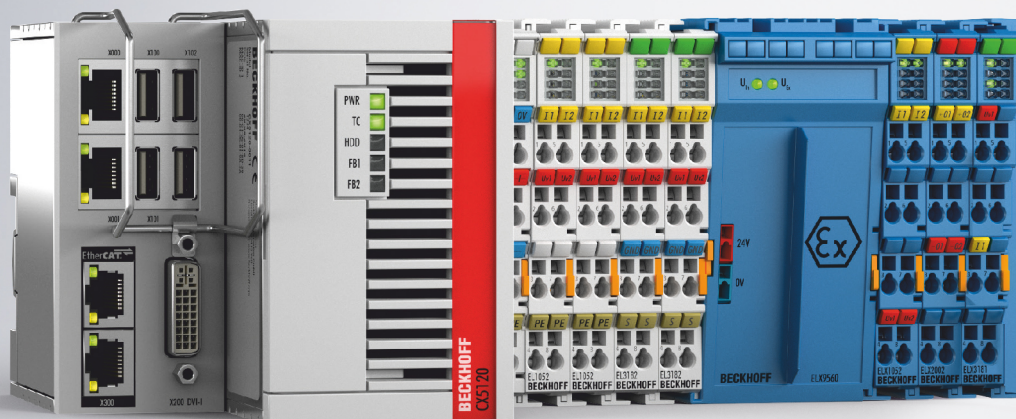


Betriebsanleitung | DE

ELX3351

Einkanalige Analog-Eingangsklemme für Widerstandsbrücke (DMS), Ex i



Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
1.1	Hinweise zur Dokumentation	5
1.2	Sicherheitshinweise	6
1.3	Ausgabestände der Dokumentation	7
1.4	Kennzeichnung von ELX-Klemmen	8
2	Produktübersicht	12
2.1	Einführung	12
2.2	Technische Daten	13
2.3	Bestimmungsgemäße Verwendung	15
3	Montage und Verdrahtung	16
3.1	Besondere Bedingungen für ELX-Klemmen	16
3.2	Installationshinweise für ELX-Klemmen	16
3.3	Anordnung von ELX-Klemmen im Busklemmenblock	18
3.4	Einbaulage und Mindestabstände	21
3.5	Tragschienenmontage von ELX-Klemmen	22
3.6	Anschluss	24
3.6.1	Anschlusstechnik	24
3.6.2	Verdrahtung	25
3.6.3	Ordnungsgemäßer Leitungsanschluss	26
3.6.4	Schirmung und Potentialtrennung	26
3.6.5	Anschlussbelegung und LEDs	27
3.7	Entsorgung	30
4	Grundlagen zur Funktion	31
4.1	EtherCAT-Grundlagen	31
4.2	Hinweise zu analogen Spezifikationen	31
4.2.1	Messbereichsendwert (MBE)	31
4.2.2	Messfehler / Messabweichung	31
4.2.3	Temperaturkoeffizient tK [ppm/K]	32
4.2.4	Typisierung SingleEnded / Differentiell	33
4.2.5	Gleichtaktspannung und Bezugsmasse (bezogen auf Differenzeingänge)	36
4.2.6	Spannungsfestigkeit	36
4.2.7	Zeitliche Aspekte der analog/digital Wandlung	37
4.3	Grundlagen der DMS-Technologie	40
5	Parametrierung und Programmierung	55
5.1	Grundlagen der Messfunktionen	55
5.1.1	Allgemeine Hinweise	55
5.1.2	Signalflussplan	57
5.1.3	Software-Filter	57
5.1.4	Dynamisches Filter	59
5.1.5	Gewichtsberechnung	60
5.2	Anwendungshinweise	60
5.2.1	Drahtbruchererkennung	60
5.2.2	InputFreeze	60

5.2.3	Schwerkraftanpassung	61
5.2.4	Ruheerkennung	62
5.2.5	Eichfähigkeit	62
5.3	Kalibrierung und Abgleich.....	62
5.3.1	Sensorkalibrierung	63
5.3.2	Selbstkalibrierung	65
5.3.3	Tarierung	66
5.3.4	Übersicht der Kommandos	66
5.4	Prozessdaten.....	66
5.4.1	Prozessdatenauswahl.....	67
5.4.2	Default-Prozessabbild.....	68
5.4.3	Varianten Predefined PDO	69
5.4.4	Sync Manager.....	70
5.5	ELX3351 - Objektbeschreibung und Parametrierung	71
5.5.1	Restore-Object.....	71
5.5.2	Konfigurationsdaten.....	72
5.5.3	Kommando-Objekt.....	73
5.5.4	Eingangsdaten.....	73
5.5.5	Ausgangsdaten.....	73
5.5.6	Informations-/Diagnostikdaten	74
5.5.7	Standardobjekte.....	74
6	Anhang	80
6.1	EtherCAT AL Status Codes	80
6.2	UL-Hinweise	80
6.3	FM-Hinweise.....	81
6.4	Support und Service	82

1 Vorwort

1.1 Hinweise zur Dokumentation

Zielgruppe

Diese Beschreibung wendet sich ausschließlich an ausgebildetes Fachpersonal der Steuerungs- und Automatisierungstechnik, das mit den geltenden nationalen Normen vertraut ist.

Zur Installation und Inbetriebnahme der Komponenten ist die Beachtung der Dokumentation und der nachfolgenden Hinweise und Erklärungen unbedingt notwendig.

Das Fachpersonal ist verpflichtet, für jede Installation und Inbetriebnahme die zu dem betreffenden Zeitpunkt veröffentlichte Dokumentation zu verwenden.

Das Fachpersonal hat sicherzustellen, dass die Anwendung bzw. der Einsatz der beschriebenen Produkte alle Sicherheitsanforderungen, einschließlich sämtlicher anwendbaren Gesetze, Vorschriften, Bestimmungen und Normen erfüllt.

Disclaimer

Diese Dokumentation wurde sorgfältig erstellt. Die beschriebenen Produkte werden jedoch ständig weiter entwickelt.

Wir behalten uns das Recht vor, die Dokumentation jederzeit und ohne Ankündigung zu überarbeiten und zu ändern.

Aus den Angaben, Abbildungen und Beschreibungen in dieser Dokumentation können keine Ansprüche auf Änderung bereits gelieferter Produkte geltend gemacht werden.

Marken

Beckhoff®, TwinCAT®, TwinCAT/BSD®, TC/BSD®, EtherCAT®, EtherCAT G®, EtherCAT G10®, EtherCAT P®, Safety over EtherCAT®, TwinSAFE®, XFC®, XTS® und XPlanar® sind eingetragene und lizenzierte Marken der Beckhoff Automation GmbH. Die Verwendung anderer in dieser Dokumentation enthaltenen Marken oder Kennzeichen durch Dritte kann zu einer Verletzung von Rechten der Inhaber der entsprechenden Bezeichnungen führen.

Patente

Die EtherCAT-Technologie ist patentrechtlich geschützt, insbesondere durch folgende Anmeldungen und Patente: EP1590927, EP1789857, EP1456722, EP2137893, DE102015105702 mit den entsprechenden Anmeldungen und Eintragungen in verschiedenen anderen Ländern.



EtherCAT® ist eine eingetragene Marke und patentierte Technologie lizenziert durch die Beckhoff Automation GmbH, Deutschland.

Copyright

© Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, Deutschland.

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet.

Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.

1.2 Sicherheitshinweise

Sicherheitsbestimmungen

Beachten Sie die folgenden Sicherheitshinweise und Erklärungen!
Produktspezifische Sicherheitshinweise finden Sie auf den folgenden Seiten oder in den Bereichen Montage, Verdrahtung, Inbetriebnahme usw.

Haftungsausschluss

Die gesamten Komponenten werden je nach Anwendungsbestimmungen in bestimmten Hard- und Software-Konfigurationen ausgeliefert. Änderungen der Hard- oder Software-Konfiguration, die über die dokumentierten Möglichkeiten hinausgehen, sind unzulässig und bewirken den Haftungsausschluss der Beckhoff Automation GmbH & Co. KG.

Qualifikation des Personals

Diese Beschreibung wendet sich ausschließlich an ausgebildetes Fachpersonal der Steuerungs-, Automatisierungs- und Antriebstechnik, das mit den geltenden Normen vertraut ist.

Erklärung der Hinweise

In der vorliegenden Dokumentation werden die folgenden Hinweise verwendet.
Diese Hinweise sind aufmerksam zu lesen und unbedingt zu befolgen!

GEFAHR

Akute Verletzungsgefahr!

Wenn dieser Sicherheitshinweis nicht beachtet wird, besteht unmittelbare Gefahr für Leben und Gesundheit von Personen!

WARNUNG

Verletzungsgefahr!

Wenn dieser Sicherheitshinweis nicht beachtet wird, besteht Gefahr für Leben und Gesundheit von Personen!

VORSICHT

Schädigung von Personen!

Wenn dieser Sicherheitshinweis nicht beachtet wird, können Personen geschädigt werden!

HINWEIS

Schädigung von Umwelt/Geräten oder Datenverlust

Wenn dieser Hinweis nicht beachtet wird, können Umweltschäden, Gerätebeschädigungen oder Datenverlust entstehen.



Tipp oder Fingerzeig

Dieses Symbol kennzeichnet Informationen, die zum besseren Verständnis beitragen.

1.3 Ausgabestände der Dokumentation

Version	Kommentar
1.5.0	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Daten aktualisiert • Anschlussbilder aktualisiert • Kapitel Entsorgung hinzugefügt • Gestaltung der Sicherheitshinweise an IEC 82079-1 angepasst • Neue Titelseite
1.4.0	<ul style="list-style-type: none"> • FM-Hinweise bezüglich ANSI/ISA EX hinzugefügt • Kapitel <i>Kennzeichnung von ELX-Klemmen</i> aktualisiert • Technische Daten zum Explosionsschutz erweitert • Kapitel <i>Tarierung</i> aktualisiert
1.3.1	<ul style="list-style-type: none"> • Kleinere Korrekturen in den Kapiteln <i>Grundlagen zur Funktion</i> und <i>Parametrierung und Programmierung</i> während der Übersetzung
1.3.0	<ul style="list-style-type: none"> • Kapitel <i>Grundlagen zur Funktion</i> hinzugefügt • Kapitel <i>Parametrierung und Programmierung</i> hinzugefügt
1.2.0	<ul style="list-style-type: none"> • Anschlussbelegung um Darstellung der Sensoren erweitert • Kapitel <i>Anordnung von ELX-Klemmen im Busklemmenblock</i> aktualisiert • Kapitel <i>Kennzeichnung von ELX-Klemmen</i> aktualisiert • Technische Daten aktualisiert
1.1.0	<ul style="list-style-type: none"> • Kapitel <i>Anordnung von ELX-Klemmen im Busklemmenblock</i> aktualisiert
1.0.1	<ul style="list-style-type: none"> • Layout aktualisiert
1.0	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Daten aktualisiert • Kapitel <i>Montage und Verdrahtung</i> aktualisiert
0.2	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Daten aktualisiert • Kapitel <i>Montage und Verdrahtung</i> aktualisiert
0.1	<ul style="list-style-type: none"> • Erste vorläufige Version (nur zur internen Verwendung)

1.4 Kennzeichnung von ELX-Klemmen

Bezeichnung

Eine ELX-Klemme verfügt über eine 15-stellige technische Bezeichnung, die sich zusammensetzt aus

- Familienschlüssel
- Typ
- Software-Variante
- Revision

Beispiel	Familie	Typ	Software-Variante	Revision
ELX1052-0000-0001	ELX-Klemme	1052: Zweikanalige, digitale Eingangsklemme für NAMUR-Sensoren, Ex i	0000: Grundtyp	0001
ELX9560-0000-0001	ELX-Klemme	9560: Einspeiseklemme	0000: Grundtyp	0001

Hinweise

- die oben genannten Elemente ergeben die **technische Bezeichnung**, im Folgenden wird das Beispiel ELX1052-0000-0001 verwendet.
- Davon ist ELX1052-0000 die Bestellbezeichnung, umgangssprachlich bei „-0000“ dann oft nur ELX1052 genannt. „-0001“ ist die EtherCAT-Revision.
- Die **Bestellbezeichnung** setzt sich zusammen aus
 - Familienschlüssel (ELX)
 - Typ (1052)
 - Software-Variante (-0000)
- Die **Revision** -0001 gibt den technischen Fortschritt wie z. B. Feature-Erweiterung in Bezug auf die EtherCAT-Kommunikation wieder und wird von Beckhoff verwaltet. Prinzipiell kann ein Gerät mit höherer Revision ein Gerät mit niedrigerer Revision ersetzen, wenn nicht anders z. B. in der Dokumentation angegeben. Jeder Revision zugehörig und gleichbedeutend ist üblicherweise eine Beschreibung (ESI, EtherCAT Slave Information) in Form einer XML-Datei, die zum Download auf der Beckhoff Webseite bereitsteht. Die Revision wird außen auf den Klemmen aufgebracht, siehe Abb. *ELX1052 mit Date-Code 3218FMFM, BTN 10000100 und Ex-Kennzeichnung*.
- Bei der Beschriftung auf der Seite der Klemmen entfallen die Bindestriche. Beispiel:
Bezeichnung: ELX1052-0000
Beschriftung: ELX1052₀₀₀₀
- Typ, Software-Variante und Revision werden als dezimale Zahlen gelesen, auch wenn sie technisch hexadezimal gespeichert werden.

Identifizierungsnummern

ELX-Klemmen verfügen über zwei verschiedene Identifizierungsnummern:

- Date-Code (Chargen-Nummer)
- **Beckhoff Traceability Number**, kurz BTN (identifiziert als Seriennummer jede Klemme eindeutig)

Date Code

Als Date Code bezeichnet Beckhoff für ELX-Klemmen eine achtstellige Nummer, die auf die Klemme aufgedruckt ist. Der Date-Code gibt den Bauzustand im Auslieferungszustand an und kennzeichnet somit eine ganze Produktions-Charge, unterscheidet aber nicht die Klemmen einer Charge.

Aufbau des Date Codes: **WW YY FF HH**
 WW - Produktionswoche (Kalenderwoche)
 YY - Produktionsjahr
 FF - Firmware-Stand
 HH - Hardware-Stand

Beispiel mit Date Code: 02180100:
 02 - Produktionswoche 02
 18 - Produktionsjahr 2018
 01 - Firmware-Stand 01
 00 - Hardware-Stand 00

Beckhoff Traceability Number (BTN)

Darüber hinaus verfügt jede ELX-Klemme über eine eindeutige **Beckhoff Traceability Number (BTN)**.

Ex-Kennzeichnung

Links oben auf der Klemme finden Sie die Ex-Kennzeichnung:

- II 3 (1) G Ex ec [ia Ga] IIC T4 Gc
- II (1) D [Ex ia Da] IIIC
- I (M1) [Ex ia Ma] I
- IECEX BVS 18.0005X
- BVS 18 ATEX E 005 X

Beispiele

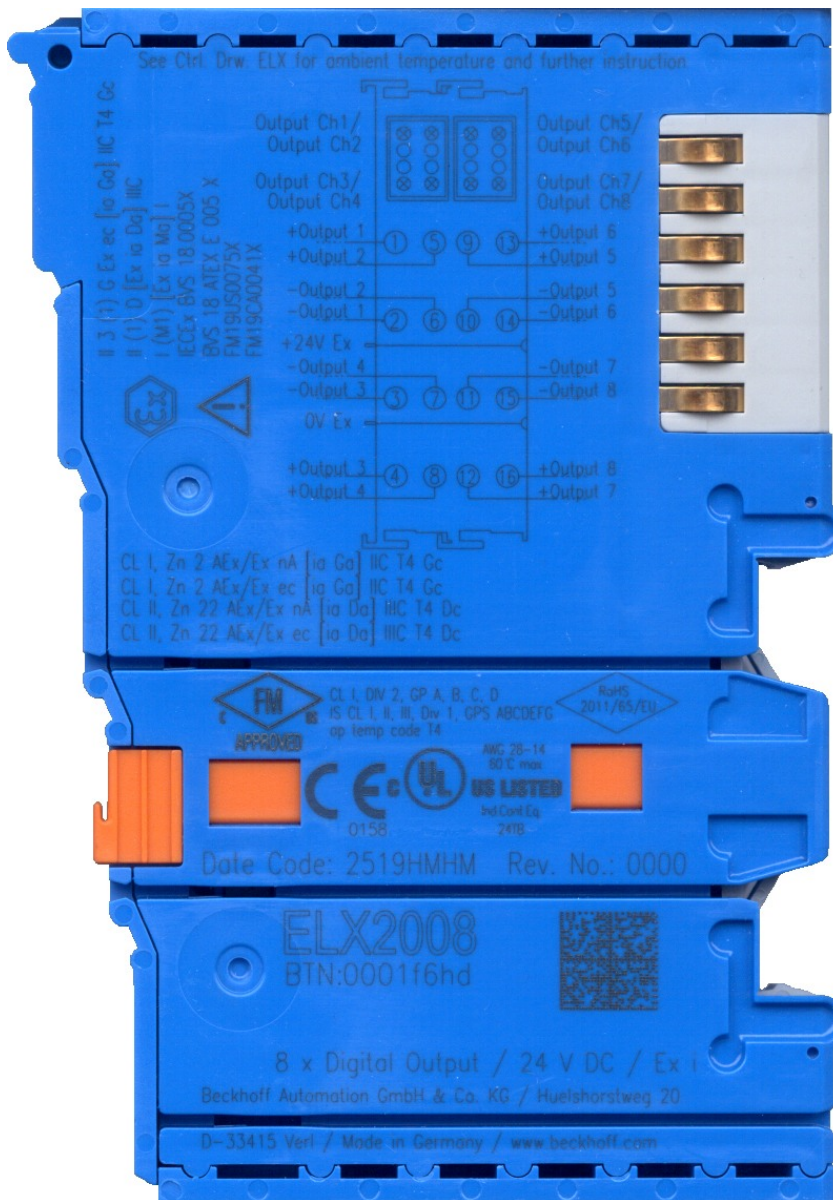


Abb. 1: ELX2008-0000 mit Date Code 2519HMHM, BTN 0001f6hd und Ex-Kennzeichnung



Abb. 2: ELX9560-0000 mit Date Code 12150000, BTN 0000b000 und Ex-Kennzeichnung



Abb. 3: ELX9012 mit Date Code 12174444, BTN 0000b0si und Ex-Kennzeichnung

2 Produktübersicht

2.1 Einführung

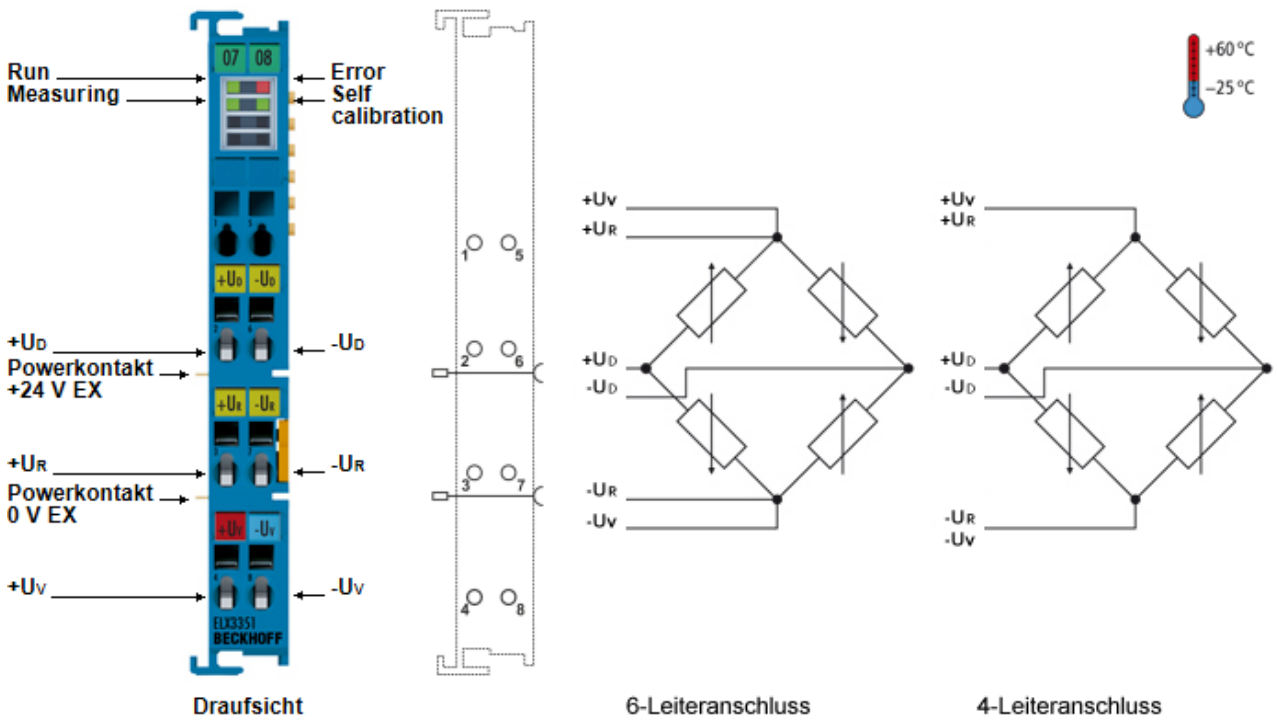


Abb. 4: ELX3351 - Einkanalige Analog-Eingangsklemme für Widerstandsbrücke (DMS), Ex i

Die Analog-Eingangsklemme ELX3351 erlaubt den direkten Anschluss einer Widerstandsbrücke oder Wägezelle aus explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 0/20 und 1/21. Der Anschluss der Klemme kann in 4- oder 6-Leitertechnik erfolgen. Das Verhältnis der Brückenspannung U_D zur Versorgungsspannung U_R wird mit einer Auflösung von 24 Bit erfasst und die Kraftbelastung als Prozesswert berechnet. Neben einer automatischen Selbstkalibrierung (deaktivierbar) sind Zusatzfunktionen wie Tara und Freeze sowie dynamische Filter integriert.

2.2 Technische Daten

Technische Daten	ELX3351-0000
Sensorarten	Widerstandsbrücke, Dehnungsmessstreifen (DMS)
Anzahl Eingänge	1, für 1 Brückenschaltung in Vollbrückentechnik
Anschlusstechnik	4-Leiter, 6-Leiter
Brücken-Versorgung	Ausnahmslos über die Anschlüsse +U _v und -U _v
Brücken-Eingangswiderstand	300 Ω ... 5 kΩ (ab HW03)
Messbereich U _D	max. ±18 ... ±22 mV, sensorabhängig (siehe Brückenversorgungsspannung im Falle der Belastung [► 28]) (ab HW03)
Innenwiderstand	> 50 kΩ (U _R , differentiell), > 1 MΩ (U _D , differentiell) (ab HW03)
Auflösung	24 Bit, 32 Bit Darstellung
Messfehler	±0,1% für den berechneten Lastwert bezogen auf den Lastendwert bei einem DMS-Nennkennwert von 2 mV/V, Selbstkalibrierung aktiv, 50 Hz Filter aktiv (ab HW03)
Grenzfrequenz Eingangsfilter	typ. 3,6 kHz (-3 dB, Tiefpass)
Wandlungszeit	typ. 1,6 ms
Filter	50 Hz, konfigurierbar
Spannungsversorgung der Elektronik	aus dem E-Bus (5 V _{DC}) und den Powerkontakten (24 V _{DC} Ex, Einspeisung durch ELX9560)
Stromaufnahme aus dem E-Bus	typ. 85 mA
Versorgungsspannung U _V	bis 10 V _{DC} , sensorabhängig wegen interner Widerstände
Stromaufnahme aus den Powerkontakten	mind. 20 mA, sensorabhängig
Besondere Eigenschaften	Selbstkalibrierung, dynamische Filter, Freeze
Breite im Prozessabbild	32 Bit
Potenzialtrennung	1500 V (E-Bus / Feldspannung)
Gewicht	ca. 60 g
zulässiger Umgebungstemperaturbereich im Betrieb	-25°C ... + 60°C
zulässiger Umgebungstemperaturbereich bei Lagerung	-40°C ... + 85°C
zulässige relative Luftfeuchtigkeit	95%, keine Betauung
zulässiger Luftdruck (Betrieb, Lagerung, Transport)	800 hPa bis 1100 hPa (dies entspricht einer Höhe von ca. -690 m bis 2000 m über N.N. bei Annahme einer internationalen Standardatmosphäre)
Abmessungen (B x H x T)	ca. 15 mm x 100 mm x 70 mm (Breite angereicht: 12 mm)
Montage	auf 35 mm Tragschiene nach EN 60715
Vibrations- / Schockfestigkeit	gemäß EN 60068-2-6 / EN 60068-2-27
EMV-Festigkeit / Aussendung	gemäß EN 61000-6-2 / EN 61000-6-4
Schutzart	IP20
Zulässige Einbaulage	Siehe Kapitel Einbaulage und Mindestabstände [► 21]
Zulassungen / Kennzeichnungen	CE, UL, ATEX, IECEx, cFMus

Technische Daten zum Explosionsschutz		ELX3351-0000	
Ex-Kennzeichnung	ATEX	II 3 (1) G Ex ec [ia Ga] IIC T4 Gc II (1) D [Ex ia Da] IIIC I (M1) [Ex ia Ma] I	
	IECEX	Ex ec [ia Ga] IIC T4 Gc [Ex ia Da] IIIC [Ex ia Ma] I	
	cFMus	AIS Class I, II, III, Division 1, Groups A thru G Class I, Division 2, Groups A, B, C, D Class I, Zone 2, AEx/Ex ec [ia Ga] IIC T4 Gc [AEx/Ex ia Da] IIIC T4	
Zertifikatsnummern		IECEX BVS 18.0005X BVS 18 ATEX E 005 X FM19US0075X, FM19CA0041X	
Spannungsversorgung		ausnahmslos in Verbindung mit der ELX9560	
Feldschnittstellen		U _o = 11,76 V I _o = 146 mA P _o = 214 mW Kennlinie: linear*	
Reaktanzen (ohne Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit)		L_o	C_o
	Ex ia I	20 mH	40 µF
	Ex ia IIA	13,3 mH	39 µF
	Ex ia IIB	6,6 mH	9,9 µF
	Ex ia IIC	1,7 mH	1,5 µF
	Ex ia IIIC	6,6 mH	9,9 µF

*) Die Werte für U_o und I_o können nicht gleichzeitig an den Feldschnittstellen auftreten. Zur Bewertung des eigensicheren Stromkreises gemäß IEC 60079-11 und IEC 60079-25 sollten dennoch beide Werte als gleichzeitig vorhanden angesetzt werden.

2.3 Bestimmungsgemäße Verwendung

⚠️ WARNUNG

Gefährdung der Sicherheit von Personen und Anlagen!

Eine Verwendung der ELX-Komponenten, die über die im Folgenden beschriebene bestimmungsgemäße Verwendung hinausgeht, ist nicht zulässig!

⚠️ VORSICHT

ATEX und IECEx beachten!

Die ELX-Komponenten dürfen nur im Sinne der ATEX-Richtlinie und des IECEx-Schemas eingesetzt werden!

Die ELX-Klemmen erweitern das Einsatzfeld des Beckhoff Busklemmen-Systems um Funktionen zur Einbindung eigensicherer Feldgeräte aus explosionsgefährdeten Bereichen. Das angestrebte Einsatzgebiet sind Datenerfassungs- und Steuerungsaufgaben in der diskreten und prozesstechnischen Automatisierung unter Berücksichtigung explosionsschutztechnischer Anforderungen.

Die ELX-Klemmen sind durch die Zündschutzart "Erhöhte Sicherheit" (Ex e) gemäß IEC 60079-7 geschützt und ausschließlich in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 2 oder in nicht-explosionsgefährdeten Bereichen zu betreiben.

Die Feldschnittstellen der ELX-Klemmen erreichen den Explosionsschutz durch die Zündschutzart „Eigensicherheit“ (Ex i) gemäß IEC 60079-11. An die ELX-Klemmen dürfen daher ausschließlich entsprechend zertifizierte, eigensichere Geräte angeschlossen werden. Beachten Sie die maximal zulässigen Anschlusswerte für Spannungen, Ströme und Reaktanzen. Jegliche Zuwiderhandlung kann zur Beschädigung der ELX-Klemmen und damit zur Aufhebung des Explosionsschutzes führen.

Bei den ELX-Klemmen handelt es sich um offene, elektrische Betriebsmittel für den Einbau in abschließbare Schaltschränke, Gehäuse oder Betriebsräume. Stellen Sie sicher, dass der Zugang zu den Geräten nur autorisiertem Fachpersonal möglich ist.

⚠️ VORSICHT

Rückverfolgbarkeit sicherstellen!

Der Besteller hat die Rückverfolgbarkeit der Geräte über die Beckhoff Traceability Number (BTN) sicherzustellen.

3 Montage und Verdrahtung

3.1 Besondere Bedingungen für ELX-Klemmen

⚠️ WARNUNG

Beachten Sie die besonderen Bedingungen für die bestimmungsgemäße Verwendung von Beckhoff ELX-Klemmen in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX-Richtlinie 2014/34/EU)!

- Die zertifizierten Komponenten sind in ein geeignetes Gehäuse zu errichten, das eine Schutzart von mindestens IP54 gemäß EN 60079-0 bzw. EN 60529 gewährleistet! Dabei sind die vorgeschriebenen Umgebungsbedingungen bei Installation, Betrieb und Wartung zu berücksichtigen! Im Inneren des Gehäuses sind Verschmutzungsgrad 1 und 2 zulässig.
- Wenn die Temperaturen bei Nennbetrieb an den Einführungsstellen der Kabel, Leitungen oder Rohrleitungen höher als 70°C oder an den Aderverzweigungsstellen höher als 80°C ist, so müssen Kabel ausgewählt werden, deren Temperaturdaten den tatsächlich gemessenen Temperaturwerten entsprechen!
- Beachten Sie für Beckhoff ELX-Klemmen den zulässigen Umgebungstemperaturbereich von -25 bis +60°C!
- Es müssen Maßnahmen zum Schutz gegen Überschreitung der Nennbetriebsspannung durch kurzzeitige Störspannungen um mehr als 40% getroffen werden! Die Spannungsversorgung der Einspeiseklemme ELX9560 muss der Überspannungskategorie II gemäß EN 60664-1 entsprechen.
- Die einzelnen Klemmen dürfen nur aus dem Busklemmensystem gezogen oder entfernt werden, wenn alle Versorgungsspannungen abgeschaltet bzw. das Vorhandensein einer explosionsfähigen Atmosphäre sicher ausgeschlossen wurde!
- Die Anschlüsse der Einspeiseklemme ELX9560 dürfen nur verbunden oder unterbrochen werden, wenn alle Versorgungsspannungen abgeschaltet bzw. das Vorhandensein einer explosionsfähigen Atmosphäre sicher ausgeschlossen wurde!
- Adresswahlschalter und ID-Switche dürfen nur eingestellt werden, wenn alle Versorgungsspannungen abgeschaltet bzw. das Vorhandensein einer explosionsfähigen Atmosphäre sicher ausgeschlossen wurde!

