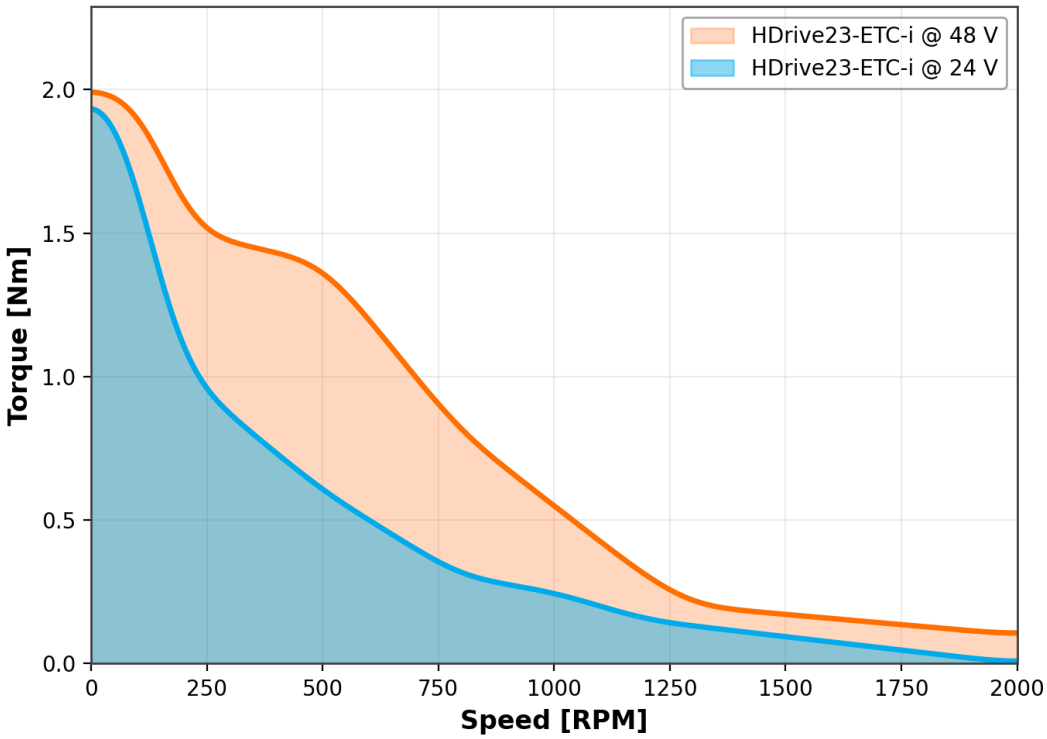


Abbildung 3: Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie HDrive-ETC-i

6.3.2 Mechanische Daten

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkungen
Gewicht	470	g	Gesamtgewicht
Abmessungen	Siehe Zeichnung	mm	Aussenabmessungen
Befestigung	M3 × 4	—	Befestigungsbohrungen
Steckverbinder	M8 A-codiert ×3	—	Versorgung, digitale E/A, EtherCAT; siehe Tabelle 1

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.

Support und Kontakt

Für technischen Support, aktualisierte Dokumentation oder Produktinformationen wenden Sie sich bitte an:

Henschel-Robotics GmbH
Mulchlingerstrasse 67
CH-8405 Winterthur, Schweiz

info@henschel-robotics.ch
https://www.henschel-robotics.ch

DOC-HD17-ETC-MAN · Rev. 1.5

© Henschel-Robotics. Alle Rechte vorbehalten.