3.2 Installationshinweise für ELX-Klemmen

HINWEIS

Lagerung, Transport und Montage

- Transport und Lagerung sind nur in Originalverpackung gestattet!
- Die Lagerung sollte trocken und erschütterungsfrei erfolgen!
- Eine Fabrikneue, im ihrem Bauzustand zertifikatsgültige ELX-Klemme wird nur im versiegelten Karton ausgeliefert. Prüfen Sie daher vor Entnahme die Unversehrtheit von Karton aller Siegel!
- Verwenden Sie die ELX-Klemme nicht, wenn
 - deren Verpackung beschädigt ist
 - die Klemme sichtbar beschädigt ist oder
 - Sie sich der Herkunft der Klemme nicht sicher sein können!
- ELX-Klemmen mit einem beschädigten Verpackungssiegel werden als gebraucht angesehen.

⚠️ WARNUNG

Unfallverhütungsvorschriften beachten!

Halten Sie während Montage, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung die für Ihre Geräte, Maschinen und Anlagen geltenden Sicherheitsvorschriften, Unfallverhütungsvorschriften sowie die allgemeinen Regeln der Technik ein.

⚠ VORSICHT**Errichtungsbestimmungen beachten!**

Beachten Sie die geltenden Errichtungsbestimmungen!

HINWEIS**Schützen Sie die Klemmen vor elektrostatischer Entladung (ESD)**

Elektronische Bauteile können durch elektrostatische Entladung zerstört werden. Befolgen Sie daher die Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz gegen elektrostatische Entladung, wie u. a. in DIN EN 61340-5-1 beschrieben. Stellen Sie in diesem Zusammenhang eine geeignete Erdung des Personals und der Umgebung sicher.

HINWEIS**Klemmen nicht auf E-Bus-Kontakte legen**

Legen Sie die ELX-Klemmen nicht auf die rechtsseitig angebrachten E-Bus-Kontakte. Die Funktion der E-Bus-Kontakte kann aufgrund dadurch entstandener Beschädigungen, wie z. B. Kratzer, beeinträchtigt werden.

HINWEIS**Schützen Sie die Klemmen vor Verunreinigungen**

Zur Gewährleistung der Funktionalität der ELX-Klemmen sind diese vor Verunreinigungen, insbesondere an den Kontaktstellen, zu schützen. Verwenden Sie aus diesem Grund nur saubere Werkzeuge und Materialien.

HINWEIS**Handhabung**

- Das Einführen leitfähiger oder nicht-leitfähiger Gegenstände jeder Art in das Gehäuseinnere (z.B. durch die Lüftungsschlitze im Gehäuse) ist nicht zulässig!
- Verwenden Sie ausschließlich die vorgesehenen Öffnungen in der Gehäusefront sowie entsprechendes Werkzeug zum Betätigen der frontseitigen Federklemmkontakte, um Anschlussleitungen an der Klemme zu montieren, siehe Kapitel [Verdrahtung](#) [▶ 25].
- Das Öffnen des Gehäuses, das Entfernen von Teilen oder eine anderweitige, mechanische Verformung oder Bearbeitung einer ELX-Klemme ist nicht zulässig!

Bei Defekt oder Beschädigung einer ELX-Klemme ist diese durch eine gleichwertige zu ersetzen. Nehmen Sie keine Reparaturen an den Geräten vor. Reparaturen dürfen aus sicherheitsrelevanten Gründen nur durch den Hersteller erfolgen.

HINWEIS**Kontaktbeschriftung und Anschlussbelegung**

Die in den Abbildungen des Einführungskapitels dargestellten farbigen Beschriftungsschilder oberhalb der frontseitigen Anschlusskontakte sind nur beispielhaft und nicht Teil des Lieferumfangs!

Eine eindeutige Zuordnung von Kanal und Anschlussbezeichnung nach dem Kapitel [Anschlussbelegung](#) zum eigentlichen Anschlusskontakt kann über die aufgelaserten Kanalnummern 1 bis 8 links oberhalb der jeweiligen Klemmstelle sowie über das Laserbild erfolgen.

Beachten Sie die ggf. vorhandene Polaritätsabhängigkeit angeschlossener eigensicherer Stromkreise!

3.3 Anordnung von ELX-Klemmen im Busklemmenblock

⚠️ WARNUNG

Beachten Sie die folgenden Hinweise zur Anordnung von ELX-Klemmen!

- ELX-Signalklemmen dürfen ausnahmslos nur hinter einer Einspeiseklemme ELX9560 montiert werden!
- Hinter einer Einspeiseklemme ELX9560 dürfen ausschließlich Signalklemmen der ELX-Serie montiert werden!
- In einem Klemmenblock dürfen mehrere Einspeiseklemmen ELX9560 gesetzt werden, solange vor jeder weiteren ELX9560 eine ELX9410 gesetzt wird!
- Eine Einspeiseklemme ELX9410 darf nicht rechts einer ELX9560 oder links einer ELX-Signalklemme montiert werden!
- Die letzte Klemme jedes ELX-Klemmenstrangs ist mit einer Busenkappe ELX9012 abzudecken, sofern nicht zwei Einspeiseklemmen ELX9410 direkt hintereinander installiert sind, um den Klemmenstrang mit Standard-Beckhoff-EtherCAT-Klemmen fortzuführen (z.B. EL/ES/EK)!

Beispiele für die Anordnung von ELX-Klemmen

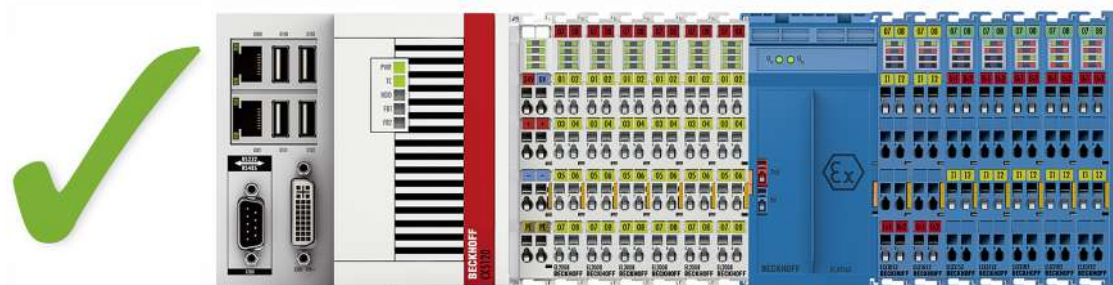


Abb. 5: Zulässige Anordnung der ELX-Klemmen (rechter Klemmenblock).

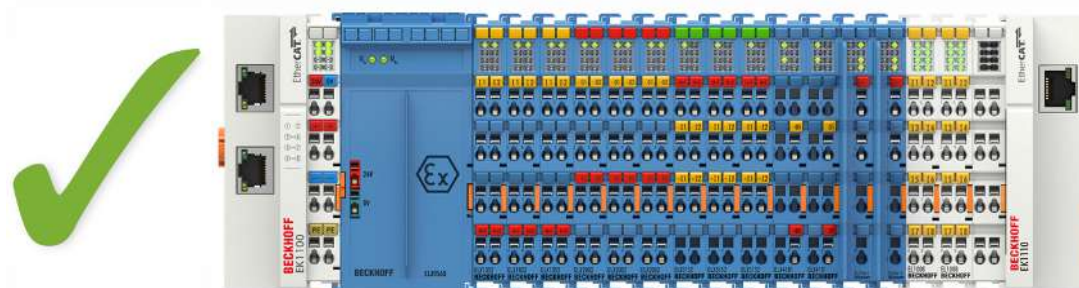


Abb. 6: Zulässige Anordnung - vor und nach dem ELX-Klemmenstrang sind Klemmen gesetzt, die nicht zur ELX-Serie gehören. Die Trennung erfolgt durch die ELX9560 zu Beginn des ELX-Klemmenstranges und zwei ELX9410 zum Ende des ELX-Klemmenstranges.

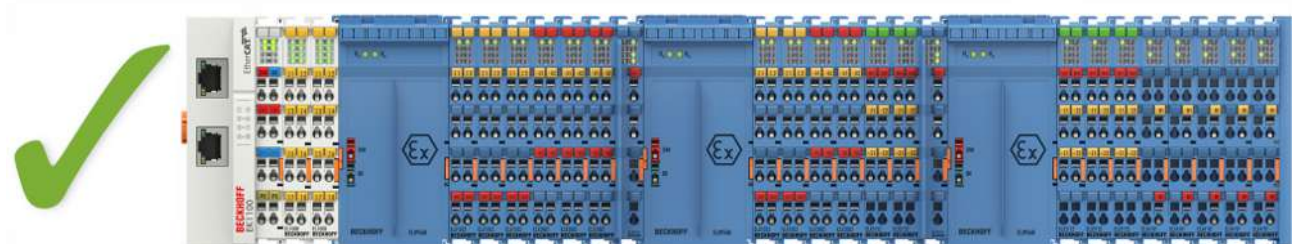


Abb. 7: Zulässige Anordnung - mehrfache Wiedereinspeisungen durch ELX9560 mit jeweils einer vorgeschalteten ELX9410.

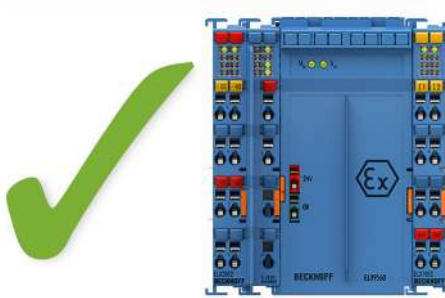


Abb. 8: Zulässige Anordnung - ELX9410 vor einer Einspeiseklemme ELX9560.

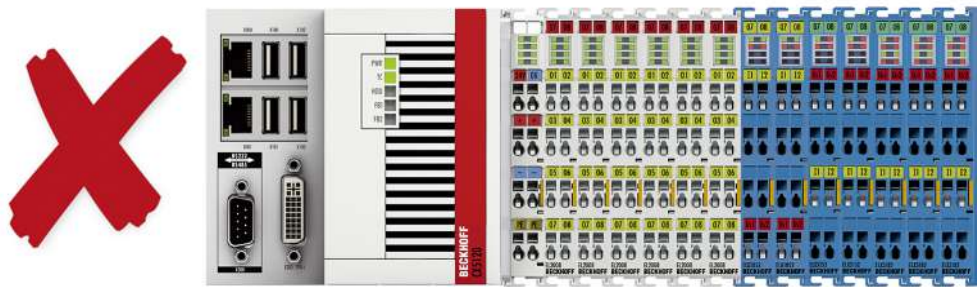


Abb. 9: Unzulässige Anordnung - fehlende Einspeiseklemme ELX9560.

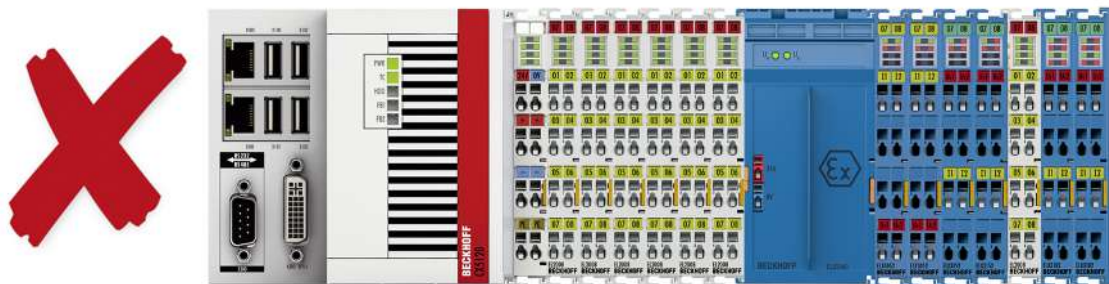


Abb. 10: Unzulässige Anordnung - Klemme im ELX-Klemmenstrang, die nicht zur ELX-Serie gehört

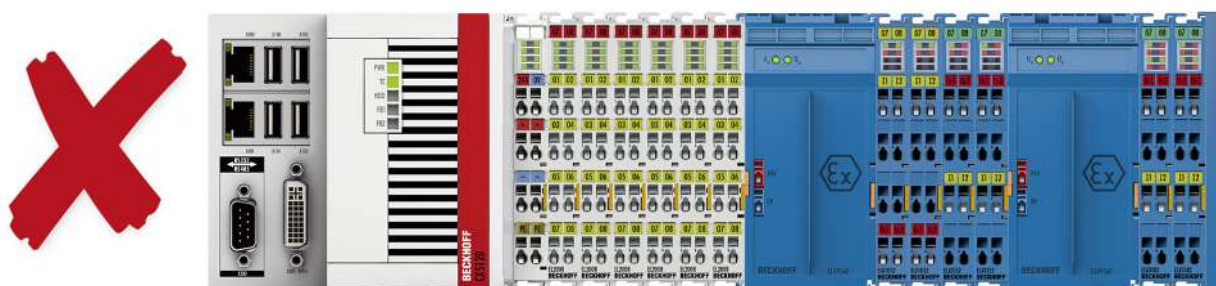


Abb. 11: Unzulässige Anordnung - zweite Einspeiseklemme ELX9560 im ELX-Klemmenstrang ohne vorgeschaltete ELX9410.

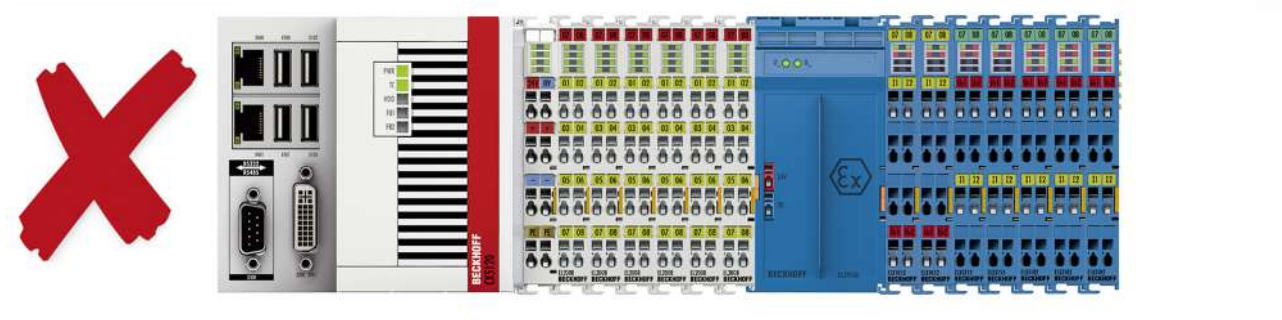


Abb. 12: Unzulässige Anordnung - fehlende Busendkappe ELX9012.

HINWEIS

Beachten Sie den maximalen Ausgangsstrom der ELX9560

Bitte beachten Sie bei der Konfiguration des Klemmenstrangs den maximal verfügbaren Ausgangsstrom der Einspeiseklemme ELX9560 gemäß der angegebenen technischen Daten.

Bei Bedarf muss eine zusätzliche Einspeiseklemme ELX9560 mit vorgeschalteter ELX9410 (siehe Montagebeispiele) installiert oder ein vollständig neuer Busklemmenblock aufgebaut werden.

3.4 Einbaulage und Mindestabstände

Einbaulage

Für die vorgeschriebene Einbaulage wird die Tragschiene waagrecht montiert und die Anschlussflächen der ELX-Klemmen weisen nach vorne (siehe Abbildung unten). Die Klemmen werden dabei von unten nach oben durchlüftet, was eine optimale Kühlung der Elektronik durch Konvektionslüftung ermöglicht. Die Richtungsangabe „unten“ entspricht der Richtung der positiven Erdbeschleunigung.

Mindestabstände

Beachten Sie die folgenden Mindestabstände um eine optimale Konvektionskühlung zu gewährleisten:

- über und unter den ELX-Klemmen: 35 mm (gefordert!)
- neben dem Busklemmenblock: 20 mm (empfohlen)

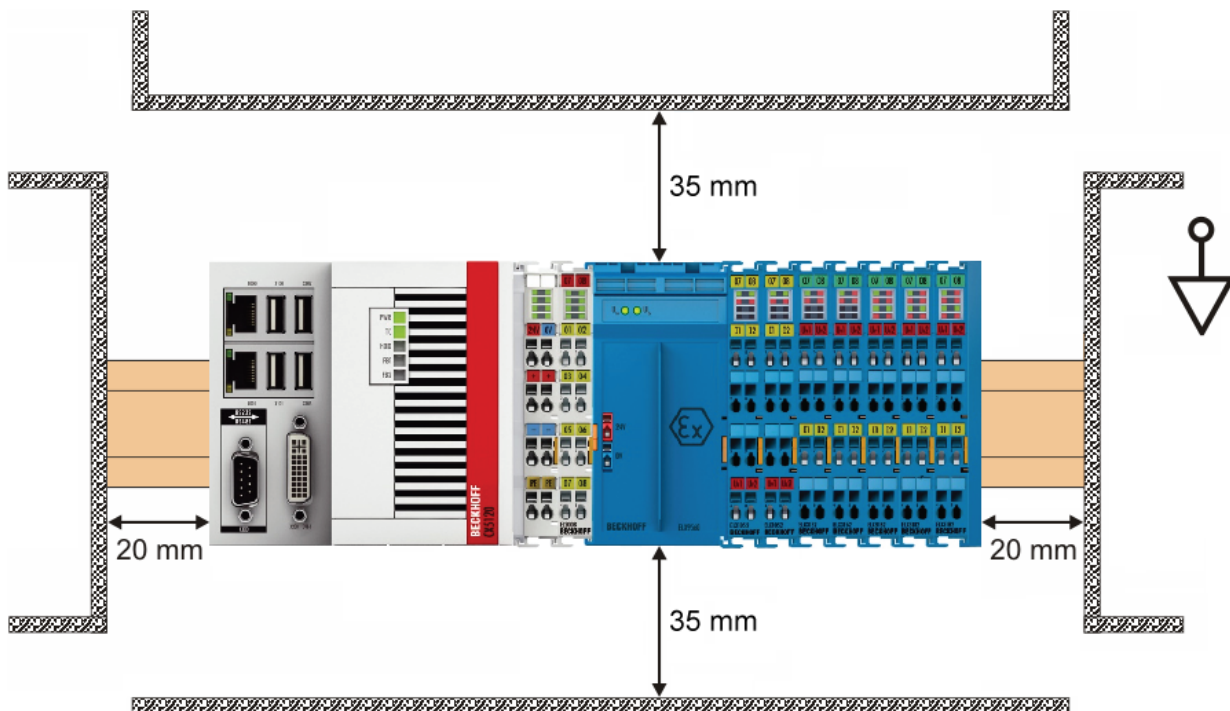


Abb. 13: Einbaulage und Mindestabstände

⚠️ WARNUNG

Beachten Sie die Mindestabstände gemäß IEC 60079-14!

Beachten Sie außerdem die vorgeschriebenen Mindestabstände zwischen eigensicheren und nicht-eigensicheren Stromkreisen gemäß IEC 60079-14.

3.5 Tragschienenmontage von ELX-Klemmen

⚠️ WARNUNG

Verletzungsgefahr durch Stromschlag und Beschädigung des Gerätes möglich!

Setzen Sie das Busklemmen-System in einen sicheren, spannungslosen Zustand, bevor Sie mit der Montage, Demontage oder Verdrahtung der Busklemmen beginnen!

⚠️ VORSICHT

Verletzungsgefahr durch Powerkontakte!

Achten Sie zu Ihrem eigenen Schutz auf sorgfältigen und vorsichtigen Umgang mit den ELX-Klemmen. Insbesondere die linksseitig angebrachten, scharfkantigen Messerkontakte stellen eine potentielle Verletzungsgefahr dar.

Montage

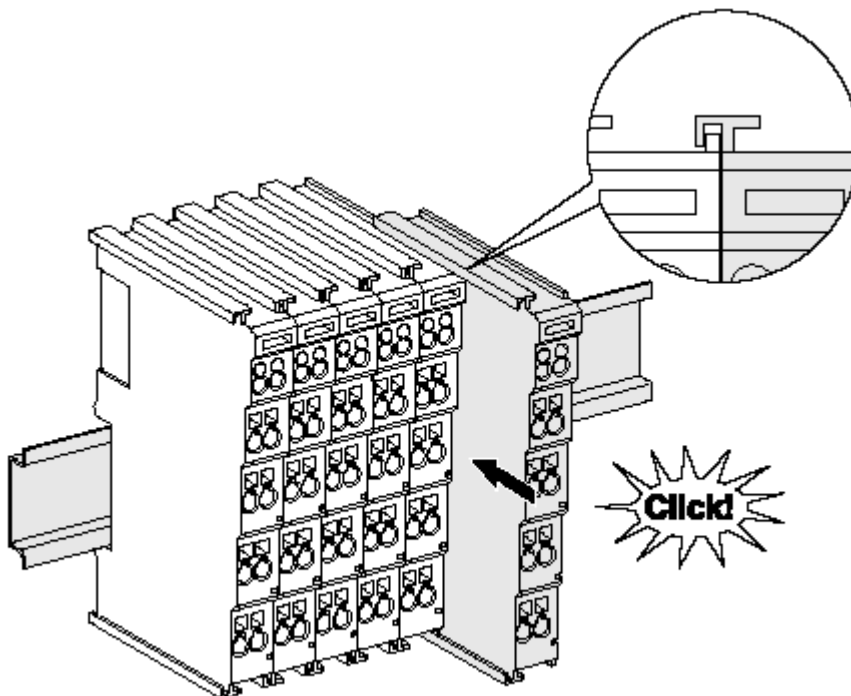


Abb. 14: Montage auf Tragschiene

Die Buskoppler und Busklemmen werden durch leichten Druck auf handelsübliche 35 mm Tragschienen (Hutschienen nach EN 60715) aufgerastet:

1. Stecken Sie zuerst den Feldbuskoppler auf die Tragschiene.
2. Auf der rechten Seite des Feldbuskopplers werden nun die Busklemmen angereiht. Stecken Sie dazu die Komponenten mit Nut und Feder zusammen und schieben Sie die Klemmen gegen die Tragschiene, bis die Verriegelung hörbar auf der Tragschiene einrastet.

Wenn Sie die Klemmen erst auf die Tragschiene schnappen und dann nebeneinander schieben ohne das Nut und Feder ineinander greifen, wird keine funktionsfähige Verbindung hergestellt! Bei richtiger Montage darf kein nennenswerter Spalt zwischen den Gehäusen zu sehen sein.

● Tragschienenbefestigung

i Der Verriegelungsmechanismus der Klemmen und Koppler reicht in das Profil der Tragschiene hinein. Achten Sie bei der Montage der Komponenten darauf, dass der Verriegelungsmechanismus nicht in Konflikt mit den Befestigungsschrauben der Tragschiene gerät. Verwenden Sie zur Befestigung von Tragschienen mit einer Höhe von 7,5 mm unter den Klemmen und Kopplern flache Montageverbindungen wie Senkkopfschrauben oder Blindnieten.

Demontage

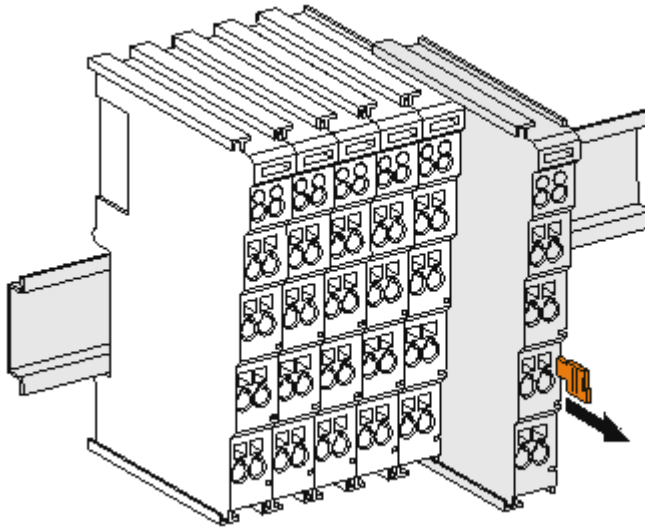


Abb. 15: Demontage von Tragschiene

Jede Klemme wird durch eine Verriegelung auf der Tragschiene gesichert, die zur Demontage gelöst werden muss:

1. Ziehen Sie die Klemme an ihren orangefarbenen Laschen ca. 1 cm von der Tragschiene herunter. Dabei wird die Tragschienenverriegelung dieser Klemme automatisch gelöst und Sie können die Klemme nun ohne großen Kraftaufwand aus dem Busklemmenblock herausziehen.
2. Greifen Sie dazu mit Daumen und Zeigefinger die entriegelte Klemme gleichzeitig oben und unten an den Gehäuseflächen und ziehen sie aus dem Busklemmenblock heraus.

Verbindungen innerhalb eines Busklemmenblocks

Die elektrischen Verbindungen zwischen Buskoppler und Busklemmen werden durch das Zusammenstecken der Komponenten automatisch realisiert:

- Die sechs Federkontakte des E-Bus übernehmen die Übertragung der Daten und die Versorgung der Busklemmenelektronik.
- Die Powerkontakte übertragen die Versorgung für die Feldelektronik und stellen so innerhalb des Busklemmenblocks eine Versorgungsschiene dar. Die Versorgung der Powerkontakte der ELX-Klemmen erfolgt durch die Einspeiseklemme ELX9560. Diese unterbricht die Powerkontakte und stellt so den Anfang einer neuen Versorgungsschiene dar.

i Powerkontakte

Beachten Sie bei der Projektierung eines Busklemmenblocks die Kontaktbelegungen der einzelnen Busklemmen, da einige Typen (z.B. analoge Busklemmen oder digitale 4-Kanal-Busklemmen) die Powerkontakte nicht oder nicht vollständig durchschleifen.

3.6 Anschluss

3.6.1 Anschlusstechnik

⚠️ WARNUNG

Verletzungsgefahr durch Stromschlag und Beschädigung des Gerätes möglich!

Setzen Sie das Busklemmen-System in einen sicheren, spannungslosen Zustand, bevor Sie mit der Montage, Demontage oder Verdrahtung der Busklemmen beginnen!

Die Klemmen der Serie ELXxxxx enthalten Elektronik und Anschlussebene in einem Gehäuse.

Standardverdrahtung

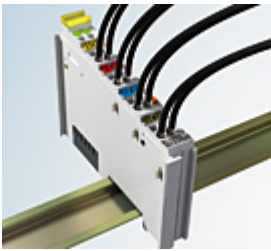


Abb. 16: Standardverdrahtung

Die Klemmen der Serie ELXxxxx integrieren die schraublose Federkrafttechnik zur schnellen und einfachen Montage.

High-Density-Klemmen (HD-Klemmen)



Abb. 17: High-Density-Klemmen

Die Busklemmen dieser Baureihe mit 16 Anschlusspunkten zeichnen sich durch eine besonders kompakte Bauform aus, da die Packungsdichte auf 12 mm doppelt so hoch ist wie die der Standard-Busklemmen. Massive und mit einer Aderenhülse versehene Leiter können ohne Werkzeug direkt in die Federklemmstelle gesteckt werden.

Ultraschall-litzenverdichtete Leiter

● **Ultraschall-litzenverdichtete Leiter**

i An die Standard- und High-Density-Klemmen können auch ultraschall-litzenverdichtete (ultraschallverschweißte) Leiter angeschlossen werden. Beachten Sie die unten stehenden Tabellen zum Leitungsquerschnitt!

3.6.2 Verdrahtung

⚠️ WARNUNG

Verletzungsgefahr durch Stromschlag und Beschädigung des Gerätes möglich!

Setzen Sie das Busklemmen-System in einen sicheren, spannungslosen Zustand, bevor Sie mit der Montage, Demontage oder Verdrahtung der Busklemmen beginnen!

Klemmen für Standardverdrahtung

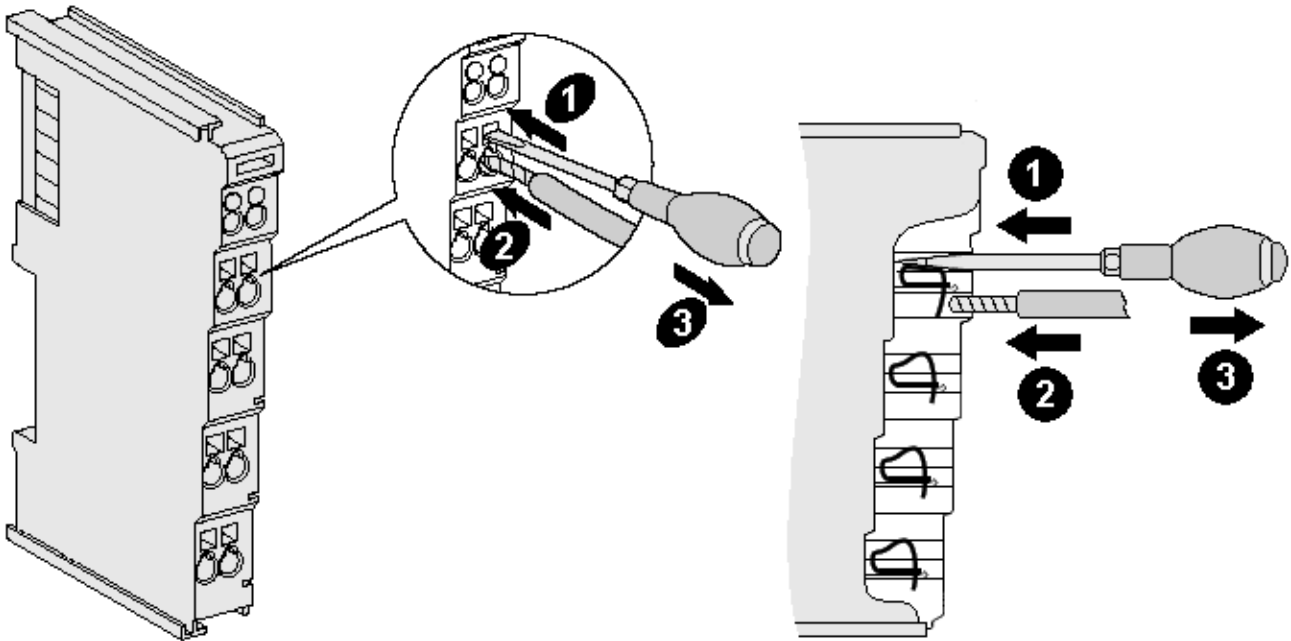


Abb. 18: Anschluss einer Leitung an eine Klemmstelle

Bis zu acht Klemmstellen ermöglichen den Anschluss von massiven oder feindrätigen Leitungen an die Busklemme. Die Klemmstellen sind in Federkrafttechnik ausgeführt. Schließen Sie die Leitungen folgendermaßen an:

1. Öffnen Sie eine Klemmstelle, indem Sie einen Schraubendreher gerade bis zum Anschlag in die viereckige Öffnung über der Klemmstelle drücken. Den Schraubendreher dabei nicht drehen oder hin und her bewegen (nicht hebeln).
2. Der Draht kann nun ohne Widerstand in die runde Klemmenöffnung eingeführt werden.
3. Durch Rücknahme des Druckes schließt sich die Klemmstelle automatisch und hält den Draht sicher und dauerhaft fest.

Beachten Sie die Anforderungen an Anschlussleitungen und Querschnitte gemäß IEC 60079-7 und IEC 60079-11. Den zulässigen Leiterquerschnitt entnehmen Sie den nachfolgenden Tabellen.

Klemmgehäuse	Standardverdrahtung	ELX9560
Leitungsquerschnitt (massiv)	0,08 ... 2,5 mm ²	0,14 ... 1,5 mm ²
Leitungsquerschnitt (feindrätig)	0,08 ... 2,5 mm ²	0,14 ... 1,5 mm ²
Leitungsquerschnitt (Aderleitung mit Aderendhülse)	0,14 ... 1,5 mm ²	0,14 ... 1,0 mm ²
Abisolierlänge	8 ... 9 mm	8 ... 9 mm

HINWEIS

Maximale Schraubendreherbreite für ELX9560

Verwenden Sie zur Verdrahtung der Einspeiseklemme ELX9560 einen Schraubendreher mit einer maximalen Breite von 2 mm. Breitere Schraubendreher können die Klemmstellen beschädigen.

High-Density-Klemmen (HD-Klemmen) mit 16 Klemmstellen

Bei den HD-Klemmen erfolgt der Leiteranschluss bei massiven Leitern werkzeuglos, in Direktstecktechnik, das heißt der Leiter wird nach dem Abisolieren einfach in die Klemmstelle gesteckt. Das Lösen der Leitungen erfolgt, wie bei den Standardklemmen, über die Kontakt-Entriegelung mit Hilfe eines Schraubendrehers. Den zulässigen Leiterquerschnitt entnehmen Sie der nachfolgenden Tabelle.

Klemmgehäuse	HD-Gehäuse
Leitungsquerschnitt (massiv)	0,08 ... 1,5 mm ²
Leitungsquerschnitt (feindrätig)	0,25 ... 1,5 mm ²
Leitungsquerschnitt (Aderleitung mit Aderendhülse)	0,14 ... 0,75 mm ²
Leitungsquerschnitt (ultraschall-litzenverdichtet)	nur 1,5 mm ²
Abisolierlänge	8 ... 9 mm

3.6.3 Ordnungsgemäßer Leitungsanschluss

Schließen Sie stets nur eine Leitung pro Klemmstelle an.

Bei der Verwendung feindrätiger Leiter wird empfohlen, diese mit Aderendhülsen anzuschließen, um eine sichere, leitfähige Verbindung herzustellen.

Achten Sie zudem auf korrekte Anschlussbelegung, um Schäden an den ELX-Klemmen und den angeschlossenen Geräten zu vermeiden.

3.6.4 Schirmung und Potentialtrennung



Schirmung

Encoder, analoge Sensoren und Aktoren sollten immer mit geschirmten, paarig verdrehten Leitungen angeschlossen werden.

VORSICHT

Installationsanforderungen in Bereichen explosionsfähiger Atmosphäre beachten!

Beachten Sie bei der Installation die Anforderungen an Leitungen, Schirmung und Erdpotentialausgleich in Bereichen explosionsfähiger Atmosphäre gemäß IEC 60079-11, IEC 60079-14 und IEC 60079-25.

WARNUNG

Potentialtrennung der 24 V Ex-Potentialschiene sicherstellen!

Stellen Sie in jedem Fall sicher, dass die durch die ELX9560 vorgenommene galvanische Trennung zwischen der 24 V Ex-Potentialschiene (Powerkontakte +24 V Ex und 0 V Ex) und anderen Systempotentialen (ggfs. auch Funktions- oder Schutzzerden) nicht aufgehoben wird.

3.6.5 Anschlussbelegung und LEDs

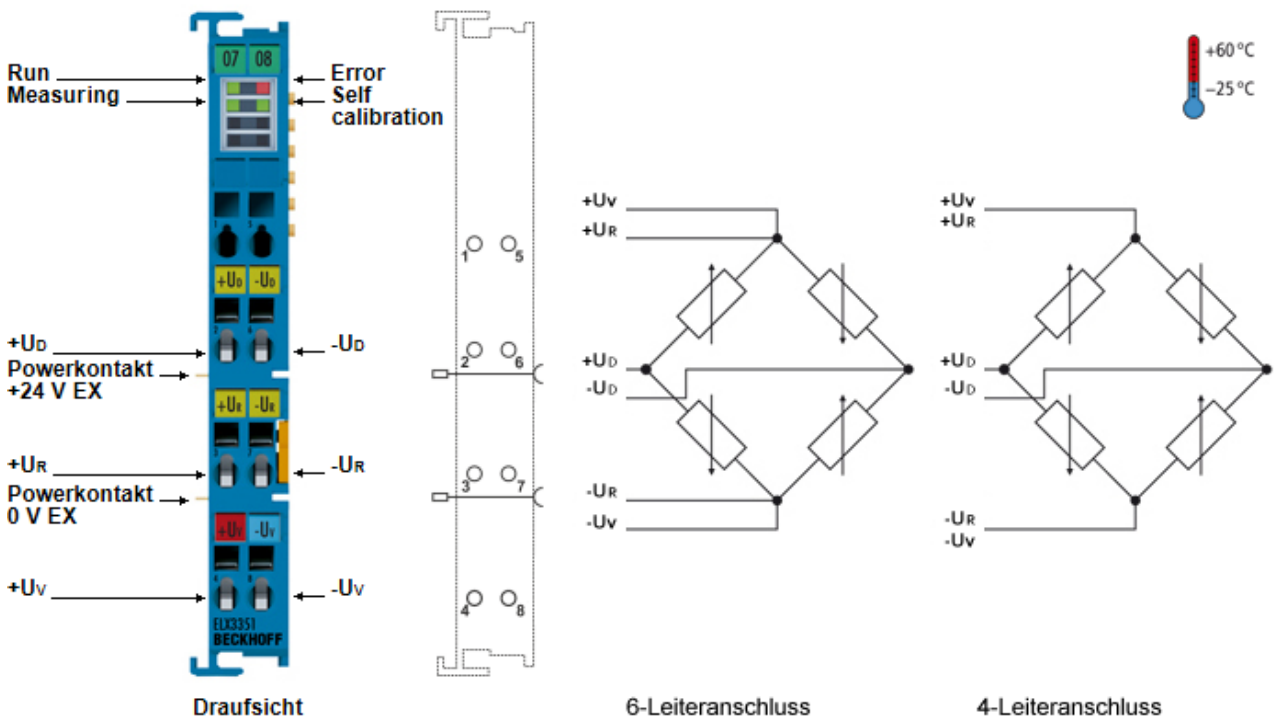


Abb. 19: ELX3351 - Anschlussbelegung und LEDs

Klemmstelle		Beschreibung
Name	Nr.	
	1	nicht belegt
+ U _D	2	+ Eingang Messspannung (Brücken-Differenzspannung)
+ U _R	3	+ Eingang Referenzspannung (Brücken-Versorgungsspannung)
+ U _V	4	+ Ausgang Brücken-Versorgungsspannung
	5	nicht belegt
- U _D	6	- Eingang Messspannung (Brücken-Differenzspannung)
- U _R	7	- Eingang Referenzspannung (Brücken-Versorgungsspannung)
- U _V	8	- Ausgang Brücken-Versorgungsspannung

Anschluss der Brücke

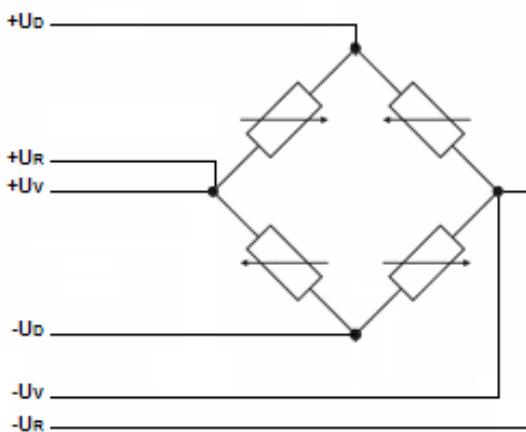


Abb. 20: ELX3351 - Anschluss einer Vollbrücke in 6-Leitertechnik

Die ELX3351 ist standardmäßig für einen Sensoranschluss in 6-Leiter-Technik ausgeführt. Für den Fall, dass ein Sensor in 4-Leiter-Technik betrieben werden soll, sind die Kontakte $+U_V$ und $+U_R$ sowie die Kontakte $-U_V$ und $-U_R$ manuell zu brücken, eine softwareseitige Umschaltung innerhalb der Klemme ist nicht möglich.

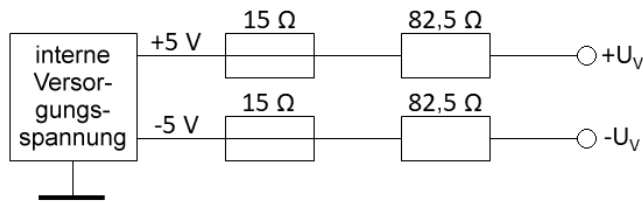


Abb. 21: ELX3351 – Spannungsversorgung

Die Klemme stellt im unbelasteten Fall 10 V_{DC} Brückenversorgungsspannung U_V bereit. Diese Spannung ist weiterhin auf U_O gemäß den Technischen Daten zum Explosionsschutz [► 14] begrenzt.

Brückenversorgungsspannung im Falle der Belastung

Bedingt durch die explosionsschutztechnischen Maßnahmen in der Schaltung reduziert sich die Brückenversorgungsspannung im Falle der Belastung.

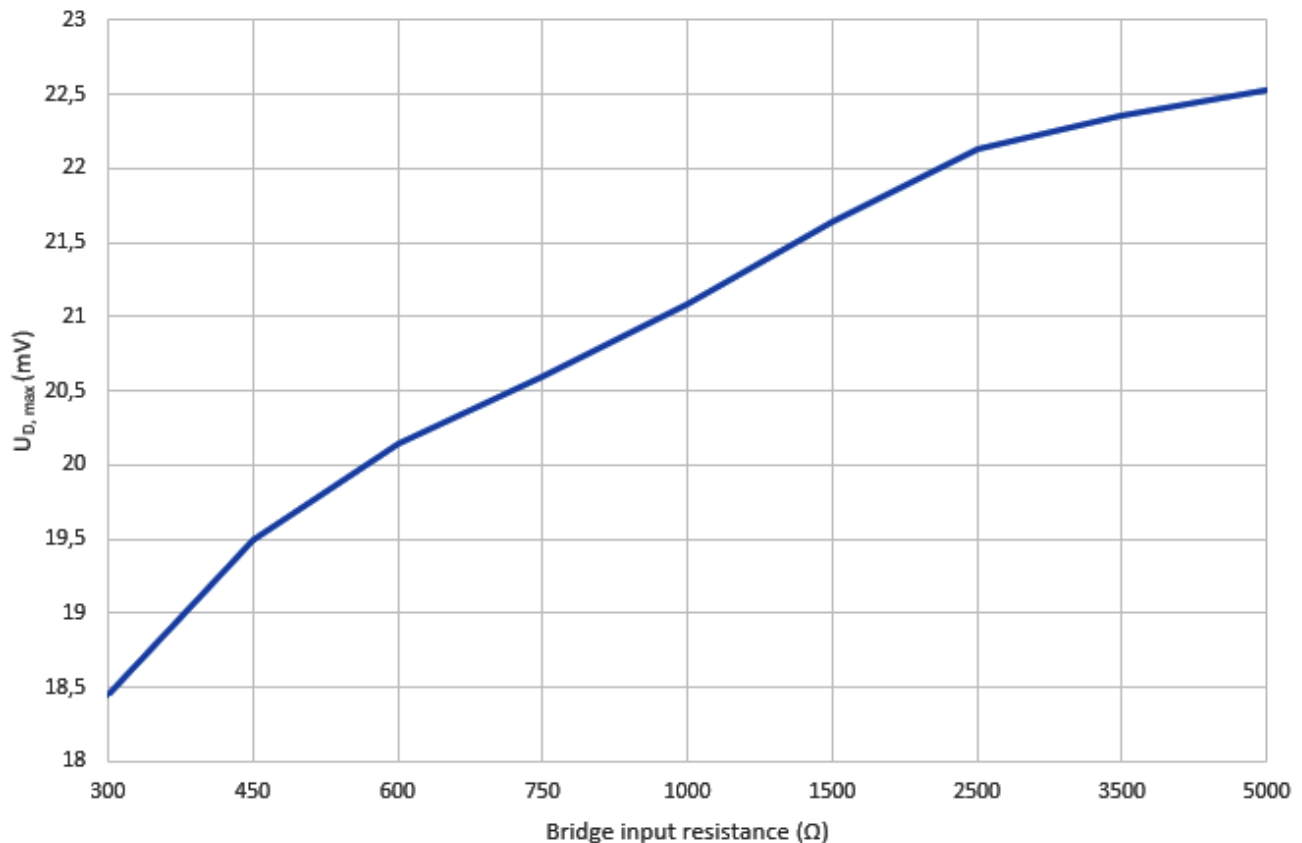


Abb. 22: ELX3351 - Messbereich U_D in Abhängigkeit des Brückeneingangswiderstands

LED-Anzeigen

LED	Farbe	Bedeutung	
Run	grün	Diese LED gibt den Betriebszustand der Klemme wieder:	
		aus	Zustand der EtherCAT State Machine: INIT = Initialisierung der Klemme
		blinkend	Zustand der EtherCAT State Machine: PREOP = Funktion für Mailbox-Kommunikation und abweichende Standard-Einstellungen gesetzt
		Einzelblitz	Zustand der EtherCAT State Machine: SAFEOP = Überprüfung der Kanäle des Sync-Managers und der Distributed Clocks. Ausgänge bleiben im sicheren Zustand
		an	Zustand der EtherCAT State Machine: OP = normaler Betriebszustand; Mailbox- und Prozessdatenkommunikation ist möglich
		flimmernd	Zustand der EtherCAT State Machine: BOOTSTRAP = Funktion für Firmware-Updates der Klemme
Error	rot	an	Es liegt eine Störung vor (z.B. Unter- oder Überschreitung des Messwertebereichs) Hinweis: Eine Drahtbruchererkennung erfolgt nur für die Anschlüsse +Uv und -Uv
Measuring	grün	an	Die Klemme befindet sich im normalen Betriebsmodus (Messung)
Self calibration	grün	an	Es findet eine Selbstkalibrierung statt

3.7 Entsorgung



Mit einer durchgestrichenen Abfalltonne gekennzeichnete Produkte dürfen nicht in den Hausmüll. Das Gerät gilt bei der Entsorgung als Elektro- und Elektronik-Altgerät. Die nationalen Vorgaben zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten sind zu beachten.

4 Grundlagen zur Funktion

4.1 EtherCAT-Grundlagen

Grundlagen zum Feldbus EtherCAT entnehmen Sie bitte der EtherCAT System-Dokumentation, die Ihnen im Download-Bereich Ihrer ELX-Klemme unter <https://www.beckhoff.de/ELXxxxx> auch als PDF-Datei zur Verfügung steht.

4.2 Hinweise zu analogen Spezifikationen

Beckhoff IO-Geräte (Klemmen, Boxen, Module) mit analogen Eingängen sind durch eine Reihe technischer Kenndaten charakterisiert, siehe dazu die Technischen Daten in den jeweiligen Dokumentationen.

Zur korrekten Interpretation dieser Kenndaten werden im Folgenden einige Erläuterungen gegeben.

4.2.1 Messbereichsendwert (MBE)

Ein IO-Gerät mit analogem Eingang misst über einen nominellen Messbereich, der durch eine obere und eine untere Schranke (Anfangswert und Endwert) begrenzt wird die meist schon der Gerätebezeichnung entnommen werden kann.

Der Bereich zwischen beiden Schranken wird Messspanne genannt und entspricht der Formel (Endwert - Anfangswert). Entsprechend zu Zeigergeräten ist dies die Messskala (vgl. IEC 61131) oder auch der Dynamikumfang.

Für analoge IO-Geräte von Beckhoff gilt, dass als Messbereichsendwert (MBE) des jeweiligen Produkts (auch: Bezugswert) die betragsmäßig größte Schranke gewählt und mit positivem Vorzeichen versehen wird. Dies gilt für symmetrische und asymmetrische Messspannen.

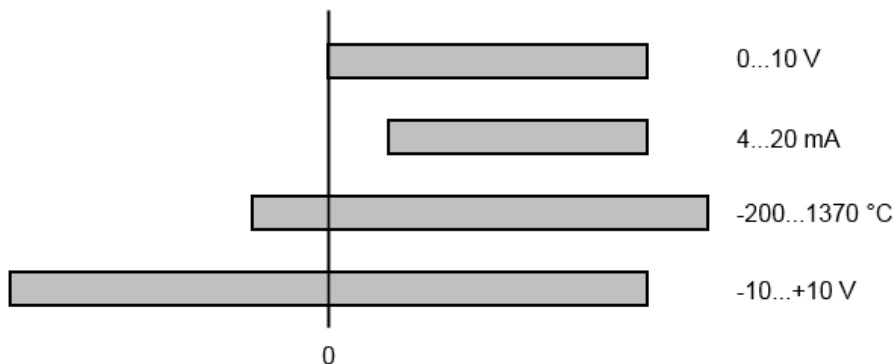


Abb. 23: Messbereichsendwert, Messspanne

Für die obigen **Beispiele** bedeutet dies:

- Messbereich 0...10 V: asymmetrisch unipolar, MBE = 10 V, Messspanne = 10 V
- Messbereich 4...20 mA: asymmetrisch unipolar, MBE = 20 mA, Messspanne = 16 mA
- Messbereich -200...1370°C: asymmetrisch bipolar, MBE = 1370°C, Messspanne = 1570°C
- Messbereich -10...+10 V: symmetrisch bipolar, MBE = 10 V, Messspanne = 20 V

Dies gilt entsprechend für analoge Ausgangsklemmen/ -boxen (bzw. verwandten Beckhoff-Produktgruppen).

4.2.2 Messfehler / Messabweichung

Der relative Messfehler (% vom MBE) bezieht sich auf den MBE und wird berechnet als Quotient aus der zahlenmäßig größten Abweichung vom wahren Wert („Messfehler“) in Bezug auf den MBE.

$$\text{Messfehler} = \frac{|\text{max. Abweichung}|}{\text{MBE}}$$

Der Messfehler hat im Allgemeinen Gültigkeit für den gesamten zulässigen Betriebstemperaturbereich, auch „Gebrauchsfehlergrenze“ genannt und enthält zufällige und systematische Anteile auf das bezogene Gerät (also „alle“ Einflüsse wie Temperatur, Eigenrauschen, Alterung usw.).

Er ist immer als positiv/negativ-Spanne mit \pm zu verstehen, auch wenn fallweise ohne \pm angegeben.

Die maximale Abweichung kann auch direkt angegeben werden.

Beispiel: Messbereich 0...10 V und Messfehler $< \pm 0,3\%$ MBE \rightarrow maximale Abweichung ± 30 mV im zulässigen Betriebstemperaturbereich.

● Geringerer Messfehler

i Da diese Angabe auch die Temperaturdrift beinhaltet, kann bei Sicherstellung einer konstanten Umgebungstemperatur des Geräts und thermischer Stabilisierung in der Regel nach einem Anwenderabgleich von einem signifikant geringeren Messfehler ausgegangen werden.

Dies gilt entsprechend für analoge Ausgangsgeräte.

4.2.3 Temperaturkoeffizient tK [ppm/K]

Eine elektronische Schaltung ist in der Regel mehr oder weniger temperaturabhängig. Im Bereich der analogen Messtechnik bedeutet dies, dass der mittels einer elektronischen Schaltung ermittelte Messwert reproduzierbar in seiner Abweichung vom „wahren“ Wert von der Umgebungs/Betriebstemperatur abhängig ist.

Lindern kann ein Hersteller dies durch Verwendung höherwertiger Bauteile oder Software-Maßnahmen.

Der von Beckhoff ggf. angegebene Temperaturkoeffizient erlaubt es dem Anwender den zu erwartenden Messfehler außerhalb der Grundgenauigkeit bei 23°C zu berechnen.

Aufgrund der umfangreichen Unsicherheitsbetrachtungen, die in die Bestimmungen der Grundgenauigkeit (bei 23°C) eingehen, empfiehlt Beckhoff eine quadratische Summierung.

Beispiel: Grundgenauigkeit bei 23°C sei $\pm 0,01\%$ typ. (MBE), tK = 20 ppm/K typ., gesucht ist die Genauigkeit G35 bei 35°C, somit $\Delta T = 12$ K

$$G35 = \sqrt{(0,01\%)^2 + (12\text{K} \cdot 20 \frac{\text{ppm}}{\text{K}})^2} = 0,026\% \text{ MBE, typ}$$

Anmerkungen: ppm $\triangleq 10^{-6}$ % $\triangleq 10^{-2}$

4.2.4 Typisierung SingleEnded / Differentiell

Beckhoff unterscheidet analoge Eingänge grundsätzlich in den zwei Typen *Single-Ended* (SE) und *differentiell* (DIFF) und steht hier für den unterschiedlichen elektrischen Anschluss bezüglich der Potenzialdifferenz.

In dieser Abbildung sind ein SE und ein DIFF-Modul als 2-kanalige Variante aufgezeigt, exemplarisch für alle mehrkanaligen Ausführungen.

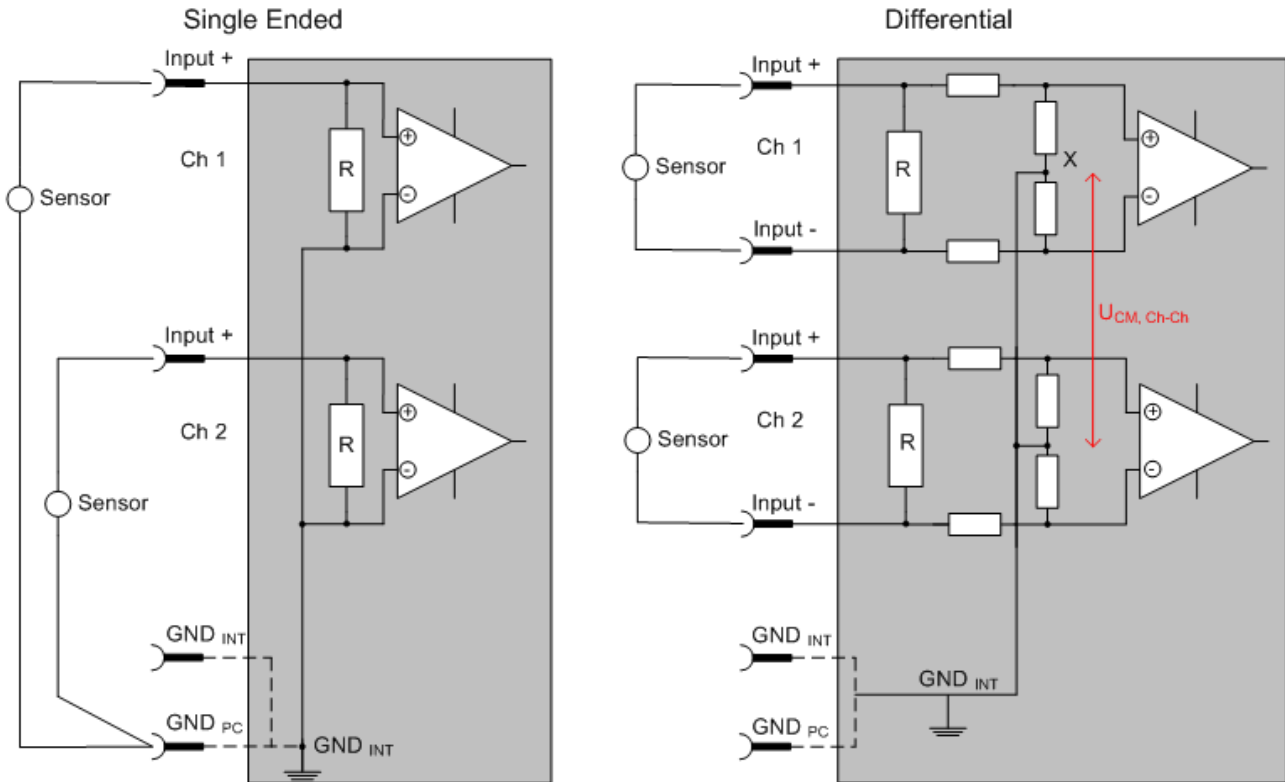


Abb. 24: SE und DIFF-Modul als 2-kanalige Variante

Hinweis: gestrichelte Linien bedeuten, dass diese Verbindung nicht unbedingt in jedem SE- oder DIFF-Modul vorhanden sein muss. Galvanisch getrennte Kanäle arbeiten grundsätzlich in differentieller Art, nur dass überhaupt kein direkter (galvanischer) Massebezug im Modul hergestellt ist. Spezifikationsangaben zu empfohlenen und maximalen Spannungen sind jeweils allerdings zu beachten.

Grundsätzlich gilt:

- Die analoge Messung erfolgt immer als Spannungsmessung zwischen zwei Potenzialpunkten. Bei einer Spannungsmessung ist R groß gewählt, um eine hohe Impedanz zu gewährleisten, bei einer Strommessung ist R als Shunt niedrig gewählt. Ist der Messzweck eine Widerstandsbestimmung, erfolgt die Betrachtung entsprechend.
 - Dabei sind diese beiden Punkte bei Beckhoff üblicherweise als Input+/SignalPotenzial und Input-/BezugsPotenzial gekennzeichnet.
 - Für die Messung zwischen zwei Potenzialpunkten sind auch zwei Potenziale heranzuführen.
 - Bei den Begrifflichkeiten „1-Leiter-Anschluss“ oder „3-Leiter-Anschluss“ ist bezüglich der reinen Analog-Messung zu beachten: 3- oder 4-Leiter können zur Sensorversorgung dienen, haben aber mit der eigentlichen Analog-Messung nichts zu tun, diese findet immer zwischen zwei Potenzialen/Leitungen statt. Dies gilt insbesondere auch für SE, auch wenn hier die Benennung suggeriert, dass nur eine Leitung benötigt wird.
- Es ist im Vorfeld der Begriff der "galvanischen Trennung" klarzustellen. Beckhoff IO-Module verfügen über 1..8 oder mehr analoge Kanäle; bei Betrachtungen bezüglich des Kanalanschluss ist zu unterscheiden
 - wie sich die Kanäle INNERHALB eines Module zueinander stellen oder

- wie sich die Kanäle MEHRERER Module zueinander stellen.
Ob die Kanäle zueinander direkt in Verbindung stehen wird u. a. mit der Eigenschaft der galvanischen Trennung spezifiziert.
- Beckhoff Klemmen/ Boxen (bzw. verwandte Produktgruppen) sind immer mit einer galvanischen Trennung von Feld/Analog-Seite zu Bus/EtherCAT-Seite ausgerüstet. Wenn zwei analoge Klemmen/ Boxen also nicht über die Powerkontakte/ Powerleitung miteinander galvanisch verbunden sind, besteht faktisch eine galvanische Trennung zwischen den Modulen.
- Falls Kanäle innerhalb eines Moduls galvanisch getrennt sind oder ein 1-Kanal-Modul keine Powerkontakte aufweist, handelt es sich faktisch immer um differentielle Kanäle, siehe dazu auch folgende Erläuterungen. Differentielle Kanäle sind nicht zwangsläufig galvanisch getrennt.
- Analoge Messkanäle unterliegen technischen Grenzen sowohl bezüglich des empfohlenen bestimmungsgemäßen Betriebsbereichs (Dauerbetrieb) als auch der Zerstörgrenze. Entsprechende Hinweise in den Dokumentationen zu den Klemmen/ Boxen sind zu beachten.

Erläuterung

- **differentiell (DIFF)**
 - Die differentielle Messung ist das flexibelste Konzept. Beide Anschlusspunkte Input+/ SignalPotenzial und Input-/BezugsPotenzial sind vom Anwender im Potenzial im Rahmen der technischen Spezifikation frei wählbar.
 - Ein differentieller Kanal kann auch als SE betrieben werden, wenn das BezugsPotenzial von mehreren Sensoren verbunden wird. Dieser Verbindungspunkt kann auch Anlagen-GND sein.
 - Da ein differentieller Kanal intern symmetrisch aufgebaut ist (vgl. Abb. SE und DIFF-Modul als 2-kanalige Variante) stellt sich in der Mitte zwischen den beiden zugeführten Potenzialen ein Mittel-Potenzial ein (X), das gleichbedeutend mit dem internen Ground/Bezugs-masse dieses Kanals ist. Wenn mehrere DIFF-Kanäle ohne galvanische Trennung in einem Modul verbaut sind, kennzeichnet die technische Eigenschaft „ U_{CM} (common mode Spannung)“, wie weit die Kanäle in Ihrer Mittenspannung auseinander liegen dürfen.
 - Die interne Bezugsmasse kann ggf. als Anschlusspunkt an der Klemme/ Box zugänglich sein, um ein definiertes GND-Potenzial in der Klemme/ Box zu stabilisieren. Es ist allerdings dann besonders auf die Qualität dieses Potenzials (Rauschfreiheit, Spannungskonstanz) zu achten. An diesen GND-Punkt kann auch eine Leitung angeschlossen werden die dafür sorgt, dass bei der differentiellen Sensorleitung die $U_{CM,max}$ nicht überschritten wird.
Sind differentielle Kanäle nicht galvanisch getrennt, ist i. d. R nur eine $U_{CM,max}$ zulässig. Bei galvanischer Trennung sollte dieses Limit nicht vorhanden sein und die Kanäle dürfen nur bis zur spezifizierten Trennungsgrenze auseinander liegen.
 - Differentielle Messung in Kombination mit korrekter Sensorleitungsverlegung hat den besonderen Vorteil, dass Störungen die auf das Sensorkabel wirken (idealerweise sind Hin- und Rückleitung nebeneinander verlegt, so dass beide Leitungen von Störsignalen gleich getroffen werden) sehr wenig effektive Auswirkung auf die Messung haben, weil beide Leitungen gemeinsam (= common) im Potenzial verschoben werden - umgangssprachlich: Gleichtaktstörungen wirken auf beide Leitungen gleichzeitig in Amplitude und Phasenlage.
 - Trotzdem unterliegt die Unterdrückung von Gleichtaktstörungen innerhalb eines Kanals oder zwischen Kanälen technischen Grenzen, die in den technischen Daten spezifiziert sind.
 - Weitere hilfreiche Ergänzungen dazu sind der Dokumentationsseite *Beschaltung von 0/4..20 mA Differenzeingängen* (siehe z. B. Dokumentation zu den Klemmen EL30xx) zu entnehmen.
- **Single Ended (SE)**
 - Ist die Analog-Schaltung als SE konzipiert, ist die Input-/Bezugsleitung intern fest auf ein bestimmtes nicht änderbares Potenzial gelegt. Dieses Potenzial muss an mindestens einer Stelle der Klemme/ Box von außen zum Anschluss des Bezugspotenzials zugänglich sein, z. B. über die Powerkontakte/ Powerleitung.
 - SE bietet dem Anwender die Möglichkeit, bei mehreren Kanälen zumindest eine der beiden Sensorleitungen nicht bis zur Klemme/ Box zurückführen zu müssen wie bei DIFF, sondern die Bezugsleitung bereits an den Sensoren zusammenzufassen, z. B. im Anlagen-GND.
 - Nachteilig dabei ist, dass es über die getrennte Vor- und Rückleitung zu Spannungs/ Stromveränderungen kommen kann, die von einem SE-Kanal nicht mehr erfasst werden können, s. Gleichtaktstörung. Ein U_{CM} -Effekt kann nicht auftreten da die interne Schaltung der Kanäle eines Moduls ja immer durch Input-/Bezugspotenzial hart miteinander verbunden sind.

Typisierung 2/3/4-Leiter-Anschluss von Stromsensoren

Stromgeber/Sensoren/Feldgeräte (im Folgenden nur „Sensor“ genannt) mit der industriellen 0/4-20mA-Schnittstelle haben typisch eine interne Wandlungselektronik von der physikalischen Messgröße (Temperatur, Strom...) auf den Stromregelausgang. Diese interne Elektronik muss mit Energie (Spannung, Strom) versorgt werden. Die Zuleitungsart dieser Versorgung trennt die Sensoren somit in *selbstversorgende* oder *extern versorgte* Sensoren:

Selbstversorgende Sensoren

- Die Energie für den Eigenbetrieb bezieht der Sensor über die Sensor/Signal-Leitung + und – selbst. Damit immer genug Energie für den Eigenbetrieb zur Verfügung steht und eine Drahtbruchererkennung möglich ist, wurde bei der 4-20mA-Schnittstelle als untere Grenze 4 mA festgelegt, d. h. minimal lässt der Sensor 4 mA, maximal 20 mA Strom passieren.
- 2-Leiter-Anschluss siehe Abb. *2-Leiter-Anschluss*, vgl. IEC60381-1
- Solche Stromgeber stellen i. d .R. eine Stromsenke dar, möchten also als „variable Last“ zwischen + und – sitzen. Vgl. dazu Angaben des Sensorherstellers.

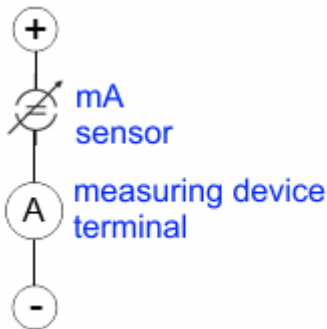


Abb. 25: 2-Leiter-Anschluss

Sie sind deshalb nach der Beckhoff-Terminologie wie folgt anzuschließen:

bevorzugt an „**single-ended**“ **Eingänge** wenn die +Supply-Anschlüsse der Klemme/ Box gleich mitgenutzt werden sollen - anzuschließen an +Supply und Signal

sie können aber auch an „**differentielle**“ **Eingänge** angeschlossen werden, wenn der Schluss nach GND dann applikationsseitig selbst hergestellt wird – polrichtig anzuschließen an +Signal und –Signal
Unbedingt die Hinweisseite *Beschaltung von 0/4..20 mA Differenzeingängen* (siehe z. B. Dokumentation zu den Klemmen EL30xx) beachten!

Keine externe Versorgung für Sensoren / Aktoren

⚠️ WARNUNG

Eine externe Versorgung von Sensoren / Aktoren, die an Signalklemmen der ELX-Reihe angeschlossen sind ist unzulässig!

Alle Signalklemmen der ELX-Reihe sind im Sinne der Eigensicherheit energiespeisende, zugehörige Betriebsmittel. Daher werden angeschlossene Sensoren oder Aktoren ausschließlich über den jeweiligen Kanal der Klemme versorgt und dürfen in keiner Form fremdgespeist werden (z.B. über eine zusätzliche, externe Versorgungsspannung).

Diese Beschränkung ist auch unabhängig davon, ob die zusätzliche, externe Versorgung energiebegrenzt im Sinne der IEC 60079-11 ist.

Ein Anschluss von ggf. fremdgespeisten, eigensicheren Stromkreisen an eine ELX-Signalklemme widerspricht der bestimmungsgemäßen Verwendung und den angegebenen technischen Daten zum Explosionsschutz [► 14]. Der Explosionsschutz durch die angegebene Zündschutzart erlischt damit automatisch.

4.2.5 Gleichtaktspannung und Bezugsmasse (bezogen auf Differenzeingänge)

Gleichtaktspannung (CommonMode, U_{cm}) wird als der Mittelwert der Spannungen an den einzelnen Anschlüssen/Eingängen definiert und wird gegen eine Bezugsmasse gemessen/angegeben.

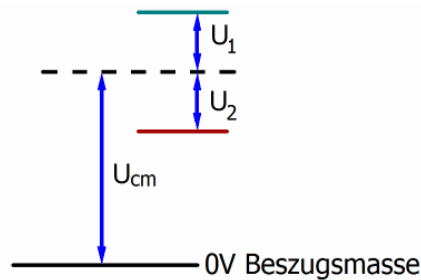


Abb. 26: Gleichtaktspannung (U_{cm})

Bei der Definition des zulässigen Gleichtaktspannungsbereiches und bei der Messung der Gleichtaktunterdrückung (CMRR, common mode rejection ratio) bei differenziellen Eingängen ist die Definition der Bezugsmasse wichtig.

Die Bezugsmasse ist auch das Potential, gegen welches der Eingangswiderstand und die Eingangsimpedanz bei single-ended-Eingängen bzw. der Gleichtaktwiderstand und die Gleichtaktimpedanz bei differenziellen Eingängen gemessen werden.

Die Bezugsmasse ist an/bei der Klemme/ Box i.d.R. zugänglich. Orte dafür können Klemmkontakte, Powerkontakte/ Powerleitung oder auch nur eine Tragschiene sein. Zur Verortung siehe Dokumentation, die Bezugsmasse sollte beim betrachteten Gerät angegeben sein.

Bei mehrkanaligen Klemmen/ Boxen mit resistiver (=direkter, ohmscher, galvanischer) oder kapazitiver Verbindung zwischen den Kanälen ist die Bezugsmasse vorzugsweise der Symmetriepunkt aller Kanäle, unter Betrachtung der Verbindungswiderstände.

Beispiele für Bezugsmassen bei Beckhoff IO Geräten:

1. internes AGND (analog GND) herausgeführt:
EL3102/EL3112, resistive Verbindung der Kanäle untereinander
2. 0V-Powerkontakt:
EL3104/EL3114, resistive Verbindung der Kanäle untereinander an AGND, AGND niederohmig verbunden mit 0V-Powerkontakt
3. Erde bzw. SGND (shield GND):
 - EL3174-0002: Kanäle haben keine resistive Verbindung untereinander, aber sind kapazitiv durch Ableitkondensatoren an SGND gekoppelt
 - EL3314: keine interne Masse auf die Klemmpunkte herausgeführt, aber kapazitive Kopplung an SGND

4.2.6 Spannungsfestigkeit

Es ist zu unterscheiden zwischen:

- Spannungsfestigkeit (Zerstörgrenze): eine Überschreitung kann irreversible Veränderungen an der Elektronik zur Folge haben, Wertbetrachtung dabei
 - gegen eine festgelegte Bezugsmasse oder
 - differentiell
- Empfohlener Einsatzspannungsbereich: Bei einer Überschreitung kann nicht mehr von einem spezifikationsgemäßem Betrieb ausgegangen werden, Wertbetrachtung dabei
 - gegen eine festgelegte Bezugsmasse oder
 - differentiell

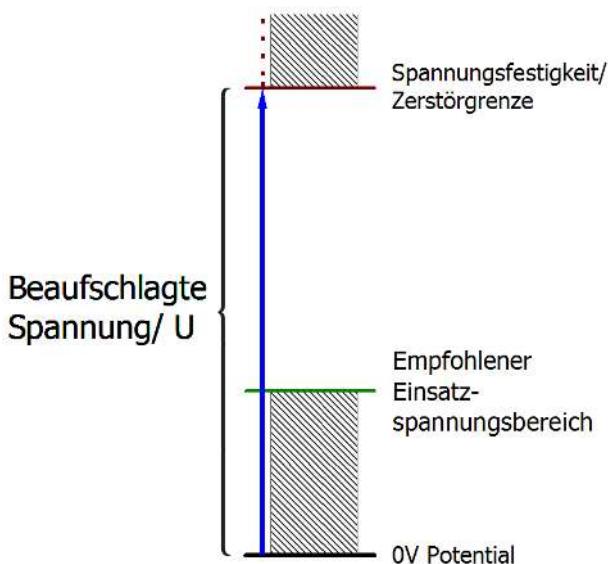


Abb. 27: Empfohlener Einsatzspannungsbereich

Es können in den Gerätedokumentationen besondere Spezifikationsangaben dazu und zur Zeitangabe gemacht werden, unter Berücksichtigung von:

- Eigenerwärmung
- Nennspannung
- Isolationsfestigkeit
- Flankensteilheit der Anlege-Spannung bzw. Haltedauern
- Normatives Umfeld (z. B. PELV)

4.2.7 Zeitliche Aspekte der analog/digital Wandlung

Die Umwandlung des stetigen analogen elektrischen Eingangssignals in eine wertdiskrete digitale und maschinenlesbare Form wird in den Beckhoff analogen Eingangsbaugruppen EL/KL/EP mit sog. ADC (analog digital converter) umgesetzt. Obgleich verschiedene ADC-Technologien gängig sind, haben sie alle aus Anwendersicht ein gemeinsames Merkmal: nach dem Ende der Umwandlung steht ein bestimmter digitaler Wert zur Weiterverarbeitung in der Steuerung bereit. Dieser Digitalwert, das sog. Analoge Prozessdatum, steht in einem festen zeitlichen Zusammenhang mit der „Ur-Größe“, dem elektrischen Eingangswert. Deshalb können für Beckhoff analoge Eingangsgeräte auch entsprechende zeitliche Kenndaten ermittelt und spezifiziert werden.

In diesen Prozess sind mehrere funktionale Komponenten involviert, die mehr oder weniger stark ausgeprägt in jeder AI (analog input) Baugruppe wirken:

- die elektrische Eingangsschaltung
- die Analog/Digital-Wandlung
- die digitale Weiterverarbeitung
- die finale Bereitstellung der Prozess- und Diagnosedaten zur Abholung an den Feldbus (EtherCAT, K-Bus etc.)

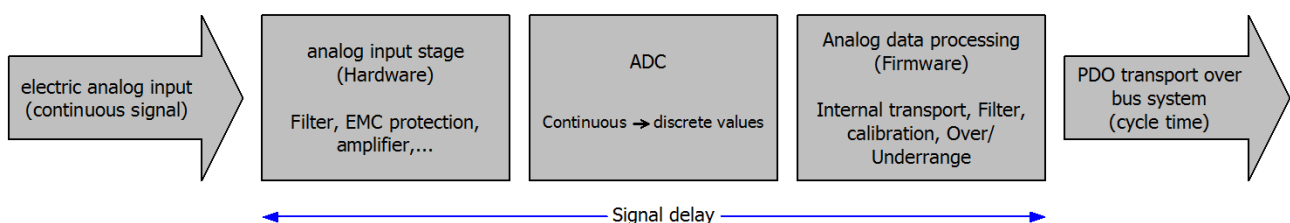


Abb. 28: Signalverarbeitung Analogeingang

Aus Anwendersicht sind dabei zwei Aspekte entscheidend:

- „Wie oft bekomme ich neue Werte?“, also eine Sampling-Rate im Sinne einer Schnelligkeit in Bezug auf das Gerät/den Kanal
- Wieviel Verzögerung verursacht die (gesamte) AD-Wandlung des Gerätes/des Kanals? Also Hard- und Firmware-Teile in toto. Aus technologischen Gründen muss zur Bestimmung dieser Angabe die Signalcharakteristik betrachtet werden: je nach Signalfrequenz kann es zu unterschiedlichen Laufzeiten durch das System kommen.

Dies ist die „äußere“ Betrachtung des Systems „Beckhoff AI Kanal“ – intern setzt sich insbesondere die Signalverzögerung aus den verschiedenen Anteilen Hardware, Verstärker, Wandlung selbst, Datentransport und Verarbeitung zusammen. Auch kann ggf. intern eine höhere Abtastrate verwendet werden (z.B. bei deltaSigma-Wandlern) als „außen“ aus Anwendersicht angeboten wird. Dies ist aber für ein nutzseitige Betrachtung der Komponente „Beckhoff AI Kanal“ normalerweise ohne Belang bzw. wird entsprechend spezifiziert, falls es doch für die Funktion relevant ist.

Damit können für Beckhoff AI Geräte folgende Spezifikationsangaben zum AI Kanal aus zeitlicher Sicht für den Anwender angegeben werden:

1. Minimale Wandlungszeit [ms, µs]

Dies ist der Kehrwert der maximalen **Sampling-Rate** [Sps, Samples per second]:

Gibt an, wie oft der analoge Kanal einen neu festgestellten Prozessdatenwert zur Abholung durch den Feldbus bereitstellt. Ob der Feldbus (EtherCAT, K-Bus) diesen dann auch genauso schnell (also im Gleichtakt), schneller (weil der AI Kanal im langsame FreeRun läuft) oder langsamer (z.B. bei Oversampling) abholt, ist dann eine Frage der Einstellung des Feldbusses und welche Betriebsmodi das AI Gerät unterstützt.

Bei EtherCAT Geräten zeigt das sog. ToggleBit bei den Diagnose-PDO an (indem es toggelt), dass ein neu ermittelter Analogwert vorliegt.

Entsprechend kann eine maximale Wandlungszeit, also eine minimal vom AI Gerät unterstützte Samplingrate spezifiziert werden.

Entspricht IEC 61131-2 Kap 7.10.2 2) „Abtast-Wiederholzeit“

2. Typ. Signalverzögerung

Entspricht IEC 61131-2 Kap 7.10.2 1) „Abtastdauer“. Sie inkludiert nach dieser Betrachtung alle geräteinternen Hard- und Firmware-Anteile, aber nicht „äußere“ Verzögerungsanteile aus dem Feldbus oder der Steuerung (TwinCAT).

Diese Verzögerung ist insbesondere relevant für absolute Zeitbetrachtungen, wenn AI Kanäle zum Amplitudenwert auch einen zugehörigen Zeitstempel (timestamp) mitliefern – von dem ja angenommen werden darf, dass er in seinem Zeitwert zu dem außen ehemals physikalisch anliegenden Amplitudenwert passt.

Aufgrund der frequenzabhängigen Laufzeit eines Signals, kann ein dezidierter Wert nur für ein gegebenes Signal spezifiziert werden. Der Wert ist auch abhängig von ggf. veränderlichen Filtereinstellungen des Kanals.

Eine typische Charakterisierung in der Gerätedokumentation kann sein:

2.1 Signalverzögerung (Sprungantwort)

Stichworte: Einschwingzeit

Das Rechtecksignal kann extern mit einem Frequenzgenerator (Impedanz beachten!) erzeugt werden.

Als Erkennungsschwelle wird die 90% Grenze verwendet.

Die Signalverzögerung [ms, µs] ist dann der zeitliche Abstand zwischen dem (idealen) elektrischen Rechtecksignal und der Zeitpunkt wo der analoge Prozesswert die 90% Amplitude erreicht hat.

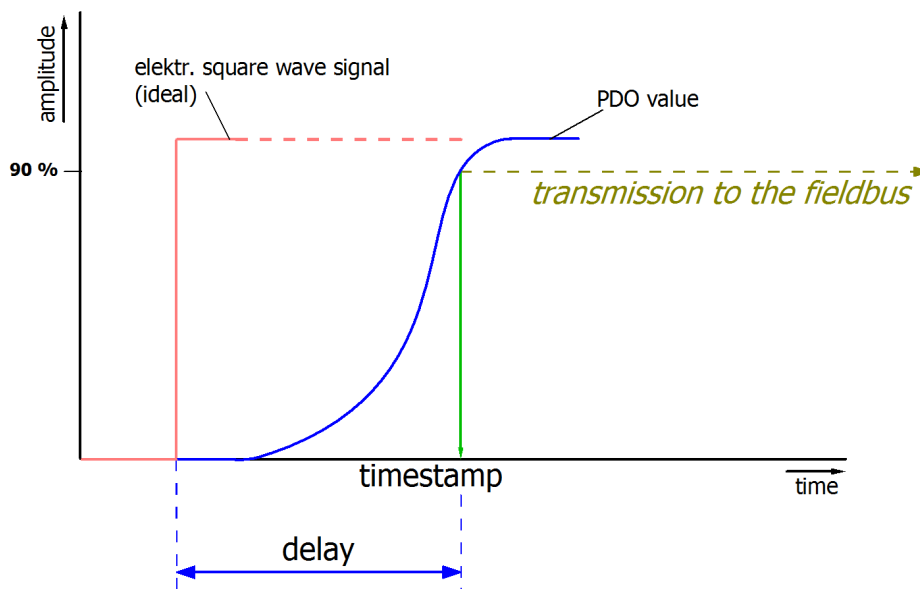


Abb. 29: Diagramm Signalverzögerung (Sprungantwort)

2.2 Signalverzögerung (linear)

Stichwort: Gruppenlaufzeit

Beschreibt die Verzögerung eines frequenzkonstanten Signals

Testsignal kann extern mit einem Frequenzgenerator erzeugt werden, z. B. als Sägezahn oder Sinus.

Referenz wäre dann ein zeitgleiches Rechtecksignal.

Die Signalverzögerung [ms, μ s] ist dann der zeitliche Abstand zwischen dem eingespeisten elektrischen Signal einer bestimmten Amplitude und dem Moment wo der analoge Prozesswert denselben Wert erreicht. Dazu muss die Testfrequenz in einem sinnvollen Bereich gewählt werden; diese kann z. B. bei 1/20 der maximalen Sampling-Rate liegen.

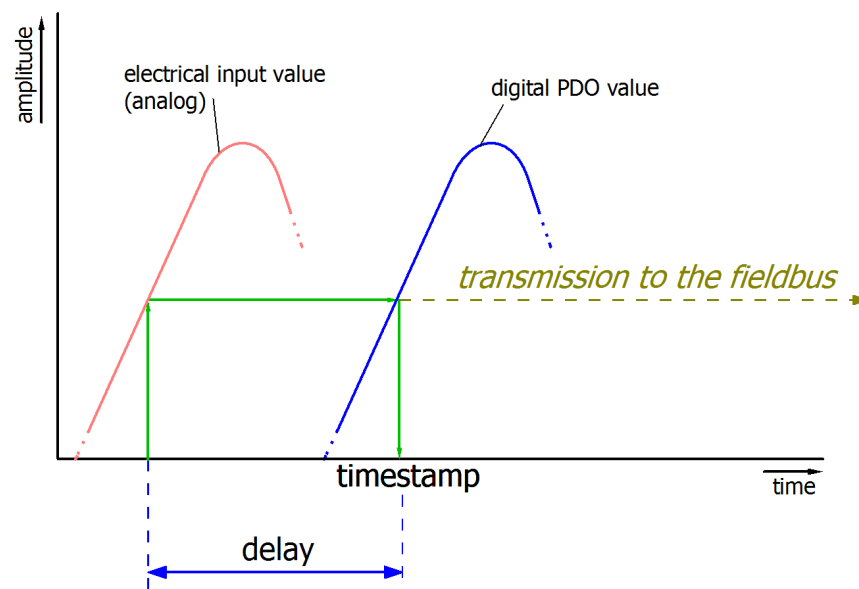


Abb. 30: Diagramm Signalverzögerung (linear)

3. Weitere Angaben

Weitere Angaben können in der Spezifikation optional angeführt sein, wie z. B.

- Tatsächliche Sampling-Rate des ADC (wenn unterschiedlich von der Kanal-Sampling-Rate)
- Zeit-Korrekturwerte für Laufzeiten bei unterschiedlichen Filtereinstellungen
- usw.

4.3 Grundlagen der DMS-Technologie

Es liegen in dieser Dokumentation die folgenden aufgeführten Identitäten bei der Bezeichnung der verwendeten Spannungsarten vor:

Bezeichnung	Verwendet	
	im Folgenden Abschnitt	entspricht in dieser übrigen Dokumentation
Versorgungs-/ Erregerspannung	U_{Exc}	U_V, U_S oder U_{Supply}
Brücken-Differenzspannung	U_{Bridge}	U_{IN}, U_{diff} oder U_D
Kompensations-/ Referenzspannung	U_{Sense}	U_{ref} oder U_{Ref}

Bezeichnungen der verwendeten Spannungsarten

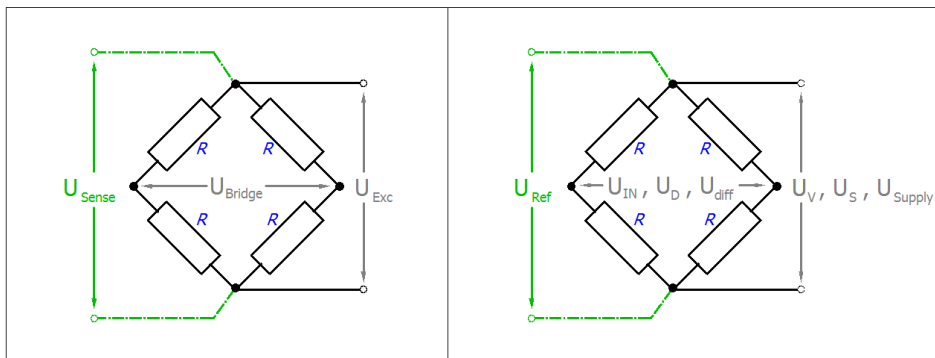


Abb. 31: Verwendete Bezeichnungen: im folgenden Abschnitt (links), in dieser übrigen Dokumentation (rechts)

Es sollen im Folgenden einige grundsätzliche Informationen zum Technologiebereich DMS/ Wägezellen als metrologisches Instrument gegeben werden. Diese sind von allgemeiner Natur, es ist vom Anwender zu prüfen, inwieweit diese Hinweise auf seine Applikation zutreffen.

- Dehnungsmessstreifen (DMS, engl. strain gauge) dienen dazu, unmittelbar durch Fixierung auf einem Körper dessen statischen (0 bis wenige Hz) oder dynamischen (bis mehrere kHz) Dehnungen, Stauchungen oder Torsionen aufzunehmen. Oder sie erfassen mittelbar als Teil eines Sensors verschiedene Kräfte oder Bewegungen zu erfassen (z. B. Wägezellen/ Kraftaufnehmer, Wegaufnehmer, Schwingungssensoren). Die ausgewertete Größe ist die Änderung der DMS-Eigenschaft (z. B. der elektrische Widerstand).
- Bei optischen DMS (z. B. Bragg-Gitter) bewirkt eine Kräfteinwirkung auf eine als Sensor genutzte Faser eine proportionale Veränderung derer optischen Eigenschaften. Es wird Licht mit einer bestimmten Wellenlänge in den Sensor geleitet. Je nach Verformung des in den Sensor eingelasserten Gitters wird durch die mechanische Beanspruchung ein Teil des Lichts reflektiert und mit einem geeigneten Messwertaufnehmer (Interrogator) ausgewertet.

Das am weitesten verbreitete Prinzip im industriellen Umfeld ist der elektrische DMS. Es sind viele Begriffe für diese Art von Sensoren üblich: Wägezelle, Lastmessdose, Wiegebrücke etc.

Aufbau elektrischer DMS

Ein DMS besteht aus einem Trägermaterial (z. B. eine dehnbare Kunststoffolie) mit aufgebracht Metallfolie, aus welchem –je nach Anforderung in sehr verschiedenen geometrischen Formen - eine Struktur zu einem verformbaren, elektrischen Dünnschicht-Widerstand herausgearbeitet wird.

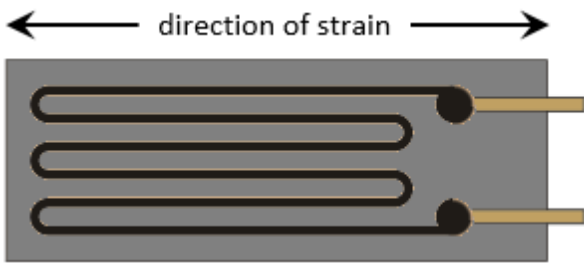


Abb. 32: Prinzipdarstellung eines DMS

Dabei wird das Verhalten ausgenutzt, dass z. B. bei Dehnung eines metallischen Widerstandsleiters seine Länge zu- und der Durchmesser abnimmt, wodurch sein elektrischer Widerstand messbar steigt:

$$\Delta R/R = k \cdot \epsilon.$$

Dabei entspricht $\epsilon = \Delta l/l$ der relativen Längenänderung, die Dehnungsempfindlichkeit wird als k-Faktor bezeichnet. Daraus resultiert auch die charakteristische Bahnführung des leitfähigen Materials innerhalb des DMS: Die Widerstandsbahn wird mäandrierend (in Schlangenlinien) verlegt, um eine möglichst lange Strecke der Dehnung auszusetzen und gleichzeitig die Selektivität der Krafrichtungseinwirkung heraufzusetzen.

Beispiel:

Die Dehnung von $\epsilon = 0,1 \%$ eines DMS mit k-Faktor 2 bewirkt eine Widerstandserhöhung um 0,2 %. Typische Widerstandsmaterialien sind Konstantan ($k \approx 2$) oder Platin-Wolfram (92PT, 8W mit $k \approx 4$). Bei Halbleiter-DMS wird eine Siliziumstruktur auf ein Trägermaterial geklebt. Die Leitfähigkeit wird primär durch Deformation des Kristallgitters verändert (piezoresistiver Effekt), es können k-Faktoren bis 200 erreicht werden.

Messung von Signalen

Die Widerstandsänderung eines einzelnen DMS kann grundsätzlich durch Widerstandsmessung (Strom-/ Spannungsmessung) in 2/3/4-Leitermessung ermittelt werden.

Üblicherweise werden 1/2/4 DMS in einer wheatstoneschen Brücke angeordnet (Viertel-/Halb-/Vollbrücke), dabei ist der Nennwiderstand bzw. Impedanz R_0 aller DMS (und der ggf. verwendeten Ergänzungswiderstände) üblicherweise gleich, $R1 = R2 = R3 = R4 = R_0$. Im unbelasteten Zustand sind typische Werte $R_0 = 120 \Omega, 350 \Omega, 700 \Omega$ oder $1 \text{ k}\Omega$.

Die Vollbrücke besitzt die besten Eigenschaften wie erhöhte Linearität bei Strom-/ Spannungsspeisung, bis zu vierfacher Empfindlichkeit gegenüber der Viertelbrücke, sowie systematische Kompensation von Störeinflüssen wie Temperaturdrift und Kriechen. Um die hohe Empfindlichkeit zu erreichen, werden dabei die vier einzelnen DMS auf dem zu vermessenden Objekt (dem Träger) so angeordnet, dass je zwei gedehnt und zwei gestaucht werden.

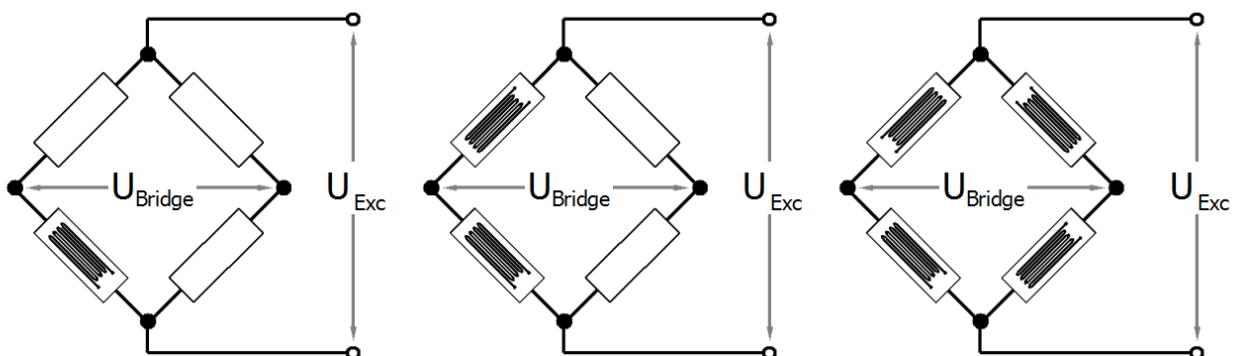


Abb. 33: Viertel-, Halb-, und Vollbrücke

An dieser Stelle werden die drei wichtigen Spannungen im Umfeld einer Brücke definiert:

- U_{Exc} :
 - das ist die Speisespannung der Brücke wie sie aus dem Messgerät oder einer externen Quelle kommt,
 - üblicherweise im Bereich 1...12 V DC,
 - sie wird über die Zuleitung zur Brücke geführt. Da dort Strom fließt, kommt es immer zu einem Spannungsabfall über die Zuleitung, die Brücke sieht also effektiv nur eine Spannung $< U_{Exc}$,
 - andere Begriffe: U_V , U_S , Exzitation, Erregung, Supply, Versorgung.
- U_{Sense} :
 - das ist die Brückenversorgungsspannung wie sie das Messgerät „sieht“,
 - üblicherweise im Bereich 1...12 V DC,
 - ohne extra Sense-Zuleitung (z. B. 6-Leiter-Betrieb der Vollbrücke) ist sie im Messgerät gleich der U_{Exc} ,
 - bei Betrieb der Brücke **mit** Sense-Leitung (Vollbrücke: 6-Leiter-Betrieb, Halbbrücke: 5-Leiter-Betrieb, Viertelbrücke: 3/4-Leiter-Betrieb) kommt U_{Sense} von der Brücke annähernd stromfrei zurück zum Messgerät, so kennt das Messgerät die „wahre“ U_{Exc} der Brücke.
 - andere Begriffe: U_{Ref} , Reference, RemoteSense, Feedback, Compensation.
- U_{Bridge} :
 - das ist die durch die Last in der Brücke „erzeugte“ sehr kleine differentielle Brückenspannung, die vom Messgerät gemessen werden soll,
 - sie kommt von der Brücke annähernd stromfrei zurück zum Messgerät und liegt meist im Bereich 1..50 mV, je nach Höhe von U_{Exc} , Last und Brückenempfindlichkeit,
 - andere Begriffe: U_D , $U_{Differential}$, Signal, AI.

Messbrücken können allgemein mit Konstantstrom, Konstantspannung oder aber mit Wechselspannung (z. B. beim Trägerfrequenzverfahren) betrieben werden.

**Messverfahren**

Die Beckhoff Klemmen EL/KL335x und ELM35/37xx unterstützen nur die Erregung mit Konstantspannung. Falls Erregung mit Wechselspannung benötigt wird, wenden Sie sich bitte an den Beckhoff Vertrieb.

Vollbrücken-DMS an Konstantspannung (ratiometrische Messung)

Da die relative Widerstandsänderung $\Delta R/R$ gering ist im Verhältnis zum Nennwiderstand R_0 , wird für DMS in der wheatstoneschen Anordnung eine vereinfachte Gleichung angegeben:

$$U_{Bridge}/U_{Exc} = 1/4 \cdot (\Delta R1 - \Delta R2 + \Delta R3 - \Delta R4)/R_0.$$

Bei Dehnung hat $\Delta R/R$ in der Regel ein positives, bei Stauchung ein negatives Vorzeichen.

Eine geeignete Messeinrichtung misst die Brückenversorgungsspannung U_{Exc} (bzw. U_V) und die resultierende Brückenspannung U_{Bridge} (bzw. U_D), und bildet den Quotienten aus beiden Spannungen, also das Verhältnis (lateinisch: ratio). Nach weiterer Berechnung und Skalierung erfolgt die Ausgabe des Messwertes z. B. in Form der wirkenden Masse in kg. Aufgrund der Division von U_{Bridge} und U_{Exc} ist die Messung grundsätzlich unabhängig von Änderungen der Versorgungsspannung.

Werden die Spannungen U_{Bridge} und U_{Exc} dabei simultan, d. h. im gleichen Moment gemessen und ins Verhältnis gesetzt, so spricht man von einer ratiometrischen Messung.

Der Vorteil liegt darin, dass (bei simultaner Messung) auch kurzzeitige Veränderungen der Versorgungsspannung (z. B. EMV-Einflüsse) oder eine allgemein nicht ganz exakte oder zeitlich instabile Versorgungsspannung ebenfalls keinen Einfluss auf das Messergebnis haben.

Eine Änderung von U_{Exc} um z. B. 1 % erzeugt nach der obigen Gleichung die gleiche prozentuale Änderung an U_{Bridge} . Durch die simultane Messung von U_{Bridge} und U_{Exc} kürzt sich der Fehler bei der Division vollständig heraus.

4-Leiter- vs. 6-Leiter-Anschluss

Bei Versorgung mit einer konstanten Spannung fließt ein nicht unerheblicher Strom von z. B. $12\text{ V} / 350\ \Omega \approx 34,3\text{ mA}$. Dadurch entsteht nicht nur Verlustwärme, wobei die Spezifikation des verwendeten DMS nicht überschritten werden darf, sondern es können Messfehler bei unzureichender Verdrahtung durch nicht berücksichtigte oder nicht kompensierbare Leitungsverluste entstehen.

Grundsätzlich kann eine Vollbrücke in 4-Leiterschaltung betrieben werden (zwei Leitungen für die Versorgung U_{Exc} , und zwei Leitungen für die Messung der Brückenspannung U_{Bridge}).

Bei Verwendung von z. B. 25 m Kupferleitung (hin + zurück = 50 m), mit einem Querschnitt von $q = 0,25\text{ mm}^2$ vom Sensor bis zum auswertenden Messmodul, ergibt dies einen Leitungswiderstand von

$$R_L = l / (\kappa \cdot q) = 50\text{ m} / (58\text{ S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2 \cdot 0,25\text{ mm}^2) = 3,5\ \Omega.$$

Bleibt dieser Wert konstant, so kann der dadurch entstehende Fehler herauskalibriert werden. Aber unter Annahme einer realitätsnahen Temperaturänderung von z. B. $30\text{ }^\circ\text{C}$ ändert sich der Leitungswiderstand R_L um

$$\Delta R_L = 30\text{ K} \cdot 3,9 \times 10^{-3}\text{ 1/K} \cdot 3,5\ \Omega = 0,41\ \Omega.$$

Bezogen auf eine Messbrücke mit $350\ \Omega$ Eingangsimpedanz bedeutet dies einen Messfehler von mehr als 1 %.

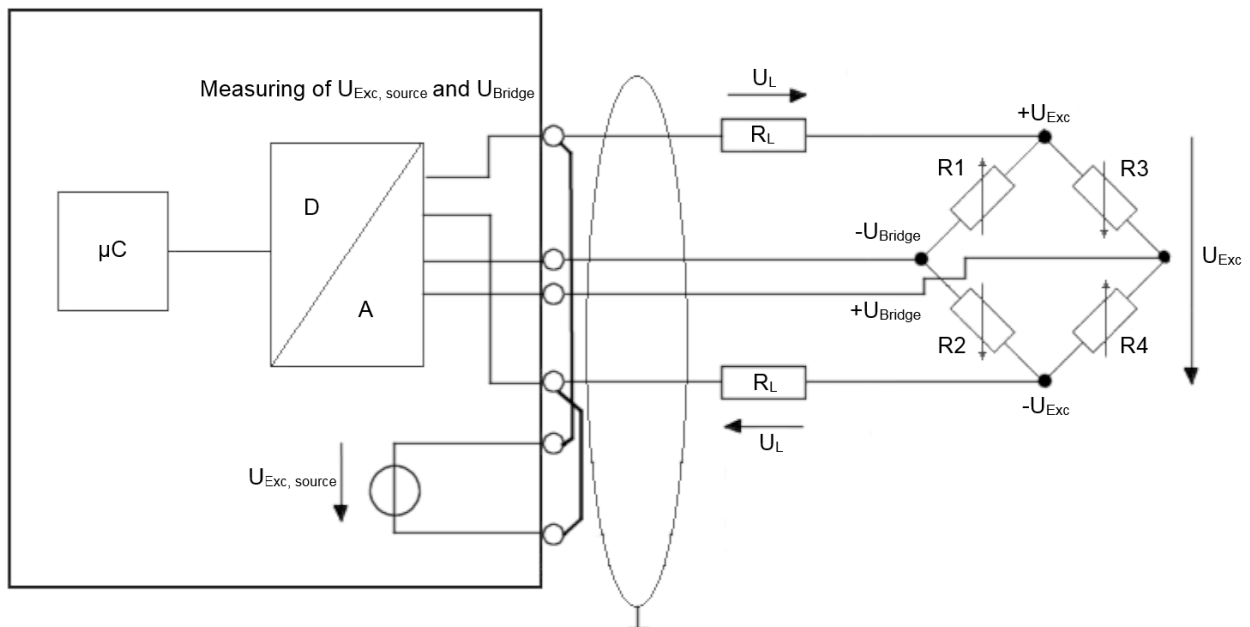


Abb. 34: 4-Leiter-Anschluss

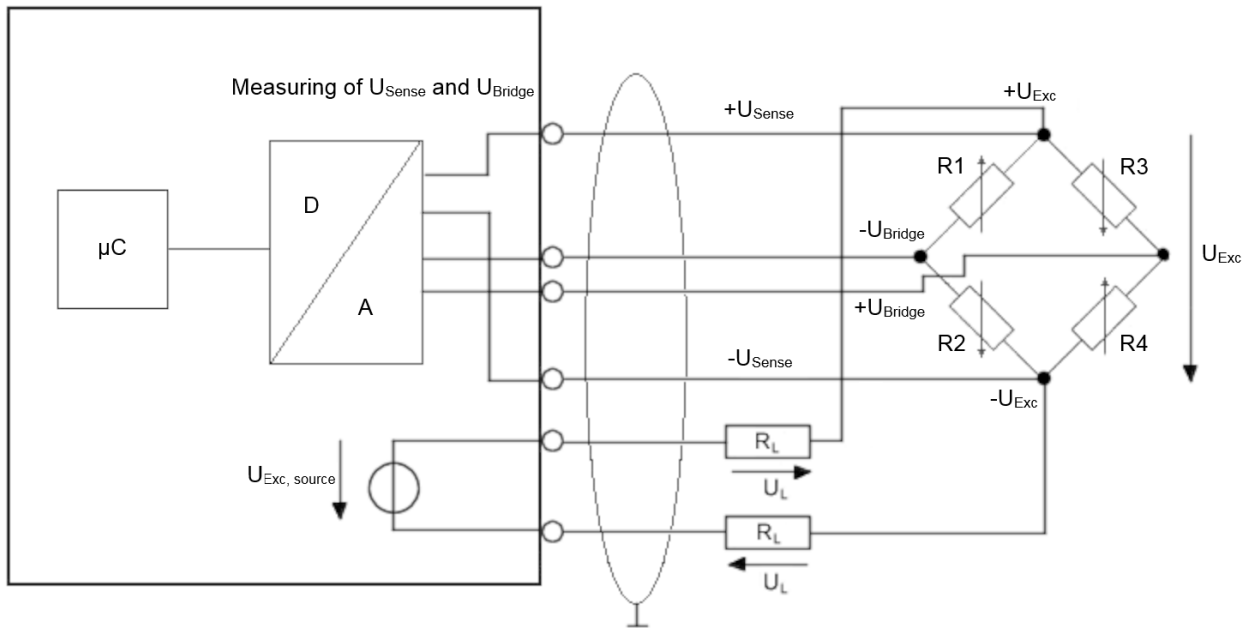


Abb. 35: 6-Leiter-Anschluss

Abhilfe schafft besonders bei Präzisionsanwendungen ein 6-Leiter-Anschluss.

Dabei wird die Versorgungsspannung U_{Exc} an die Brücke herangeführt (ergibt das stromführende Leitungspaar, die Zuleitung). Erst direkt an der Messbrücke wird die Versorgungsspannung U_{Exc} als Referenzspannung U_{Sense} gleichartig wie die Brückenspannung U_{Bridge} mit je zwei nahezu stromlosen Rückleitern hochohmig gemessen (an Messgeräten oft als "Sense"-Eingang beschrieben). Manche Messverstärker erhöhen dann die Speisespannung automatisch soweit, dass an der Brücke trotz Spannungsabfall auf der Zuleitung die gewünschte Speisespannung ansteht. Durch die Rückmessung von U_{Sense} können in jedem Fall die leitungsbedingten Fehler kompensiert werden.

Da es sich um sehr kleine Spannungspegel im mV und μ V-Bereich handelt, sollten alle Leitungen geschirmt sein.

Aufbau einer Wägezelle mit DMS

Eine Anwendung der DMS ist der Aufbau von Wägezellen (WZ).

Dabei werden DMS (in der Regel Vollbrücken) auf einen elastischen mechanischen Träger, z. B. Doppelbiegebalken-Federkörper, geklebt und gegen Umwelteinflüsse zusätzlich abgedeckt.

Die einzelnen DMS werden für maximale Ausgangssignale entsprechend der Beanspruchungsrichtung ausgerichtet (zwei DMS in Dehnungsrichtung und zwei in Stauchungsrichtung).

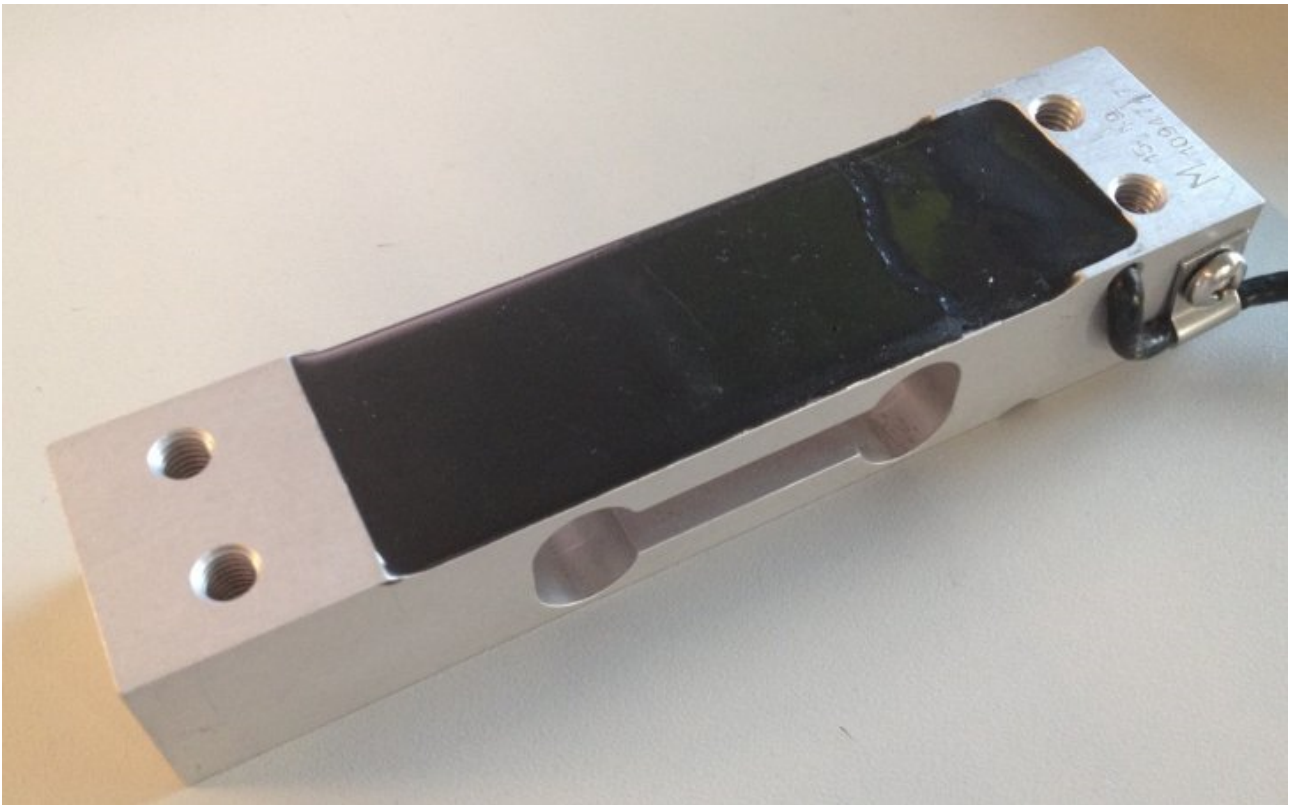


Abb. 36: Beispiel Wägezelle

Die wichtigsten Kenndaten einer Wägezelle



Kenndaten

Bitte informieren Sie sich beim Sensorhersteller über die genauen Kenndaten!

Nennlast E_{\max}

Maximal zulässige Belastung für normalen Betrieb, z. B. 10 kg.

Nennkennwert mV/V

Der Nennkennwert beschreibt die Empfindlichkeit der Wägezelle bei Nennlast E_{\max} . Dieser (einheitenlose) Wert gibt bei der Wheatstoneschen Messbrücke an, wie sich die Brückenspannung U_{Bridge} in Abhängigkeit von der Speisespannung U_{Exc} ändert, wenn die Brücke mit der Nennlast E_{\max} belastet wird.

Ein Beispiel: ein Nennkennwert 2 mV/V bedeutet, dass bei einer Versorgung mit $U_{\text{Exc}} = 10 \text{ V}$ und bei voller Belastung E_{\max} der Wägezelle die maximale Ausgangsspannung $U_{\text{Bridge}} = 10 \text{ V} \cdot 2 \text{ mV/V} = 20 \text{ mV}$ beträgt. Der Nennkennwert ist immer ein nomineller Wert - bei guten Wägezellen ist ein Herstellerprüfprotokoll beigegeben, das den für die einzelne Wägezelle ermittelten Kennwert mitteilt, z. B. 2,0782 mV/V.

Genauigkeitsklasse einer Waage nach OIML R60

Die Genauigkeitsklasse wird durch einen Buchstaben (A, B, C, D) und eine zusätzliche Ziffer angegeben, welche den **Teilungswert d mit einer maximalen Anzahl n_{\max}** verschlüsselt ($\cdot 1000$), z. B. C4 bedeutet Klasse C mit maximal 4000 Teilungswerten. Ein Teilungsschritt ist als die kleinstmögliche/zulässige Einheit zu verstehen, mit der Gewichte unterschieden werden können. Kleinere Gewichtsunterschiede als die Teilungseinheit können mit der Waage also nicht eindeutig unterschieden werden. Je hochwertiger eine Wägeeinheit gebaut ist in Bezug auf verwendete Komponenten und interne Kompensationselemente, desto feiner kann sie auflösen.

Die Klassen geben eine Höchst- und Mindestgrenze für die **Teilungswerte d** vor:

- A: 50.000 – unbegrenzt,

- B: 5000 – 100.000,
- C: 500 – 10.000,
- D: 500 – 1000.

Der Teilungswert $n_{\max} = 4000$ sagt aus, dass mit einer WZ mit einer Auflösung von $E_{\min} = 1 \text{ g}$ eine eichfähige Waage gebaut werden kann, welche einen maximalen Messbereich von $4000 \cdot E_{\min} = 4 \text{ kg}$ hat. Da E_{\min} dabei eine Mindestangabe ist, könnte – wenn es die Anwendung zulässt – mit der gleichen WZ eine 8-kg Waage gebaut werden, wobei dann die (eichfähige) Auflösung auf $8 \text{ kg} / 4000 = 2 \text{ g}$ sinkt. Anders betrachtet ist der Teilungswert n_{\max} eine Maximalangabe, so könnte mit o. g. Wägezelle eine Waage mit Messbereich 4 kg, aber nur einer Auflösung von 2000 Teilen = 2 g gebaut werden, wenn dies für die jeweilige Anwendung ausreichend ist. Es unterscheiden sich auch die Klassen in bestimmten Fehlergrenzen bezogen auf Nichtwiederholbarkeit/Kriechen/TK.

Genauigkeitsklasse nach PTB

In fast gleichlautender Weise sind die europäischen Genauigkeitsklassen definiert (Quelle: PTB Braunschweig).

Klasse	Eichwert e	Mindestlast E_{\min}	Maximallast E_{\max}	
			Mindestwert	Höchstwert
I Feinwaage	$0,001 \text{ g} \leq e$	100 e	50000 e	-
II Präzisionswaage	$0,001 \text{ g} \leq e \leq 0,05 \text{ g}$	20 e	100 e	100000 e
	$0,1 \text{ g} \leq e$	50 e	5000 e	100000 e
III Handelswaage	$0,1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$	20 e	100 e	10000 e
	$5 \text{ g} \leq e$	20 e	500 e	10000 e
IIII Grobwaage	$5 \text{ g} \leq e$	10 e	100 e	1000 e

Zu beachten ist, dass eine Waage in eichpflichtiger Umgebung meist nur mit deutlich geringerer Teilung einsetzbar ist, als das Datenblatt für unregulierte Umgebung ausweist.

Mindesteichwert E_{\min}

Gibt die kleinste Masse an, die gemessen werden kann, ohne dass der maximal zulässige Fehler der WZ überschritten wird [RevT].

Dieser Wert wird entweder durch die Formel $E_{\min} = E_{\max} / n$ dargestellt (mit n als ganzzahligem Wert, z. B. 10000), oder in % von E_{\max} (z. B. 0,01 %).

Dies bedeutet, dass eine Wägezelle mit $E_{\max} = 10 \text{ kg}$ eine maximale Auflösung von

$$E_{\min} = 10 \text{ kg} / 10000 = 1 \text{ g} \text{ bzw. } E_{\min} = 10 \text{ kg} \cdot 0,01 \% = 1 \text{ g}$$

hat.

Auflösung der Waage/DMS vs. Auflösung der elektronischen Erfassung

Waagen haben wie o.a. einen Teilungswert, eine Anzahl auflösbarer Schritte, z. B. 6000d. Eine 12 kg-Waage könnte also mit 2 g auflösen, das sind 0,016 % oder 166 ppm vom MBE (Messbereichsendwert).

Demgegenüber steht die Frage, welche elektrische Analogerefassung für eine derartige Waage nötig ist, wenn sie ausgeschöpft werden soll. Die Antwort findet sich in folgenden Schritten:

- Die Auflösung der Analogwerterfassung muss auf jeden Fall gleich der Waagen-Teilung sein, besser größer. 6000d sind ca. $2^{12,5}$, also muss die Analogwerterfassung (ADC) mindestens 13 Bit_{ohne Vorzeichen} haben, 14 Bit mit Vorzeichen falls der Analogeingang bipolar misst (was meist der Fall ist).

- Allerdings bedeuten die 6000d dass die Waage 6000 Schritte eindeutig unterscheiden kann. Diese Forderung ist auch an die Analogwerterfassung (Wägeklemme) zu richten. Als oberster Richtwert für technisch eindeutig unterscheidbaren Stufen ist die Messunsicherheit der Wägeklemme anzusetzen. In diesem Fall muss diese also $< 166 \text{ ppm}_{\text{MBE}}$ betragen damit die 6000d-Waage auch auf eine 6000d-Elektronik trifft.
- Idealerweise schöpft die erzeugte Differenzspannung U_{Bridge} der Waage von z. B. 20 mV den Messbereich der Analogwerterfassung zu 100 % also bis zum Messbereichsendwert (MBE) aus! Andernfalls ist dies in der folgenden Rechnung zu berücksichtigen.
- Zu beachten ist, dass die analoge Spezifikation der Messunsicherheit bei Beckhoff-Analogprodukten je nach Klemme/Box unterschiedlich sein kann:
 - mit Messfehler/Messunsicherheit über den Betriebstemperaturbereich des Geräts, also z. B. $\pm 0,01 \text{ \%}_{\text{MBE}}$ bei $T_{\text{ambient}} = 0 \dots 55^\circ\text{C}$
 - oder genauer aufgeschlüsselt in den sog. Erweiterten analogen Kenndaten: Grundgenauigkeit @ $T_{\text{ambient}} = 23^\circ\text{C}$ und Temperaturkoeffizient von z. B. 10 ppm/K.
- Wenn eine noch genauere Betrachtung erforderlich ist, muss die Grundgenauigkeit (Messunsicherheit @ 23°C) weiter zerlegt werden. Die Grundgenauigkeit enthält die vier herstellerabhängigen Elemente: Gainfehler, Offsetfehler, Nichtlinearität und Wiederholgenauigkeit.
 - Der Offsetfehler kann durch einen 0-Abgleich (Tara) einfach eliminiert werden.
 - Ebenso kann der Gain-Fehler durch einen Abgleich mit Kalibriergewicht ermittelt werden.
 - Es verbleiben als unvermeidbarer Rest die Nichtlinearität und die Wiederholgenauigkeit. Wenn diese in der Beckhoff Gerätespezifikation gegeben sind, sind diese also die unterste Grenze für die mögliche „Teilung“ der Analogwerterfassung. Sind nach diesem Vorgehen beispielsweise die Nichtlinearität über den gesamten Messbereich, $F_{\text{Lin}} = 50 \text{ ppm}$ und die Wiederholgenauigkeit, $F_{\text{Rep}} = 20 \text{ ppm}$ könnte daraus eine Waage mit 14285d gebaut werden (1/70 ppm).
 - Hinweis: das setzt natürlich voraus, dass der Temperatureinfluss durch Klimatisierung und das Rauschen der Analogfassung durch (digitales) Filtern eliminiert wird.

Mindestanwendungsbereich bzw. Mindestmessbereich % v. Nennlast

Unter Mindestanwendungsbereich bezeichnet man den kleinsten Messbereich oder kleinsten Abschnitt eines Messbereichs, den eine eichfähige Wägezelle bzw. Waage abdecken muss.

Beispiel:

Obige Wägezelle $E_{\text{max}} = 10 \text{ kg}$, Mindestanwendungsbereich z. B. 40 % E_{max} .

Der genutzte Messbereich der WZ muss mindestens 4 kg sein. Der Mindestanwendungsbereich kann in einem beliebigen Bereich zwischen E_{min} und E_{max} liegen, z. B. zwischen 2 kg und 6 kg, wenn schon aufbaubedingt eine Taramasse von 2 kg vorliegt. Es ist dabei ebenfalls ein Zusammenhang mit n_{max} und E_{min} ersichtlich: $4000 \cdot 1 \text{ g} = 4 \text{ kg}$.

Es gibt andere wichtige Kennwerte, die weitestgehend selbsterklärend sind und daher hier nicht weiter besprochen werden, wie Nennkennwerttoleranz, Eingangs-/Ausgangswiderstand, Empfohlene Versorgungsspannung, Nenntemperaturbereich etc.

Parallelschaltung von DMS

Es ist üblich, eine Last mechanisch auf mehrere DMS-Wägezellen gleichzeitig zu verteilen. Damit kann z. B. eine 3-Punkt-Lagerung eines Silobehälters auf drei Wägezellen realisiert werden. Unter Berücksichtigung von Windlasten und Beladungsdynamik kann somit die Gesamtbelastung des Silos inkl. Behältereigenlast gemessen werden. Die mechanisch parallel geschalteten Wägezellen werden üblicherweise auch elektrisch parallel geschaltet und an ein Messwertaufnehmer angeschlossen, z. B. die EL3356. Dazu ist zu beachten:

- Es ist sehr empfehlenswert, dass die verwendeten Wägezellen im Nennkennwert mit geringer Toleranz justiert sind, also alle einen annähernd gleichen Nennkennwert von z. B. $2 \text{ mV/V} \pm 0,1 \text{ \%}$ haben. Verändert sich dann bei aufeinanderfolgenden Verwiegungen desselben Gewichts der Lastmittelpunkt und damit die Lastverteilung auf die Wägezellen, bleibt das Endergebnis gleich. Dagegen führt bei nicht-justierten Wägezellen mit z. B. $2 \text{ mV/V} \pm 10 \text{ \%}$ eine veränderliche Lastverteilung durch eine Veränderung des Kräfteinleitungspunktes bzw. Gewichtsmittelpunkt zu entsprechend veränderlichen Wiegeergebnissen.

- Die Eingangsimpedanz der Wägezellen (die in der Regel einige $10\ \Omega$ höher ist als die Ausgangs- oder Nenn-Impedanz) muss so beschaffen sein, dass die Stromspeisefähigkeit der Versorgung (kann integriert sein in die Aufnahmerelektronik) nicht überlastet wird und
- der Nennkennwert [mV/V] bleibt in der Rechnung dabei unverändert, die Nennlast der Wägezellen ist entsprechend zu addieren.

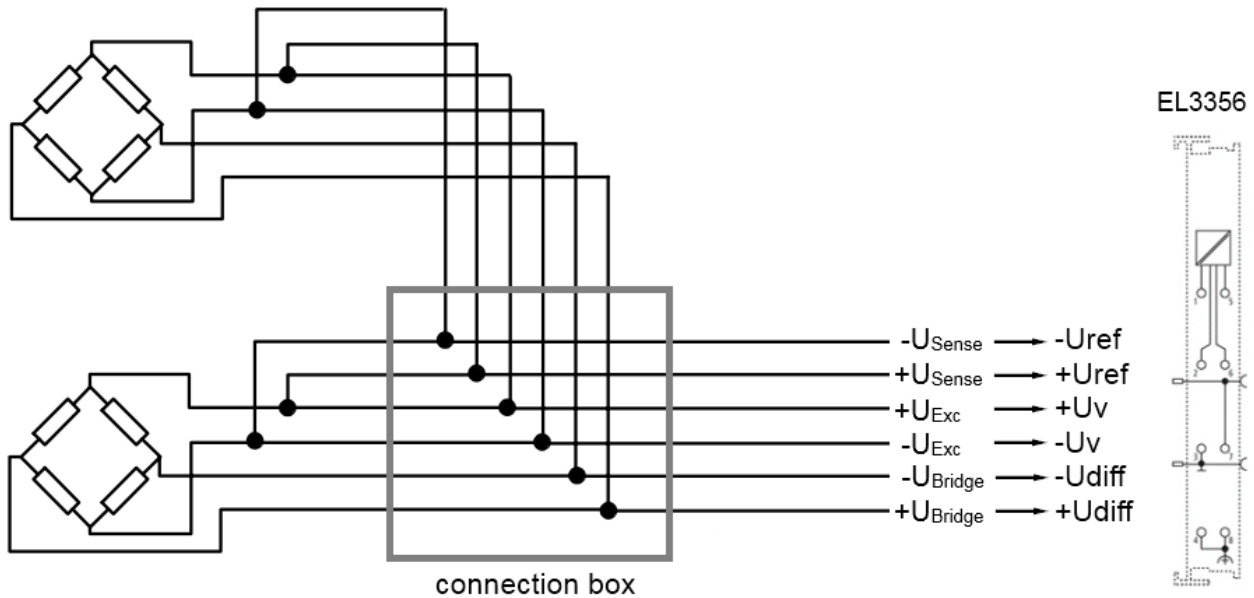


Abb. 37: Parallel-DMS

Shunt-Kalibrierung

Hinweise zur Shunt Kalibrierung

Hinweis: nicht alle Beckhoff DMS/Brückenmessgeräte unterstützen die Shunt-Kalibrierung.

Mit Shunt-Kalibrierung (auch: Nebenschlusskalibrierung) wird ein Verfahren bezeichnet, bei dem ein bekannter Widerstand einem Brückenwiderstand temporär parallelgeschaltet wird. Dies ist bei allen Brückenschaltungen möglich (Viertel/Halb/Vollbrücke), z. B. bei der Vollbrücke:

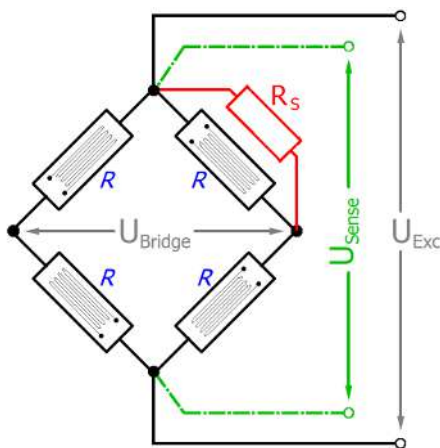


Abb. 38: Shunt-Kalibrierung

Dadurch wird eine Belastung der Messbrücke elektrisch simuliert, es stellt sich je nach Umständen ein Messsignalsprung von 0,1... einige mV/V ein. Das Interessante daran ist, dass der Sprung vorhersagbar ist und abhängig von allen beteiligten Elementen.

Die Shunt-Kalibrierung wird deshalb z. B. angewendet, um

- bei der Inbetriebnahme Kabelbrüche oder Verdrahtungsfehler zu finden,
- die Erst-Kalibrierung der Messvorrichtung zu vereinfachen: ist eine Belastung des Sensors nicht möglich, kann die Verstärkung der elektrischen Messung durch die bekannte Verstimmung überprüft werden. Noch weitergehend wäre die Erfassung, wenn der Shunt nicht im Messgerät (hier: Beckhoff Messklemme) sondern vorne im Sensor bzw. in der Brücke verbaut ist,
- im laufenden Betrieb ohmsche Veränderungen (die Verstärkung/Gain ändern) an Kabeln, Steckern, Voll/Halb/Viertelbrücke zu detektieren,
- bei der Inbetriebnahme reale Leitungswiderstände zu kompensieren, ohne eine (teure) Kompensationsleitung legen zu müssen. Dazu wird die ermittelte mit der theoretisch erwarteten Verstimmung verglichen und ein entsprechender Verstärkungskorrekturfaktor in der PLC oder Klemme gerechnet (ein technisch besserer Weg in Bezug auf Leitungswiderstände wäre aber die Verwendung von Kompensationsleitungen, d.h. 3-Leiter-Modus bei Viertelbrücke, 5-Leiter-Modus bei Halbbrücke, 6-Leiter-Modus bei Vollbrücke).

Ablauf der Shunt-Kalibrierung

1. Bei der Inbetriebnahme den Messwert bei gleichbleibender Last, idealerweise ohne Last notieren.
2. Den Shunt schließen, die Abweichung zum vorherigen Messwert notieren. Es sollte sich ein Signalsprung in [mV/V] einstellen die der vorberechneten Höhe entspricht.
3. Im weiteren Anlagenbetrieb kann die Shunt-Kalibrierung regelmäßig wiederholt werden, der Signalsprung sollte sich nicht wesentlich ändern – ansonsten haben sich elektrisch relevante Komponenten unbeabsichtigt verändert.

Theoretisch sollte sich ein Signalsprung nach der Gleichung

$$\frac{U_{IN}}{U_V} = \frac{R}{4 \cdot R_S}$$

für R = 350 Ω und Rs = 100 kΩ in der Höhe von 0,875 mV/V einstellen.

In hochwertiger Fachliteratur (Keil, Hoffmann) und punktuell bei Brücken-Herstellern (Vishay, HBM) finden sich Formeln und Informationen zum Shunt-Abgleich. Es muss an dieser Stelle aber der Hinweis gegeben werden, dass die reale Brückenausführung in handelsüblichen Messbrücken/DMS oft über die in einfachen Standardwerken beschriebenen Grundlagen mit R1...R4 = R hinausgeht. Dies zu wissen ist aber sehr wichtig, um den Signalsprung [mV/V] bei der Shuntkalibrierung vorausberechnen zu können. Deshalb soll im Folgenden auf einige Aspekte realer Messbrücken hingewiesen werden. Sie sind als Anregung zu verstehen, im Bedarfsfall sollte der Anwender, der in diesen Nutzungsbereich vordringt, Detailfragen - insbesondere mit dem gewählten Brückenhersteller diskutieren.

Input- vs. Output-Impedanz

Professionell hergestellte Messbrücken/Vollbrücken bestehen nicht nur aus den vier Brückenwiderständen R1, R2, R3, R4, sondern aus einer erheblichen Menge zusätzlicher Widerstände und anderer ausgefuchster Elemente, um z. B. Temperatur- und Nichtlinearitätseffekte zu kompensieren. Der sog. Nennwiderstand von 120 oder 350 Ω bezieht sich immer auf die Ausgangsimpedanz (Ausgangswiderstand) einer Brücke, also den Widerstand, den das Messgerät an U_{Bridge} sieht.

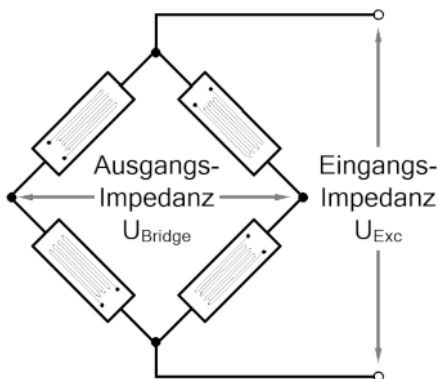


Abb. 39: Messbrücke mit 4 Brückenwiderständen

Die Eingangsimpedanz (Eingangswiderstand) ist theoretisch gleich, praktisch aber um bis zu 25 % größer als die Ausgangsimpedanz, da z. B. bei 350 Ω -Brücken gerne 2x ca. 32 Ω eingebaut werden (Hintergrund dazu siehe z. B. Stefan Keil, Beanspruchungsermittlung mit Dehnmessstreifen, 1995, Kap 5.3), die vom Sense auch erfasst werden:

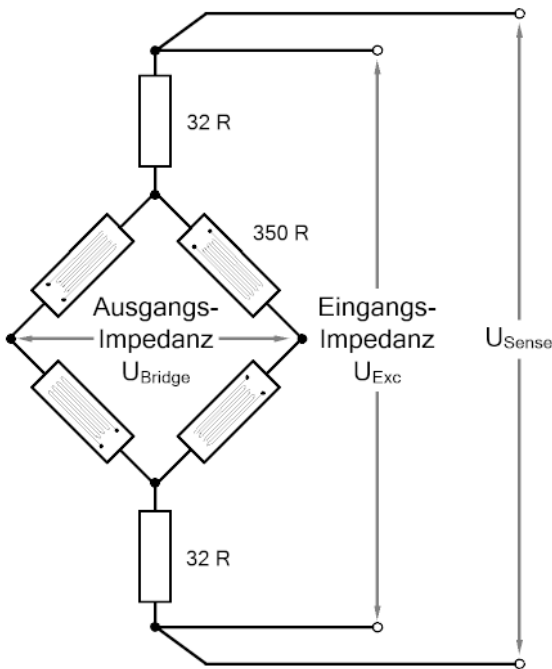


Abb. 40: Messbrücke mit 4 Brückenwiderständen und 2 zusätzlichen Widerständen

Das ist bei Nicht-Shunt-Betrieb irrelevant, es senkt sogar die Belastung für die Versorgung. Bei Shunt-Betrieb ist diese Information aber entscheidend, wenn der Signalsprung korrekt vorhergesagt werden soll. Darüber hinaus werden Brücken weltweit je nach Hersteller und Preisklasse sehr unterschiedlich aufgebaut, es sind auch Brücken bekannt die asymmetrisch bzgl. U_{Exc} aufgebaut sind.

Leitungswiderstände

Der Shunt brückt beabsichtigt Zuleitungen, also muss auch ihr Widerstandseinfluss für eine Signalsprung-Vorhersage bekannt sein, zumindest ausgemessen. Formeln und Angaben über Widerstände von Leitungen, Steckern und Schaltern sind in der Literatur, Herstellerdatenblättern und Internet-Quellen zu finden. Üblich sind hier bei kurzen Längen Werte im Bereich einiger 10 bis 100 m Ω .

Sprungvorhersage

Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen von Brücken und Umgebungen können hier keine umfassenden Werte oder Formeln für die Sprungvorhersage in [mV/V] gegeben werden. Aussagekräftiger ist die konkrete Berechnung nach den jeweiligen Gegebenheiten mit den für die Shunt-Kalibrierung wesentlichen Elementen. Es bieten sich dazu gängige Simulationswerkzeuge an, weitere Informationen dazu auf Anfrage unter measurement@beckhoff.com.

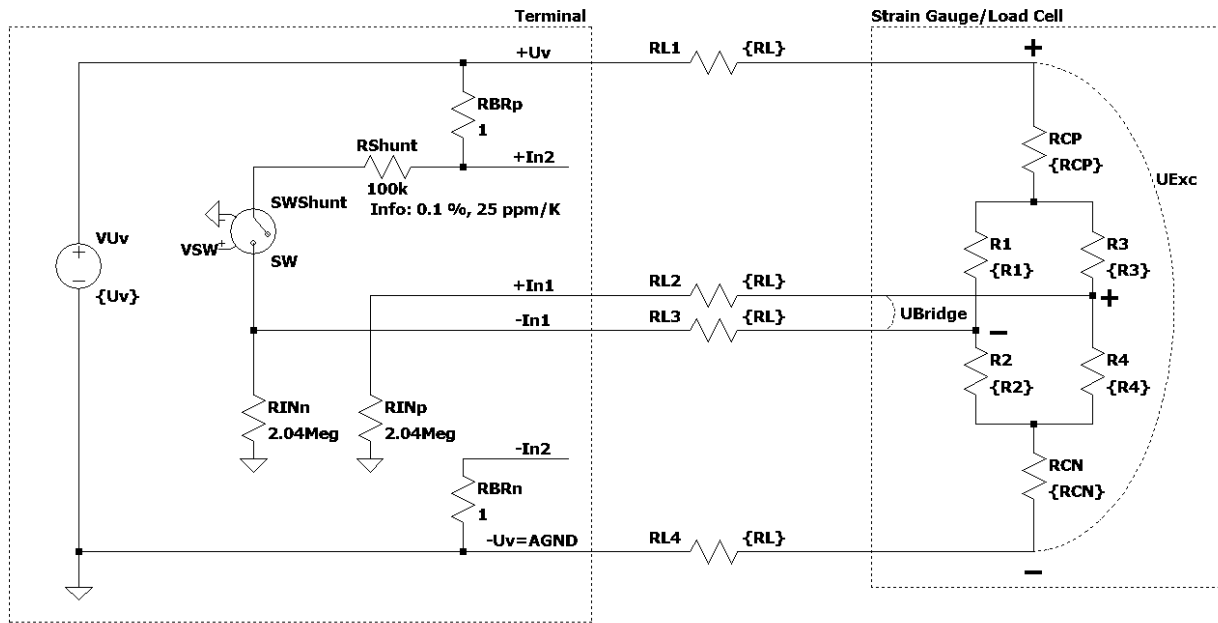


Abb. 41: Beispiel 1 - Umfassende Betrachtung des 4-Leiter-Anschlusses an ELM350x

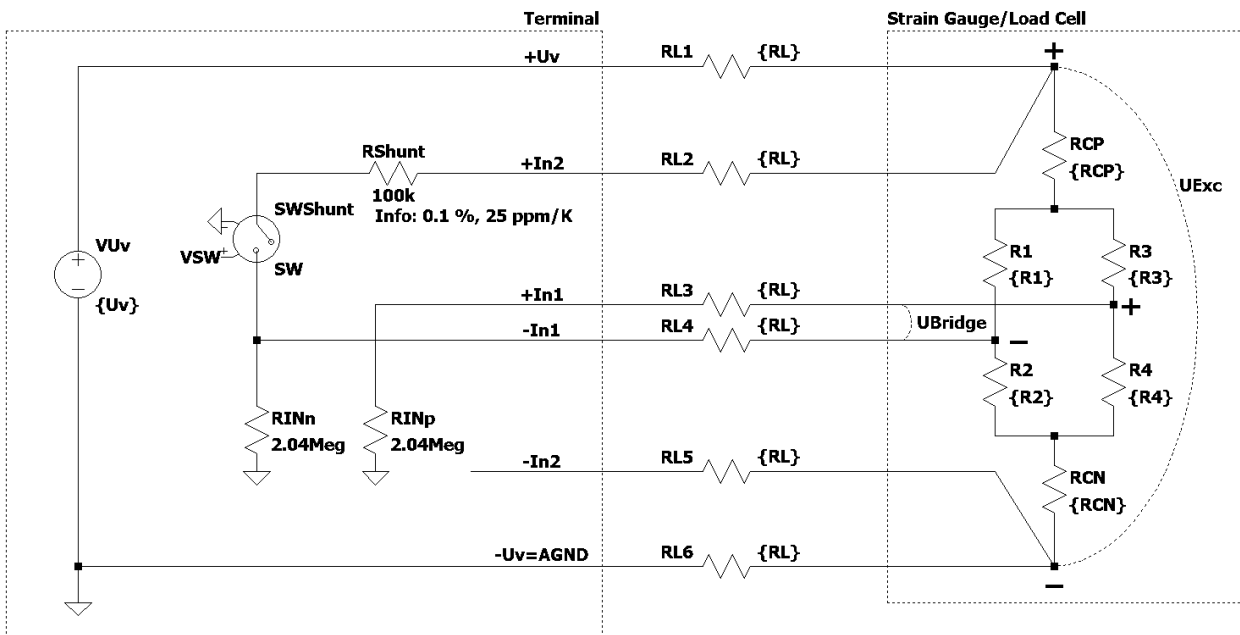


Abb. 42: Beispiel 2 - Umfassende Betrachtung des 6-Leiter-Anschlusses an ELM350x

Fehlerquellen/Störgrößen

Elektrisches Eigenrauschen der Wägezelle

Elektrische Leiter besitzen ein sog. Wärmerauschen (thermisches/ Johnson Rauschen), welches durch unregelmäßige, temperaturabhängige Bewegungen der Elektronen im Leiterwerkstoff hervorgerufen wird. Bereits durch diesen physikalischen Effekt wird die Auflösung des Brückensignals beschränkt. Der Effektivwert e_n der Rausch-Spannung kann berechnet werden mit:

$$e_n = \sqrt{4kTRB}$$

Bei einer Wägezelle mit $R_0 = 350 \Omega$ bei Umgebungstemperatur $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ($= 293 \text{ K}$) und einer Bandbreite des Messwert Aufnehmers von 50 Hz (und Boltzmannkonstante $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$) beträgt der Effektivwert $e_n = 16,8 \text{ nV}$. Das peak-peak-Rauschen e_{pp} beträgt somit etwa $e_{pp} \approx 6,6 \cdot e_n = 111 \text{ nV}$ (thermisches Rauschen, 99,9 % Intervall der Standardabweichung).

Beispiel:

Für eine Brücke mit Nennkennwert 2 mV/V und einer Versorgung $U_{Exc} = 5 \text{ V}$ ergibt sich eine Ausgangsspannung von $U_{Bridge_max} = 5 \text{ V} \cdot 2 \text{ mV/V} = 10 \text{ mV}$ (unter Nennlast) und damit eine maximale Auflösung von $10 \text{ mV} / 111 \text{ nV} = 90.090 \text{ digits}$. In Bit-Auflösung umgerechnet: $\ln(90090)/\ln(2) \approx 16 \text{ Bit}$. Interpretation: eine höhere digitale Messauflösung als 16 Bit ist für ein solches analoges Signal also im ersten Schritt nicht angebracht. Wird eine höhere Messauflösung eingesetzt, sind ggf. zusätzliche Maßnahmen in der Auswertekette zu treffen, um einen höheren Informationsgehalt aus der Nutz- und Rauschsignalüberlagerung zu gewinnen, z. B. Hardwaretiefpassfilter oder Softwarealgorithmen.

Diese Auflösung gilt allein für die Messbrücke ohne jegliche weiteren Störeinflüsse. Durch Reduzierung der Bandbreite der Messeinrichtung kann die Auflösung des Messsignals sinnvoll gesteigert werden.

Wird der DMS auf einen Träger aufgeklebt (Wägezelle) und verdrahtet, können sowohl elektrische Störungen von außen (z. B. Thermospannungen an Anschlussstellen) als auch in der näheren Umgebung vorhandene mechanische Schwingungen (Maschinen, Antriebe, Transformatoren und hörbare 50 Hz -Schwingung durch Magnetostriktion etc.) das Messergebnis zusätzlich beeinträchtigen.

Kriechen

Bei konstanter Belastung können sich Federwerkstoffe weiter in Belastungsrichtung verformen. Dieser Vorgang ist reversibel, erzeugt aber während der statischen Messung einen sich langsam ändernden Messwert. Durch konstruktive Maßnahmen (Geometrie, Klebewerkstoffe) kann der Fehler im Idealfall kompensiert werden.

Hysterese

Erfolgt eine gleichmäßige Dehnung und Stauchung der Wägezelle, so durchläuft die Ausgangsspannung nicht exakt die gleiche Kennlinie, da u. a. bedingt durch den Klebewerkstoff und dessen Schichtdicke die Verformung von DMS und Träger unterschiedlich verläuft.

Temperaturdrift (Eigenerwärmung, Umgebungstemperatur)

Bei DMS-Anwendungen können relativ große Ströme fließen. Eine Vollbrücke mit vier 350Ω -Widerständen hat beispielsweise eine Stromaufnahme von $I = U_{Exc}/R_0 = 10 \text{ V} / 350 \Omega \approx 28,6 \text{ mA}$. Die Verlustleistung der gesamten Vollbrücke beträgt somit $P_{Exc} = U \cdot I = 10 \text{ V} \cdot 28,6 \text{ mA} = 286 \text{ mW}$. Je nach Anwendung (es findet eine Kühlung des DMS durch den Wärme-Abtransport in das Trägermaterial statt) und Umgebungstemperatur kann ggf. ein nicht unerheblicher Fehler entstehen, welcher als „scheinbare“ Dehnung bezeichnet wird. Deshalb werden DMS auf dem Sensormaterial des Herstellers häufig gegenkompensiert.

Unzureichende Schaltungstechnik

Wie bereits aufgezeigt, kann eine Vollbrücke Hysterese, Kriechen und Temperaturdrift systembedingt u. U. vollständig kompensieren. Verdrahtungsbedingte Messfehler werden durch die 6-Leiterschaltung umgangen.

Messkörper und Eigenfrequenz

Bei dynamischen Messungen von Kräften und Gewichten spielen der Aufbau und einige Eigenschaften des Messwertaufnehmers eine maßgebliche Rolle bei der erreichbaren Dynamik. Die Eigenfrequenz des gesamten Systems begrenzt die Dynamik der Anwendung und wird über die Federkonstante des Messkörpers sowie die angekoppelte Masse beeinflusst. Je weicher der Messkörper (= größere Verformung bei Nennlast), desto niedriger die Eigenfrequenz. Auch bei Messwertaufnehmern mit steifen Messkörpern ist immer die angekoppelte Masse mit einzubeziehen, wenn die Eigenfrequenz ermittelt werden soll.

Wägezellen sind im Vergleich zu Kraftaufnehmern technologisch ähnlich, sind aber weicher im Aufbau und werden meist kostenoptimiert hergestellt. Daraus folgen als Hinweise für den mechanischen Aufbau:

- Steife Messwertaufnehmer und möglichst leichte Anbauteile verwenden,
- die Eigenfrequenz des Systems sollte mindestens 2-5 mal so groß wie die Messsignalfrequenz (also der zu erfassende dynamisch bewegte Prüfling aus der Anwendung sein),
- Eigenfrequenzangaben in Datenblättern gelten nur für den Messwertaufnehmer ohne Anbauteile und sind deshalb in der Praxis nicht sinnvoll verwendbar. Besser ist es, mit dem Nennmessweg und Massen von Sensor plus Anbauteilen zu rechnen. Eine Kontrolle der realen Eigenfrequenz ist über eine Frequenz-Analyse der Stoßantwort per FFT oder manuell per Periodenbestimmung möglich.

Die Eigenfrequenz ist zu berechnen mit:

$$f_0 = \sqrt{\frac{F_{nom}}{4\pi^2 \cdot m \cdot s_{nom}}}$$

- f_0 = Eigenfrequenz des gesamten Aufbaus [Hz]
- F_{nom} = Nennkraft bzw. Nennlast des Aufnehmers [kg]
- s_{nom} = Nennmessweg des Aufnehmers (Verformung bei Nennlast) [m]
- m = Summe aus Eigengewicht und angekoppelter Masse [kg]

Mit $F_{nom} = 50 \text{ kg}$, $s_{nom} = 0,18 \text{ mm}$ ergibt beispielsweise die Abhängigkeit von der Masse grafisch:

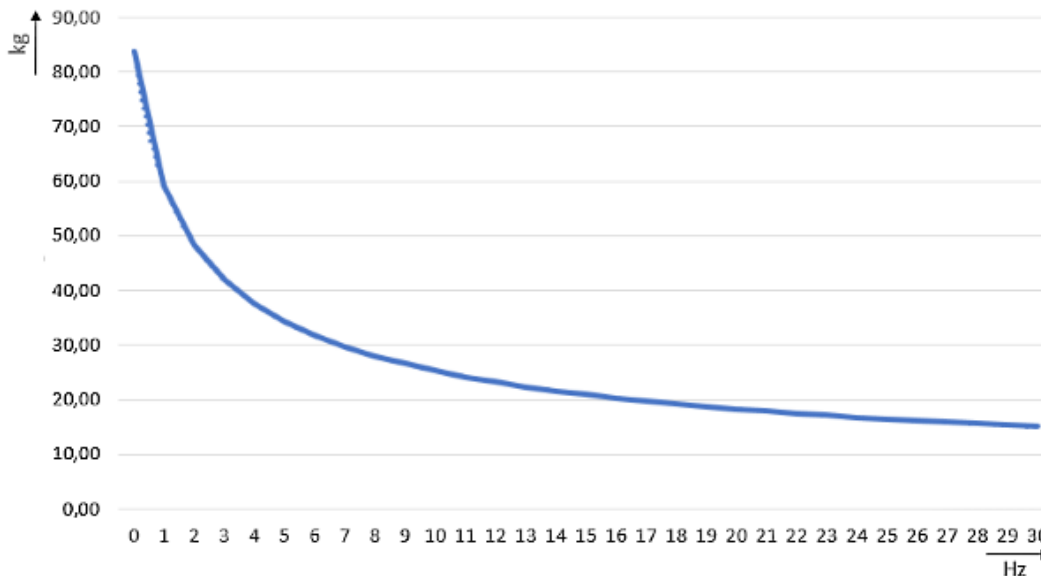


Abb. 43: Eigenfrequenz in Abhängigkeit von der Masse

Empfehlungen für DMS-Messung mit Beckhoff-Modulen

- Elektrischer Anschluss:
 - Der Betrieb mit zusätzlicher Sense-Leitung für die Brückenspeisung wird empfohlen: Vollbrücke im 6-Leiter-Betrieb, Halbbrücke im 5-Leiter-Betrieb, Viertelbrücke im 3/4-Leiter-Betrieb.
 - Der Einsatz von Vollbrücken statt Halb-/ Viertelbrücken wird grundsätzlich empfohlen, um eine höhere Temperaturstabilität und höhere Messgenauigkeit zu erreichen.
- Auswahl der Speisespannung U_{Exc} :
 - Eine Speisespannung von 5 V hat sich in vielen Fällen bewährt.
 - Allgemein sollte diese im Rahmen des lt. Datenblatt zulässigen Bereichs so hoch wie möglich gewählt werden, um bei gegebenem Nennkennwert [mV/V] eine große Aussteuerung von U_{Bridge} zu erreichen und so den elektrischen Messbereich des Moduls maximal auszusteuern (SNR-Erhöhung).

- Dabei sollte aber bedacht werden, dass die Erwärmung der Brücke in der Wägezelle in erster Näherung quadratisch mit U_{Exc} ansteigt. Dies kann bei hohen Speisespannungen und unzureichender Wärmeableitung des Sensors an der Maschine zu massiven Drifteffekten nach dem Einschalten führen.
- Ggf. kann eine Brücke mit höherem Nennkennwert [mV/V] oder höherem Innenwiderstand [Ω] gewählt werden.
- Auswahl der Nennlast der Wägebrücke:
 - Sie sollte etwas größer aber so nah wie möglich an der Ziel-Last gewählt werden, damit der mechanische und somit auch der elektrische Messbereich möglichst gut ausgenutzt wird.
 - Die Überlastfähigkeit der Wägezelle ist zu beachten. Es kann gerade bei schnellen Wiegevorgängen zu mechanischen Überbeanspruchungen kommen, dennoch sollte die Brücke (hinsichtlich E_{max}) wie o. a. nicht zu groß dimensioniert werden.
 - Die mechanische Eigenfrequenz der Wägezelle (in der die Messbrücke/DMS eingebaut ist!) bzw. des gesamten Aufbaus ist in Relation zu den Wiegevorgängen zu betrachten (Anzahl Produktwechsel, Produktgeschwindigkeit, Produktgewichte); ggf. sollte eine gegenüber der Ziellast deutlich größere Nennlast gewählt werden, weil Sensoren mit höherer Nennlast kleinere Nennmesswege besitzen und damit mechanisch steifer sind. Mit steiferem Messkörper - meist dem weichsten Teil des gesamten Aufbaus - erhöht sich die Eigenfrequenz. Dadurch kann die Dynamik des Wiegevorgangs unverfälschter erfasst werden und Messfehler aufgrund von Eigenschwingungen der Wiegeeinrichtung werden vermieden.
- Kalibrierung/Abgleich der Brücke:
 - Ein regelmäßiger Null-Abgleich „Tara“ wird empfohlen.
 - Der Tara-Effekt sollte beobachtet werden, um eine ggf. beschädigte Messbrücke zu erkennen: Das Signal einer beschädigten Messbrücke wandert, kehrt nach Entlastung nicht auf den Ursprungswert zurück.
 - Zur Kompensation eines Verstärkungsfehlers sollte bei der Inbetriebnahme und wenn möglich im laufenden Betrieb ein Abgleichpunkt nahe der Ziel-Last gewählt werden, insbesondere wenn diese deutlich unter der Nenn-Last liegt (Messungen im Teillastbereich).
- Ggf. Filterung der Messung, dynamische Effekte:
 - Bei schnellen sequentiellen Wiegevorgängen (mehrere zu messende Objekte, z. B. Produkte je Sekunde) kann es mit angepassten digitalen Filtern möglich sein, trotz offensichtlich „schlechtem“ Messsignal eine hohe Messgenauigkeit zu erreichen.
 - Überschwingungseffekte können oft beobachtet werden, da sich z. B. eine Aufnahme-Vorrichtung für Messobjekte (Produkte) eigentlich immer mechanisch bewegt (wenn auch nur im μm -Bereich).
 - Ein Vorgang schneller sequentieller Wiegevorgänge kann auch abhängig von der Geschwindigkeit sein mit der die Messobjekte (Produkte) über den Wäge-Bereich bewegt werden; ggf. sind Filter für das Messsignal dynamisch anzupassen.
 - Die optimale Signalauswertung wird von Beckhoff mit diversen Produkten unterstützt: flexible Filter in den EtherCAT Modulen, TwinCAT Filter-Designer, TwinCAT Filter library, TwinCAT Analytics etc.

5 Parametrierung und Programmierung

5.1 Grundlagen der Messfunktionen

Die Messfunktionen der ELX3351 lassen sich wie folgt beschreiben:

- Mit der Analogeingangsklemme ELX3351 wird die Versorgungsspannung einer Wägezelle als Referenzspannung und auch die der Krafterwirkung proportionalen Differenzspannung erfasst.
- Es muss eine Vollbrücke angeschlossen werden. Steht nur eine Viertel- oder Halbbrücke zur Verfügung, müssen externe Ergänzungsbrücken hinzugefügt werden. Der Nennkennwert ist dann entsprechend zu modifizieren.
- Die Messung der Referenz- und Differenzspannung erfolgt zeitgleich.
- Da die beiden Spannungen gleichzeitig gemessen werden, ist grundsätzlich keine hochgenaue Referenzspannung in Bezug auf den Pegel notwendig.
Die Brückenversorgungs- und Referenzspannung werden von der ELX3351 für die Vollbrücke bereitgestellt. Ein Anschluss anderer, fremdgespeister Stromkreise (z.B. eine externe Brückenspeisung) ist nicht zulässig!
- Die Veränderung des Quotienten aus Differenz- und Referenzspannung entspricht der relativen Krafterwirkung auf die Wägezelle.
- Der Quotient wird in Gewicht umgerechnet und als Prozessdatum ausgegeben.
- Die Datenverarbeitung unterliegt folgenden Filtervorgängen
 - Softwarefilter IIR/FIR (wenn aktiviert)
- Die ELX3351 verfügt über einen automatischen Abgleich/Selbstkalibrierung.
 - Default-Zustand: aktivierte Selbstkalibrierung, Durchführung alle drei Minuten
 - Abweichungen der verwendeten Analogeingangsstufen (Temperatur-, Langzeitdrift usw.) werden durch automatische regelmäßige Kalibrierungen überprüft und innerhalb des zulässigen Toleranzbereiches ausgeglichen.
 - Die Automatik ist abschaltbar bzw. kontrolliert ansteuerbar.

5.1.1 Allgemeine Hinweise

- Die Messbereiche beider Kanäle (Versorgungsspannung und Brückenspannung) sollten immer so weit wie möglich ausgenutzt werden, um eine hohe Messgenauigkeit zu erreichen.
Empfohlen wird eine Wägezelle mit einer derart beschaffenen Empfindlichkeit (z. B. 2 mV/V), dass eine möglichst große Brückenspannung (idealerweise ± 20 mV) erzeugt wird. Dabei sind die Eingangsspannungen (siehe [Technische Daten](#) [► 13]) zu beachten.

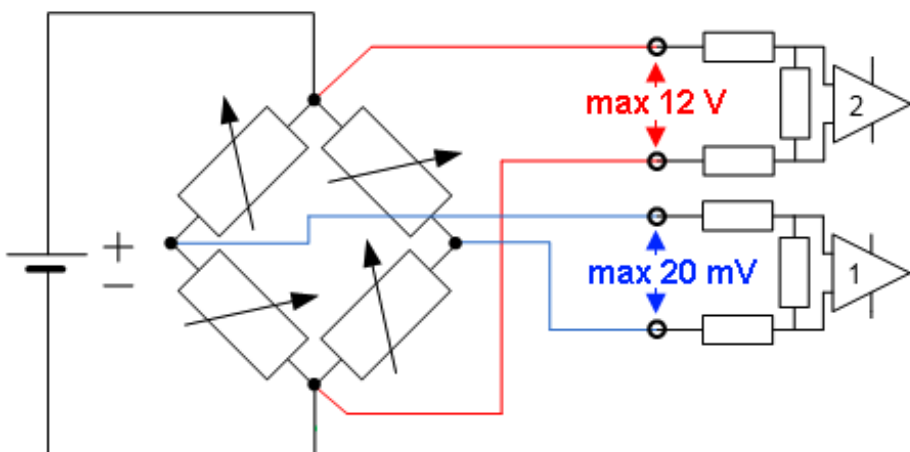


Abb. 44: Maximale Eingangsspannungen

- Ein Parallelbetrieb von Wägezellen ist mit der ELX3351 möglich. Dabei ist zu beachten:

- Es sollten vom Wägezellen-Hersteller entsprechend für den Parallelbetrieb freigegebene und abgegichene Wägezellen verwendet werden. Die Nennkennwerte [mV/V], Nulloffset [mV/V] und Impedanz [Ω , Ohm] werden dann üblicherweise entsprechend angeglichen.
- Ein 6-Leiter-Anschluss wird ausdrücklich empfohlen.
- Das in der Parallelschaltung alle relevanten Betriebsparameter (z.B. der Mindestbrückeneingangswiderstand) eingehalten werden.

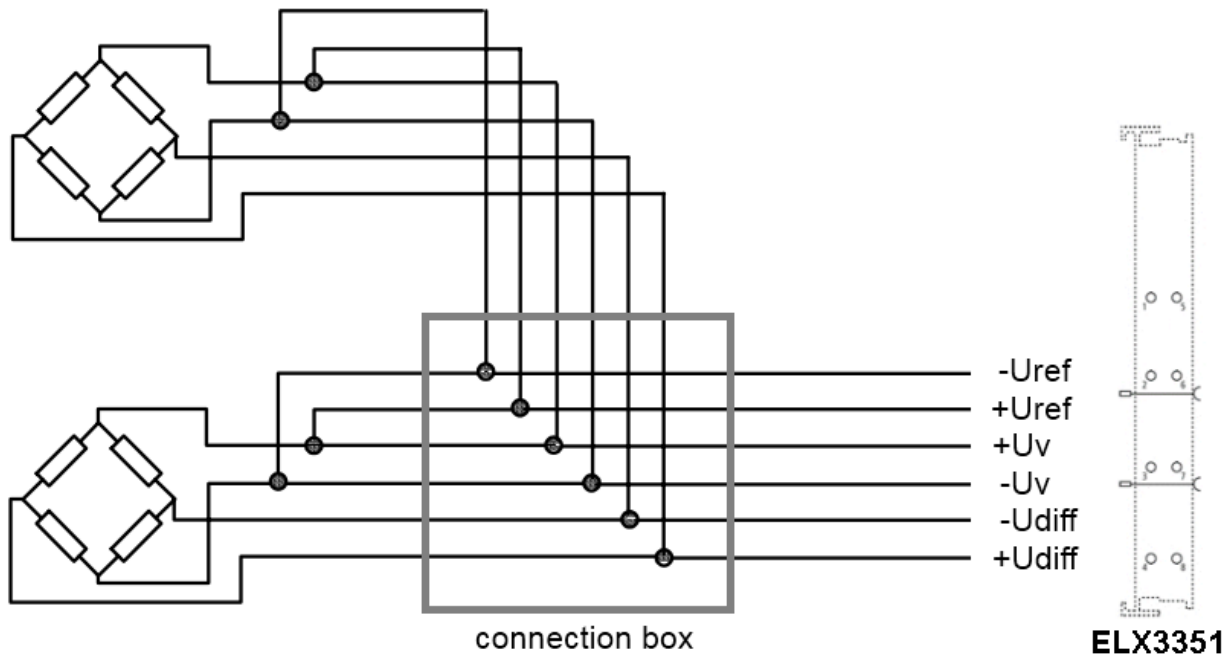


Abb. 45: Parallelschaltung mit ELX3351

- Wägezellen-Signale sind von geringer Amplitude und mitunter sehr empfindlich für EMV-Störungen. In Anbetracht der anlagentypischen Besonderheiten und unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten sind zielführende EMV-Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik anzuwenden.
Bei Verwendung von geschirmten Leitungen sind die Errichtungsmaßnahmen und ggf. Trennabstände gemäß IEC 60079-11 und IEC 60079-25 zu berücksichtigen
Unter hoher EMV-Stöbelastung kann es hilfreich sein, den Kabelschirm vor der Klemme noch zusätzlich mit geeignetem Schirmmaterial aufzulegen.

5.1.2 Signalflossplan

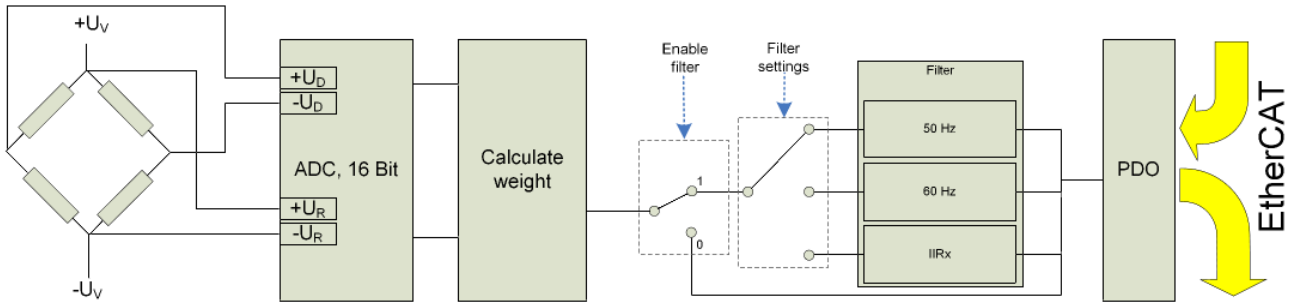


Abb. 46: ELX3351 - Signalflossplan

Die ELX3351 bearbeitet die Daten in folgender Reihenfolge

1. Hardware-Tiefpass 3,6 kHz
2. Zweikanaliges, simultanes Sampling durch Delta-Sigma-Wandler ($\Delta\Sigma$ -Wandler) und interner Vorfiltrierung
3. Software-Filter (deaktivierbar)
4. Gewichtsrechnung

i Messprinzip des Delta-Sigma-Wandlers

Das in der ELX3351 verwendete Messprinzip mit realer Abtastung im MHz-Bereich verschiebt Aliasing-Effekte in einen sehr hochfrequenten Bereich, so dass für den Betrieb im kHz-Bereich in der Regel keine derartigen Effekte zu erwarten sind.

5.1.3 Software-Filter

Die ELX3351 ist mit einem digitalen Software-Filter ausgestattet, das je nach Einstellung die Charakteristik eines Filter mit endlicher Impulsantwort (*Finite Impulse Response filter, FIR-Filter*) oder eines Filter mit unendlicher Impulsantwort (*Infinite Impulse Response filter, IIR-Filter*), annehmen kann. Der Filter ist per default als 50 Hz-FIR aktiviert.

Im jeweiligen Messmodus kann der Filter aktiviert ([0x8000:01](#) [[72](#)], [0x8000:02](#) [[72](#)]) und parametrier ([0x8000:11](#) [[72](#)], [0x8000:12](#) [[72](#)]) werden (die ELX3351 unterstützt nur Modus 0).

• FIR 50/60 Hz

Der Filter arbeitet als Notch-Filter (Kerbfilter) und bestimmt die Wandlungszeit der Klemme. Je höher die Filterfrequenz, desto schneller ist die Wandlungszeit. Es steht ein 50 Hz und ein 60 Hz Filter zur Verfügung.

Kerbfilter bedeutet, dass der Filter bei der genannten Filterfrequenz und Vielfachen davon Nullstellen (Kerben) im Frequenzgang hat, diese Frequenzen also in der Amplitude dämpft. Das FIR-Filter arbeitet als nicht-rekursives Filter.

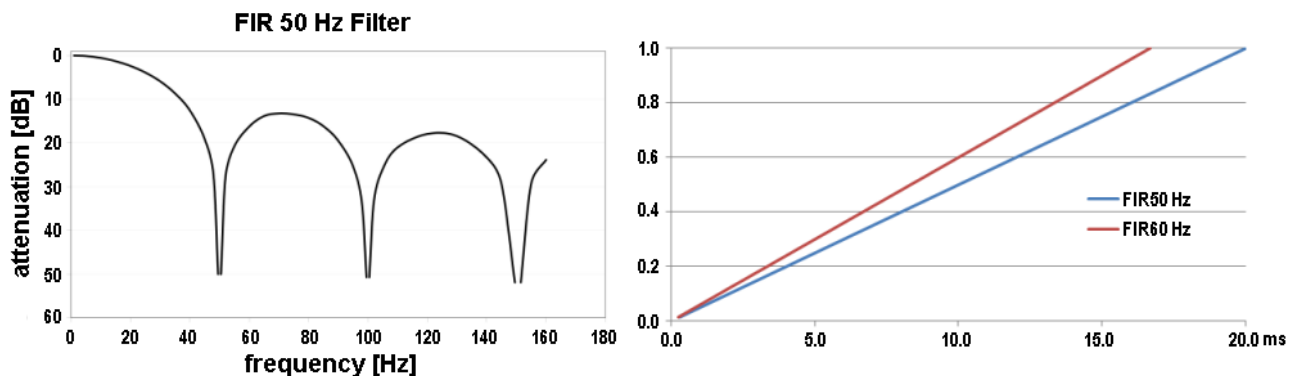


Abb. 47: Notch-Kennlinie/Amplitudengang und Sprungantwort der FIR-Filter

• **IIR-Filter 1...8**

Der Filter mit IIR-Charakteristik ist ein zeitdiskretes, lineares, zeitinvariantes Filter, welches in 8 Leveln eingestellt werden kann (Level 1 = schwaches rekursives Filter, bis Level 8 = starkes rekursives Filter). Der IIR kann als gleitende Mittelwertberechnung nach einem Tiefpass verstanden werden.

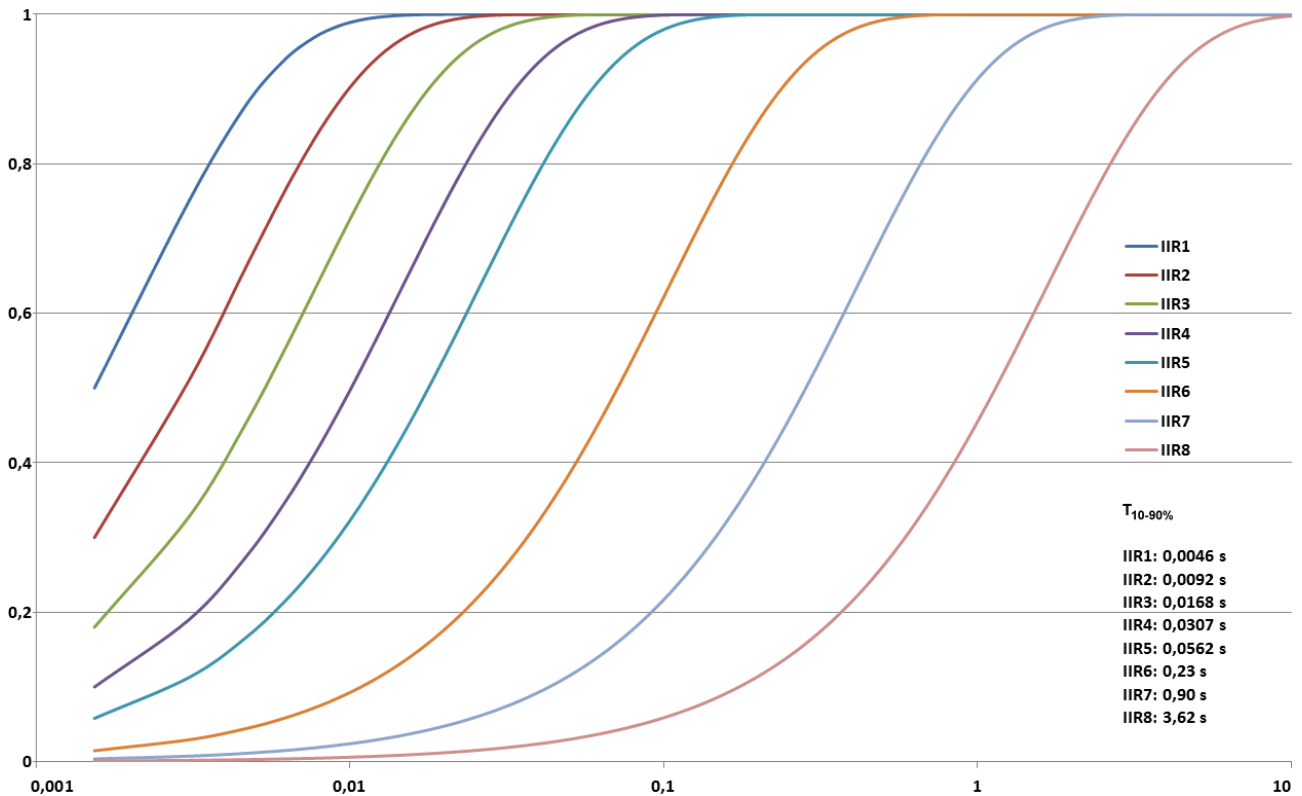


Abb. 48: Sprungantwort der IIR-Filter

Filter und Zykluszeit

Bei eingeschalteten FIR Filtern (50 Hz oder 60 Hz) werden die Prozessdaten maximal mit der angegebenen Wandlungszeit aktualisiert. (siehe Tabelle) Die IIR Filter arbeiten zyklussynchron. Somit steht jeden SPS-Zyklus ein neuer Messwert zur Verfügung.

IIR Filter

Differenzgleichung: $Y_n = X_n * a_0 + Y_{n-1} * b_1$
 mit $a_0 + b_1 = 1$
 $a_0 =$ (s. Tabelle)
 $b_1 = 1 - a_0$

5.1.4 Dynamisches Filter

Das dynamische IIR-Filter schaltet in Abhängigkeit der Gewichtsänderung eigenständig die 8 verschiedenen IIR-Filter durch. Das Konzept:

- Zielzustand ist immer der IIR8-Filter, also die größtmögliche Dämpfung und somit ein sehr beruhigter Messwert.
- Bei schneller Änderungen der Eingangsgröße wird der Filter geöffnet also zum nächstniedrigeren Filter geschaltet (wenn noch möglich). Dadurch wird der Signalflanke mehr Gewicht gegeben und der Messwertverlauf kann schnell der Last folgen.
- Bei geringer Messwertänderung wird der Filter zugezogen, also zum nächsthöheren Filter geschaltet (wenn noch möglich). Dadurch wird der statische Zustand mit einer hohen Genauigkeit abgebildet.
- Die Bewertung ob eine Filteränderung nach unten erforderlich bzw. nach oben möglich ist, erfolgt fortlaufend in festem Zeitabstand.

Die Parametrierung wird über die CoE Einträge [0x8000:13 \[► 72\]](#) und [0x8000:14 \[► 72\]](#) vorgenommen. Die Bewertung erfolgt nach 2 Parametern:

- Im Objekt "Dynamic filter change time" ([0x8000:13 \[► 72\]](#)) wird eingestellt, in welchem Zeitabstand das vorliegende Signal neu bewertet wird
- Im Objekt [0x8000:14 \[► 72\]](#) wird festgelegt, welche maximale Abweichung in dieser Zeit zulässig ist, ohne dass es zu einer Filterumschaltung kommt.

Beispiel:

Der dynamische Filter soll derart eingestellt werden, dass eine maximale Steigung von 0.5 digit pro 100 ms (5 Digit pro Sekunde) möglich ist, ohne dass der Filter geöffnet wird. Dadurch wird eine "ruhige" Messwertausgabe erreicht. Bei schnellerer Änderung soll aber umgehend der Last gefolgt werden können.

- Dynamic filter change time ([0x8000:13 \[► 72\]](#)) = 10 (entspricht 100 ms)
- Dynamic filter delta ([0x8000:14 \[► 72\]](#)) = 0.5 (bezogen auf den berechneten Lastwert)

Im Folgenden ist der Messwertverlauf bei langsamer (links) und schneller (rechts) Änderung abgebildet.

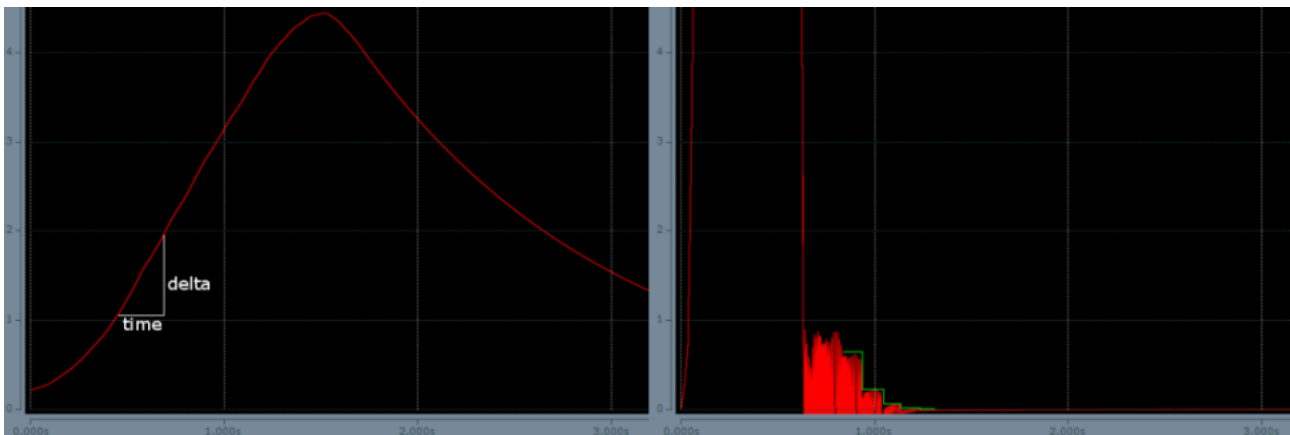


Abb. 49: Auswirkung dynamischer IIR-Filter

- Links: Die Waage wird langsam belastet. Die Änderung des Gewichtes (delta/time) bleibt unterhalb der Marke von 0.5 Digit pro 100 ms. Der Filter bleibt somit unverändert auf der stärksten Stufe (IIR8) und bewirkt einen schwankungsarmen Messwert.
- Rechts: Die Waage wird schlagartig belastet. Die Änderung des Gewichtes überschreitet sofort den Grenzwert von 0.5 Digit pro 100 ms. Der Filter wird alle 100 ms um eine Stufe geöffnet (IIR8 --> IIR7 --> IIR6 ...) und der Anzeigewert folgt sofort dem Sprung. Nach der Entfernung des Gewichtes fällt das Signal zügig wieder ab. Ist die Änderung des Gewichtes kleiner als 0.5 Digit pro 100 ms, wird der Filter alle 100 ms eine Stufe stärker gestellt bis IIR8 erreicht wird. Die grüne Linie soll den abnehmenden "Rauschpegel" verdeutlichen.

5.1.5 Gewichts Berechnung

Nach jeder Erfassung der Analogeingänge erfolgt die Berechnung des resultierenden Gewichts bzw. der resultierenden Kraft, welche sich aus dem Verhältnis des Messsignals zum Referenzsignal und aus mehreren Kalibrierungen zusammensetzt:

$$Y_R = (U_{Diff} / U_{Ref}) \times A_i \quad (1.0) \quad \text{Berechnung des Rohwertes in mV/V}$$

$$Y_L = ((Y_R - C_{ZB}) / (C_n - C_{ZB})) \times E_{max} \quad (1.1) \quad \text{Berechnung des Gewichts}$$

$$Y_S = Y_L \cdot A_S \quad (1.2) \quad \text{Skalierfaktor (z. B. Faktor 1000 für Umskalierung von kg in g)}$$

$$Y_G = Y_S \cdot (9.80665 / G) \quad (1.3) \quad \text{Einfluss der Erdbeschleunigung}$$

$$Y_{AUS} = Y_G \times \text{Gain} - \text{Tara} \quad (1.4) \quad \text{Gain und Tara}$$

Name	Bezeichnung	CoE Index
U _{Diff}	Brückenspannung/Differenzspannung des Sensorelementes, nach Filter	
U _{Ref}	Brückenspeisepannung/Referenzsignal des Sensorelementes, nach Filter	
A _i	Interne Verstärkung, nicht veränderbar. Dieser Faktor berücksichtigt die Einheitennormierung von mV zu V und die unterschiedlichen Vollausschläge der Eingangskanäle	
C _n	Nennkennwert des Sensorelementes (Einheit mV/V, z. B. nominell 2 mV/V oder 2.0234 mV/V laut Abgleichprotokoll)	0x8000:23 ▶ 72]
C _{ZB}	Nullpunktgleich (Zero balance) des Sensorelementes (Einheit mV/V, z. B. -0.0142 laut Abgleichprotokoll)	0x8000:25 ▶ 72]
E _{max}	Nennlast des Sensorelementes	0x8000:24 ▶ 72]
A _S	Skalierfaktor (z. B. Faktor 1000 für Umskalierung von kg in g)	0x8000:27 ▶ 72]
G	Erdbeschleunigung in m/s ² (default: 9.80665 ms/s ²)	0x8000:26 ▶ 72]
Gain		0x8000:21 ▶ 72]
Tara		0x8000:22 ▶ 72]

5.2 Anwendungshinweise

5.2.1 Drahtbruchererkennung

Die ELX3351 verfügt über keine ausdrückliche Drahtbruchererkennung. Wird jedoch eine der Bridge-Leitungen getrennt, geht in der Regel die dort gemessene Spannung gegen den Endwert und zeigt somit einen Error im Status-Wort an. Ein Over-/Underrange der Speisespannung wird ebenfalls angezeigt.

5.2.2 InputFreeze

Wenn die Klemme durch *InputFreeze* im Control-Wort in den Freeze-Zustand versetzt wird, werden keine analogen Messwerte mehr an den internen Filter weitergereicht. Diese Funktion ist dann anwendbar, wenn z. B. aus der Applikation ein Einfüllstoß erwartet wird, der durch die Kraftbelastung die Filter unnötig übersteuern würde. Das hätte zur Folge, dass einige Zeit verstreichen würde, bis sich die Filter wieder eingeschwungen hätten. Der Anwender hat selbst auszumessen, wie lange für seinen Einfüllvorgang das *InputFreeze* sinnvoll ist.

Zur Verdeutlichung: die zeitliche Steuerung und Entscheidung über den *InputFreeze* muss vom Anwender in der PLC realisiert werden, sie ist nicht Bestandteil der ELX3351.

Im folgenden Beispiel (aufgezeichnet mit Scope2) werden Stöße auf eine 15 kg-Wägezelle aufgezeichnet, der Filter ist mit IIR1 weit offen damit steile Flanken im Signal auftreten.



Abb. 50: Beispiel für InputFreeze

Erläuterung: Blau dargestellt ist die Gewichtskraft (A), rot (B) der Zustand der Variable *InputFreeze* die vom PLC-Programm bedient wird und TRUE/FALSE sein kann. Die ersten beiden Stöße (C) führen zu großen Spitzenausschlägen im Signal. Danach wird im PLC-Programm (siehe Beispielprogramm) folgendes aktiviert:

- wenn sich der Messwert zum letzten Zyklus (Zykluszeit 100 µs) um mehr als 10 g geändert hat (als Indiz für schlagartige Belastung)
- wird *InputFreeze* durch einen TOF-Baustein an die ELX3351 für 50 ms lang auf TRUE gesetzt

In (D) ist die Wirkung zu sehen: Die Spitzenbelastungen werden von der ELX3351 nicht mehr zur Kenntnis genommen. Bei optimaler Anpassung an den erwarteten Kraftstoß kann die ELX3351 ohne Überschwingen den aktuellen Belastungswert einmessen.

5.2.3 Schwerkraftanpassung

Die Berechnung der Gewichtskraft ist abhängig von der Gravitation/Erdschwerkraft/Fallbeschleunigung am Aufstellort der Waage. Im Allgemeinen entspricht die Gravitationsbeschleunigung der Erde am Aufstellort der Anlage nicht dem festgelegten Standardwert $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$. Beispielsweise sind in Deutschland 4 Fallbeschleunigungszonen festgelegt, in denen eine lokale Gravitationsbeschleunigung von 9,807 bis 9,813 m/s^2 anzunehmen ist. Es handelt sich hier also schon innerhalb Deutschlands um eine deutliche Streuung im Promille-Bereich für die Gravitationsbeschleunigung, die sich über die Formel $F_G = m \cdot g$ direkt auf die gemessene Gewichtskraft auswirkt!

Wenn

- Wägezellen im theoretischen Abgleich mit Kennwerten nach Sensorzertifikat eingesetzt werden
- Eichgewichte verwendet werden, deren Gewichtskraft am Waagenaufstellort naturgemäß eine andere ist als am Herkunftsort
- Waagen der Genauigkeitsklasse I bis III realisiert werden
- generell eine fallbeschleunigungsabhängige Waage realisiert wird

sollte geprüft werden, ob die Schwerkraftkorrektur über das Objekt [0x8000:26 \[► 72\]](#) angepasst werden muss.

5.2.4 Ruheerkennung

Wiegen ist ein dynamischer Vorgang, der zu großen Sprüngen in der Brückenspannung und damit Wertberechnung führen kann. Nach einer Belastungsänderung muss sich der Messwert erst "beruhigen" damit der Prozesswert in der Steuerung verwertbar ist. Die Auswertung des Messwertes und der Entscheid über den Grad der Ruhe kann in der Steuerung vorgenommen werden, die ELX3351 bietet aber ebenfalls diese Funktion, die standardmäßig aktiviert ist. Das Ergebnis wird im Status-Wort ausgegeben.

- Befindet sich der Lastwert länger als Zeit x innerhalb eines Wertebereichs y, wird das *SteadyState* im *StatusWord* aktiviert
- Sobald diese Bedingung nicht mehr zutrifft, wird *SteadyState* auf FALSE gesetzt.
- Die Parameter x und y können im CoE vorgegeben werden
- Die Auswertung wird natürlich erheblich vom eingestellten Filter beeinflusst

Im folgenden Beispiel (aufgenommen mit den TwinCAT Scope2) wird eine 15 kg-Wägezelle sprunghaft mit 547 g ent- und belastet. *SteadyState* unterliegt einer Fensterzeit von 100 ms und 8 g Toleranz (15 kg Nennwert, Skalierung 1000; siehe CoE).

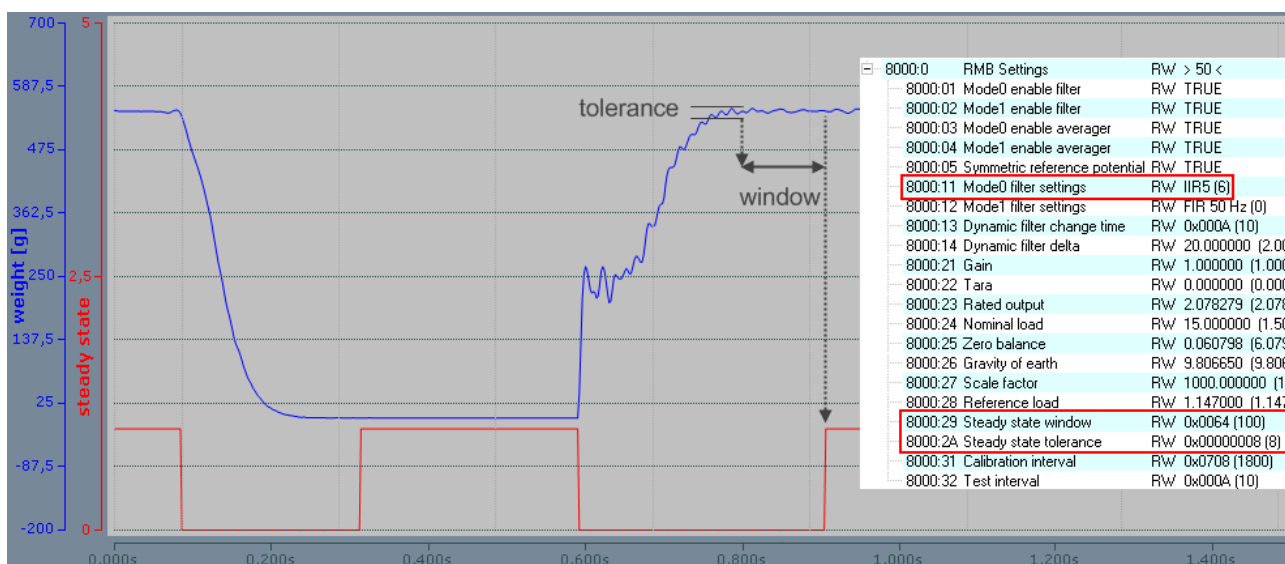


Abb. 51: Beispiel für die Ruheerkennung

5.2.5 Eichfähigkeit

Eichen ist eine besondere Art der Kalibrierung, die nach besonderen Vorschriften und unter Einbeziehung ausgebildeten Personals und vorgeschriebener Hilfsmittel durchgeführt wird. Insbesondere beim Abfüllen von Lebensmitteln sind im zentraleuropäischen Raum geeichte Waagen vorgeschrieben. Dadurch wird in besondere Weise die Richtigkeit der Abwiegemengen sichergestellt.

Die Beckhoff Klemme ELX3351 ist als Einzelgerät nicht eichfähig. Sie kann aber als Teilelement in Applikationen integriert werden, welche dann durch entsprechende Maßnahmen seitens des Integrators mit den nötigen Eigenschaften für Eichfähigkeit ausgerüstet werden.

5.3 Kalibrierung und Abgleich

Der Begriff Kalibrierung lässt sich in drei verschiedenen Weisen auf die ELX3351 anwenden:

- Sensorkalibrierung: einmalige Kalibrierung des eingesetzten Sensors (DMS) bei Anlageninbetriebnahme

- Selbstkalibrierung: fortlaufende wiederholte Selbstkalibrierung der Klemme zur Verbesserung der Messgenauigkeit
- Tarierung: wiederholte Brutto/Netto-Kompensation durch Tara

5.3.1 Sensorkalibrierung

Durch die Kalibrierung wird die ELX3351 an die Kennlinie des Sensorelementes angepasst. Für diesen Vorgang werden zwei Werte benötigt: der Ausgangswert ohne Belastung (Zero balance) und der unter voller Belastung (Rated output). Diese Werte können durch ein Abgleichprotokoll oder durch eine Kalibrierung mit Abgleichgewichten ermittelt werden.

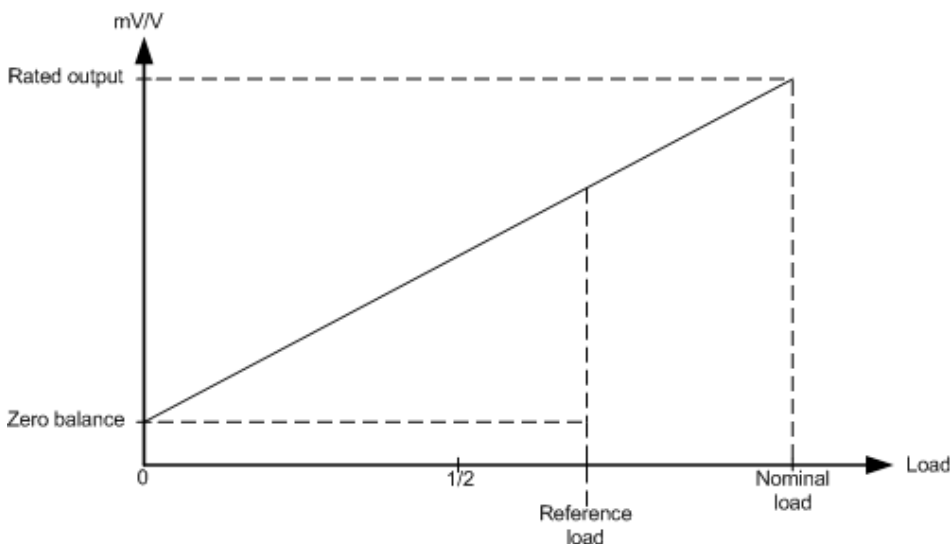


Abb. 52: Anpassen an die Sensorkennlinie

Kalibrierung mittels Abgleich in der Anlage

Bei der praktischen Kalibrierung wird zuerst mit unbelasteter Waage, dann mit definiert belasteter Waage gemessen. Aus den Messwerten berechnet die ELX3351 automatisch die vorliegenden Sensorkennwerte.

Der Ablauf:

1. CoE-Reset mit Objekt 0x1011:01 durchführen
siehe Wiederherstellen des Auslieferungszustandes
2. Modus 0 über das Controlword aktivieren
3. Scale factor (0x8000:27 [▶ 72]) = 1 setzen
4. Gravity of earth (0x8000:26 [▶ 72]) setzen falls erforderlich (default: 9.806650)
5. Gain (0x8000:21 [▶ 72]) = 1 setzen
6. Tara (0x8000:22 [▶ 72]) = 0 setzen
7. Filter (0x8000:11 [▶ 72]) auf stärkste Stufe einstellen: IIR8
8. Nennlast des Sensors in 0x8000:24 [▶ 72] ("Nominal load") angeben
9. Nullabgleich: Waage nicht belasten
Sobald der Messwert über mind. 10 Sekunden einen unveränderlichen Wert zeigt, das Kommando 0x0101 (257_{dec}) auf CoE-Objekt 0xFB00:01 ausführen.
Durch dieses Kommando wird der aktuelle mV/V Wert (0x9000:11 [▶ 74]) in das Objekt *Zero balance* eingetragen
Kontrolle: CoE-Objekt FB00:02 und FB00:03 muss nach Ausführung "0" enthalten

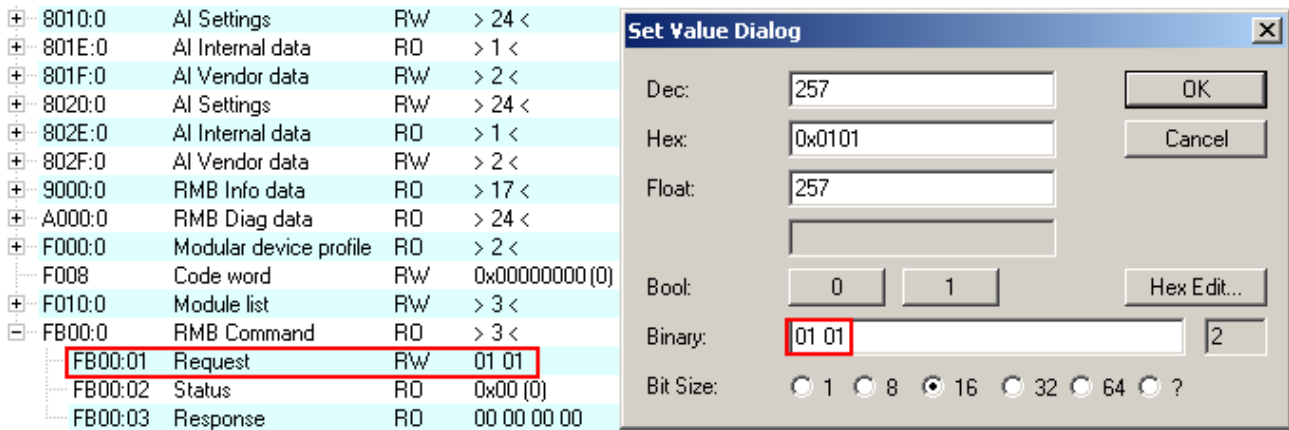


Abb. 53: Nullabgleich mit Kommando 0x0101 in CoE-Objekt 0xFB00:01

10. Waage mit einer Referenzlast belasten. Diese sollte mindestens 20% der Nennlast betragen. Je größer die Referenzlast, desto besser können die Sensor-Werte berechnet werden.

In Objekt 0x8000:28 [[72](#)] (Reference load) die Last in der gleichen Einheit wie die Nennlast (0x8000:24 [[72](#)]) angeben.

Sobald der Messwert über mind. 10 Sekunden einen unveränderlichen Wert zeigt, das Kommando 0x0102 (258_{dec}) auf CoE 0xFB00:01 ausführen.

Durch diesen Befehl ermittelt die ELX3351 den Ausgabewert bei Nenngewicht (Rated output) Kontrolle: CoE-Objekt FB00:02 und FB00:03 muss nach Ausführung "0" enthalten

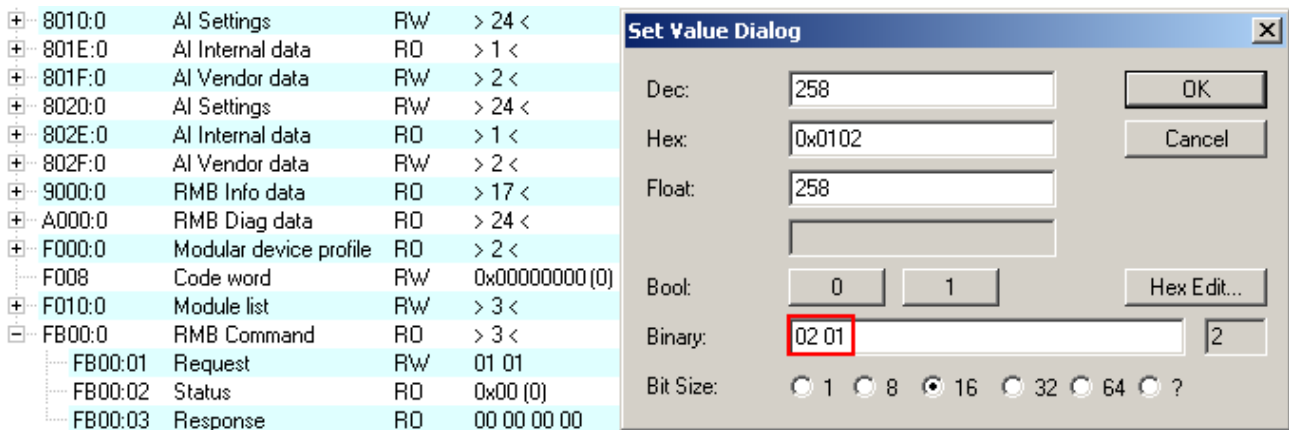


Abb. 54: Belastung mit Referenzlast, Kommando 0x0102 in CoE-Objekt 0xFB00:01

11. Rückstellung: Kommando 0x0000 (0_{dec}) auf CoE-Objekt 0xFB00:01 ausführen.

12. Filter auf niedrigere Stufe stellen.

Kalibrierung nach Sensor-Abgleichprotokoll (theoretische Kalibrierung)

Die Sensorkennwerte laut Hersteller-Zertifikat werden hier direkt der ELX3351 mitgeteilt, damit diese die Last berechnen kann.

1. CoE-Reset durchführen
2. Scale factor (0x8000:27 [[72](#)]) = 1 setzen
3. Gravity of earth (0x8000:26) [[72](#)] setzen falls erforderlich (default: 9.806650)
4. Gain (0x8000:21 [[72](#)]) = 1 setzen
5. Tara (0x8000:22 [[72](#)]) = 0 setzen
6. Nennlast des Sensors in 0x8000:24 [[72](#)] (Nominal load) angeben
7. "Rated Output" (mV/V Wert 0x8000:23 [[72](#)]) aus dem Abgleichprotokoll übernehmen
8. Zero Balance (0x8000:25 [[72](#)]) aus dem Abgleichprotokoll übernehmen

● Kalibrierung

i Die Kalibrierung ist für die Genauigkeit des Systems von großer Bedeutung. Um diese zu steigern, sollten die Filter während der gesamten Kalibrierphase möglichst stark eingestellt sein. Dabei kann es mehrere Sekunden dauern, bis sich ein statischer Wert eingestellt hat.

● Lokale Speicherung

i Die beim theoretischen und praktischen Abgleich geänderten Werte werden in einem lokalen EEPROM gespeichert. Dieses kann bis zu 1 Million mal beschrieben werden. Um die Lebensdauer des EEPROMS zu verlängern, sollten die Kommandos deshalb nicht zyklisch ausgeführt werden.

5.3.2 Selbstkalibrierung

Selbstkalibrierung der Messverstärker

Die Messverstärker werden automatisch periodisch einer Überprüfung und Selbstkalibrierung unterzogen. Dafür sind mehrere Analogschalter vorgesehen, um die verschiedenen Kalibriersignale aufschalten zu können. Wichtig dabei ist, dass in jeder Phase der Kalibrierung immer der gesamte Signalpfad (inklusive aller passiven Bauteile) überprüft wird. Lediglich die Entstörglieder (L/C-Kombination) und die Analogschalter selbst können nicht erfasst werden. Zusätzlich wird in größeren Abständen noch ein Selbsttest durchgeführt.

Die Selbstkalibrierung wird in der Default-Einstellung alle drei Minuten durchgeführt.

- **Selbstkalibrierung**

Zeitintervall wird in 100 ms Schritten mit Objekt `0x8000:31 [▶ 72]` eingestellt, default: 3 min.
Dauer ca. 150 ms

Durch die Selbstkalibrierung der Eingangsstufen in den beiden Arbeitspunkten (Nullpunkt und Endwert) werden die beiden Messkanäle aufeinander abgeglichen.

Schnittstelle zur Steuerung

Die Selbstkalibrierung findet automatisch in den festgelegten Abständen statt. Um zu verhindern, dass während eines zeitkritischen Messvorganges kalibriert wird, kann über das Bit *Disable calibration* im *ControlWord* die automatische Kalibrierung auch dauerhaft gesperrt werden. Sollte es notwendig sein zusätzlich eine manuelle Prüfung durchzuführen, wird diese durch eine steigende Flanke des Bits *Start manual calibration* im Prozessabbild gestartet.

Während die Klemme eine Selbstkalibrierung durchführt, ist im Prozessabbild das Bit *Calibration in progress* gesetzt. Eine einmal gestartete Selbstkalibrierung kann nicht abgebrochen werden.

Wenn die Selbstkalibrierung durch *Disable calibration* abgeschaltet wurde, kann sie trotzdem durch das Prozessdatenbit *Start calibration* gestartet werden.

● Selbstkalibrierung

i Die Selbstkalibrierung wird erstmalig direkt nach dem Aufstarten der Klemme durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt muss die Versorgungsspannung bereits anliegen. Sollte die Versorgungsspannung erst später angelegt werden, muss die Selbstkalibrierung manuell angestoßen werden (Prozessdaten Bit: "Start calibration").

Die Selbstkalibrierung muss nach jedem Aufstarten mindestens einmalig durchgeführt werden.

Wird die Selbstkalibrierung länger oder dauerhaft unterbunden, ist eine geringere Messgenauigkeit zu erwarten.

Nach einer Änderung der Einstellungen im CoE (Bereich x80nn) wird in jedem Fall (auch bei *DisabledCalibration* = TRUE) eine Selbstkalibrierung durchgeführt, da die Einstellungen den Messvorgang beeinflussen. CoE-Einstellungen sind soweit möglich außerhalb des fortlaufenden Messvorgangs zu ändern.

5.3.3 Tarierung

Beim Tarieren wird die Waage unter beliebiger anliegender Belastung auf Null gesetzt. Es wird also eine Offset-Korrektur durchgeführt. Dies ist zum Brutto/Netto-Ausgleich bei Gütern nötig, die ohne massebehaftetem Behälter nicht gewogen werden können.

Es empfiehlt sich, bei der Tarierung einen starken Filter einzustellen.

Temporäres Tara

Über eine steigende Flank am Tara-PDO kann eine temporäre Tarierung ausgeführt werden. Der Korrekturwert wird NICHT in der Klemme gespeichert und geht bei Spannungsausfall verloren. Dabei wird das Tara-Objekt ([0x8000:22](#) [[▶ 721](#)]) so eingestellt, dass sich der Anzeigewert 0 ergibt.

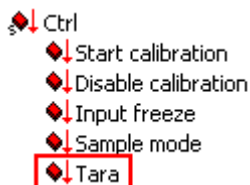


Abb. 55: Control-Word, Tara

5.3.4 Übersicht der Kommandos

Die vorher beschriebenen Funktionen werden über Kommandos im standardisierten Objekt 0xFB00 vorgenommen.

Index	Name	Kommentar
FB00:01	Request	Eingabe des auszuführenden Kommandos
FB00:02	Status	Status des aktuell ausgeführten Kommandos 0: Kommando fehlerfrei ausgeführt 255: Kommando wird ausgeführt
FB00:03	Response	Optionaler Rückgabewert des Kommandos

Um die Ausführung der Kommandos aus der PLC durchzuführen, können die Funktionsbausteine *FB_EcCoESdoWrite* und *FB_EcCoESdoRead* aus der *TcEtherCAT.lib* (enthalten in der Standard TwinCAT Installation) genutzt werden.

Kommandos der ELX3351

Über den CoE-Eintrag 0xFB00:01 können der Klemme folgende Kommandos übergeben werden:

Kommando	Kommentar
0x0101	Nullabgleich durchführen
0x0102	Kalibrierung durchführen

5.4 Prozessdaten

In diesem Kapitel werden die einzelnen PDOs mit ihrem Inhalt vorgestellt. Ein PDO (Prozess-Daten-Objekt) ist eine Einheit an zyklisch übertragenen Prozesswerten. So eine Einheit kann eine einzelne Variable (z. B. das Gewicht als 32-Bit-Wert) oder eine Gruppe/Struktur von Variablen sein. Die einzelnen PDOs lassen sich im TwinCAT System Manager einzeln aktivieren bzw. deaktivieren. Dazu dient der Reiter *Prozessdaten* (nur sichtbar wenn links die Klemme ausgewählt ist). Eine Änderung der Prozessdatenzusammenstellung im TwinCAT System Manager wird erst nach Neustart des EtherCAT-Systems wirksam.

5.4.1 Prozessdatenauswahl

Die Prozessdaten der ELX3351 werden im TwinCAT System Manager eingerichtet. Die PDOs lassen sich einzeln aktivieren bzw. deaktivieren. Dazu dient der Reiter *Prozessdaten* (nur sichtbar wenn links die Klemme ausgewählt ist).

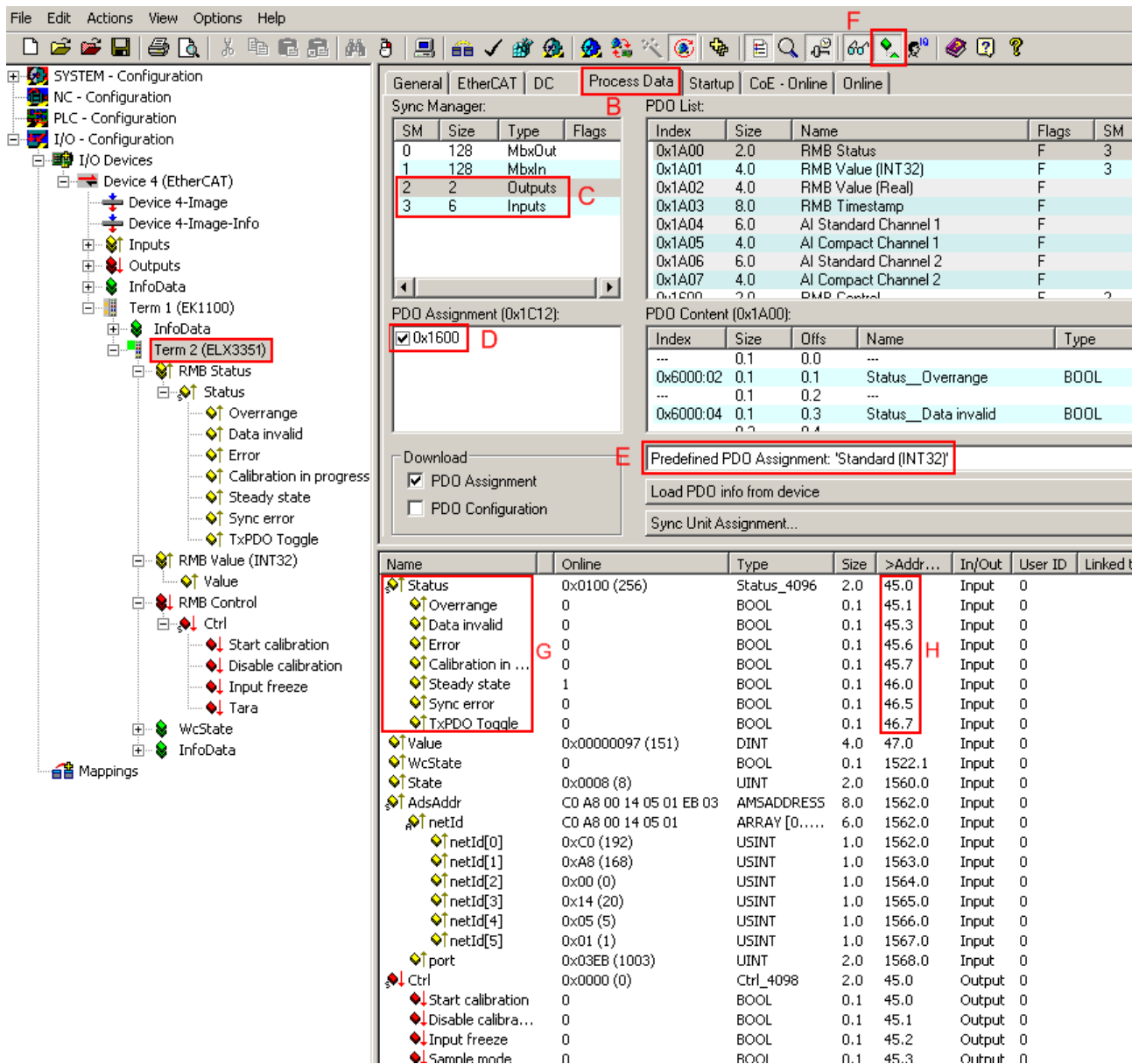


Abb. 56: ELX3351 - Prozessdatenauswahl im TwinCAT Systemmanager

Wenn im System Manager die Klemme ausgewählt ist (A) zeigt der Reiter *Prozessdaten* (B) die PDO-Auswahl. Es können die beiden SyncManager der Eingänge/Inputs (SM3) und Ausgänge/Outputs (SM2) (C) verändert werden. Wird einer der beiden angeklickt, erscheint darunter die für diesen SyncManager möglichen PDO (D). Bereits aktivierte PDO haben vorne ein Häkchen, die Aktivierung geschieht durch Anklicken.

Die dann zum Gerät gehörigen Prozessdaten sind darunter aufgelistet (G). Damit die einzelnen Bitbedeutungen z. B. im Status-Wort *Status* sichtbar und einzeln verlinkbar sind (G), muss im System Manager *ShowSubVariables* aktiviert werden (F). An welcher Bitposition die SubVariablen im Status- oder Control-Word *Ctrl* sind, ist auch aus der Adressübersicht (H) oder den nachfolgenden Angaben zu entnehmen.

Predefined PDO Assignment

Um die Konfiguration zu vereinfachen sind in der Gerätebeschreibung typische Konfigurationskombinationen aus Prozessdaten hinterlegt. In der Prozessdatenübersicht können die vordefinierten Zusammenstellungen ausgewählt werden. Daher steht die Funktion nur zur Verfügung, wenn die ESI/XML-Dateien auf dem System hinterlegt sind (zum [Download auf der Beckhoff Webseite](#)).

Folgende Kombinationen sind möglich (siehe auch Abb. *ELX3351 - Prozessdatenauswahl im TwinCAT Systemmanager*, E):

Predefined PDO Assignment: 'Standard (INT32)'
Predefined PDO Assignment: (none)
Predefined PDO Assignment: 'Standard (INT32)'
Predefined PDO Assignment: 'Standard (REAL)'

Abb. 57: ELX3351 - Auswahl Predefined PDO Assignment

- Standard (INT32): [Default-Einstellung] Lastberechnung; 32-Bit Integer-Lastwert als Endwert entsprechend der Rechenvorgaben im CoE, keine weitere Umrechnung in der PLC mehr nötig
- Standard (REAL): Lastberechnung; 32-Bit Fließkomma-Lastwert als Endwert entsprechend der Rechenvorgaben im CoE, keine weitere Umrechnung in der PLC mehr nötig

5.4.2 Default-Prozessabbild

Das Default-Prozessabbild ist Standard (INT32).

Name	Online	Type	Size	>Addr...	In/Out	User ID
↕ ↑ Status	0x8100 (33024)	Status_4096	2.0	45.0	Input	0
↕ ↑ Overrange	0	BOOL	0.1	45.1	Input	0
↕ ↑ Data invalid	0	BOOL	0.1	45.3	Input	0
↕ ↑ Error	0	BOOL	0.1	45.6	Input	0
↕ ↑ Calibration in progress	0	BOOL	0.1	45.7	Input	0
↕ ↑ Steady state	1	BOOL	0.1	46.0	Input	0
↕ ↑ Sync error	0	BOOL	0.1	46.5	Input	0
↕ ↑ TxPDO Toggle	1	BOOL	0.1	46.7	Input	0
↕ ↑ Value	0x00000097 (151)	DINT	4.0	47.0	Input	0
↕ ↑ WcState	0	BOOL	0.1	1522.1	Input	0
↕ ↑ State	0x0008 (8)	UINT	2.0	1560.0	Input	0
↕ ↑ AdsAddr	CO A8 00 14 05 01 EB 03	AMSADDRESS	8.0	1562.0	Input	0
↕ ↑ netId	CO A8 00 14 05 01	ARRAY [0.....	6.0	1562.0	Input	0
↕ ↑ netId[0]	0xC0 (192)	USINT	1.0	1562.0	Input	0
↕ ↑ netId[1]	0xA8 (168)	USINT	1.0	1563.0	Input	0
↕ ↑ netId[2]	0x00 (0)	USINT	1.0	1564.0	Input	0
↕ ↑ netId[3]	0x14 (20)	USINT	1.0	1565.0	Input	0
↕ ↑ netId[4]	0x05 (5)	USINT	1.0	1566.0	Input	0
↕ ↑ netId[5]	0x01 (1)	USINT	1.0	1567.0	Input	0
↕ ↑ port	0x03EB (1003)	UINT	2.0	1568.0	Input	0
↕ ↓ Ctrl	0x0000 (0)	Ctrl_4098	2.0	45.0	Output	0
↕ ↓ Start calibration	0	BOOL	0.1	45.0	Output	0
↕ ↓ Disable calibration	0	BOOL	0.1	45.1	Output	0
↕ ↓ Input freeze	0	BOOL	0.1	45.2	Output	0
↕ ↓ Sample mode	0	BOOL	0.1	45.3	Output	0
↕ ↓ Tara	0	BOOL	0.1	45.4	Output	0

Abb. 58: ELX3351 - Default-Prozessabbild

Hinweis ELX3351: ohne Umschaltung *SampleMode* im Control-Word

Funktion der Variablen

Variable	Bedeutung
Status	Das Status-Wort (SW) befindet sich im Eingangsprozessabbild und wird von der Klemme zur Steuerung übertragen. Zur Erläuterung siehe die Einträge in der Objektübersicht, Index 0x6000 [▶ 73] siehe " Bit - Bedeutung des Status Word [▶ 69] "
Value	berechneter 32-Bit DINT Lastwert in Einheit [1], mit Vorzeichen
Value (Real)	berechneter 32-Bit Fließkomma-REAL Lastwert mit Mantisse und Exponent in Einheit [1] Das Format entspricht dem REAL aus der IEC 61131-3, die wiederum beim REAL Format auf die IEC 559 verweist. Dort ist eine REAL Zahl (einfache Genauigkeit) wie folgt definiert (siehe dazu auch Beckhoff InfoSys: TwinCAT PLC Control: Standard Data Types). Diese 32-Bit-Variable kann nach IEC 61131 direkt mit einer FLOAT-Variable der PLC verlinkt werden. siehe " Bit - Bedeutung der Variable Value (REAL) [▶ 69] "
WcState	zyklische Diagnosevariable; "0" zeigt ordnungsgemäße Datenübertragung an
Status	State des EtherCAT Gerätes; <i>State.3</i> = TRUE zeigt ordnungsgemäßen Betrieb in OP an
AdsAddr	AmsNet-Adresse des EtherCAT Gerätes aus AmsNetId (hier: 192.168.0.20.5.1) und Port (hier: 1003)
Ctrl	Das Control-Wort (CW) befindet sich im Ausgangsprozessabbild und wird von der Steuerung zur Klemme übertragen. Zur Erläuterung siehe die Einträge in der Objektübersicht, Index 0x7000 [▶ 73] . siehe " Bit - Bedeutung des Control Word [▶ 69] "

Zur Zerlegung der Status- und Control-Variable siehe auch das Beispielprogramm.

Bit-Bedeutung des Staus Word

Bit	SW.15	SW.14	SW.13	SW.12 - SW.9	SW.8	SW.7	SW.6	SW.5 - SW.4	SW.3	SW.2	SW.1	SW.0
Name	TxPDO Toggle	-	-	-	Steady State	Calibration in progress	Error	-	Data invalid	-	Over range	-
Bedeutung	toggelt 0->1->0 bei jedem aktualisierten Datensatz	-	-	-	Ruheerkennung	Kalibriervorgang läuft	Sammelanzeige der Fehler	-	Eingangsdaten sind ungültig	-	Messbereich überschritten	-

Bit-Bedeutung der Variable Value (Real)

Bitposition (von links)	1	8	23(+1 "hidden bit", siehe IE559)
Funktion	Vorzeichen	Exponent	Mantisse

Bit-Bedeutung des Control Word

Bit	CW.15 - CW.5	CW.4	CW.3	CW.2	CW.1	CW.0
Name	-	Tara	-	Input Freeze	Disable Calibration	Start Calibration
Bedeutung	-	startet Tara	-	stoppt die Messung	schaltet die automatische Selbstkalibrierung ab	startet umgehend die Selbstkalibrierung

5.4.3 Varianten Predefined PDO

Fließkomma-Darstellung der Last

Die Anzeige des Lastwertes kann auch schon in der Klemme in eine Kommadarstellung umgerechnet werden. Dazu sind die Eingangs-PDOs wie folgt zu ändern:

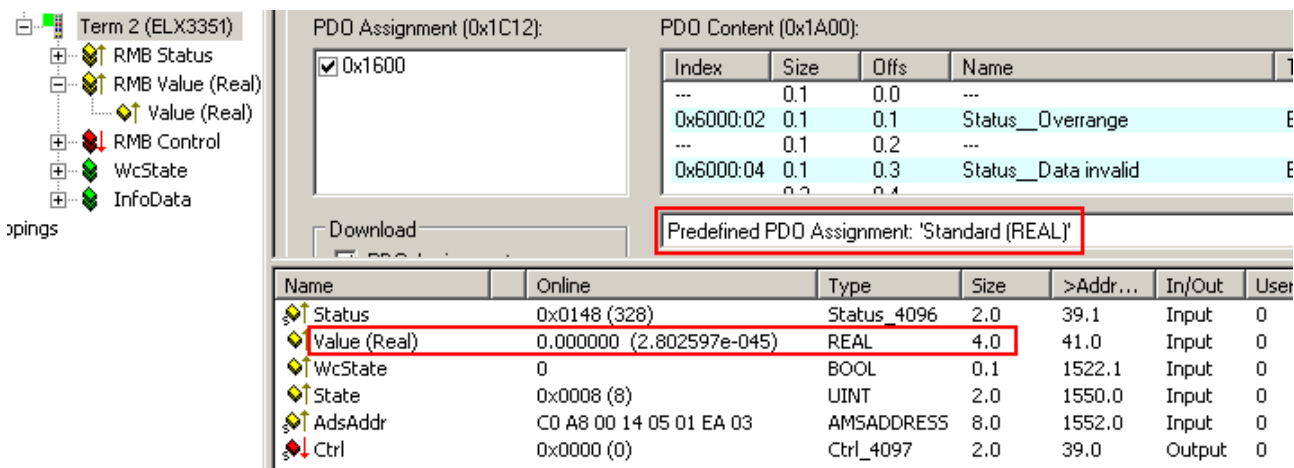


Abb. 59: Lastwert in Fließkomma-Darstellung

Variable	Bedeutung
Value (Real)	berechneter 32-Bit Fließkomma-REAL Lastwert mit Mantisse und Exponent in Einheit [1] Das Format entspricht dem REAL aus der IEC 61131-3, die wiederum beim REAL Format auf die IEC 559 verweist. Dort ist eine REAL Zahl (einfache Genauigkeit) wie folgt definiert (siehe dazu auch <u>Beckhoff InfoSys: TwinCAT PLC Control: Standard Data Types</u>). Diese 32-Bit-Variable kann nach IEC 61131 direkt mit einer FLOAT-Variable der PLC verlinkt werden (siehe Bit-Bedeutung der Variable Value (REAL)).

5.4.4 Sync Manager

PDO-Zuordnung

Inputs: SM3, PDO-Zuordnung 0x1C13				
Index	Index ausgeschlossener PDOs	Größe (Byte.Bit)	Name	PDO Inhalt
0x1A00 (default)	-	2.0	RMB Status (Resistor Measurement bridge)	Index 0x6000:02 [▶ 73] - Overrange Index 0x6000:04 [▶ 73] - Data invalid Index 0x6000:07 [▶ 73] - Error Index 0x6000:08 [▶ 73] - Calibration in progress Index 0x6000:09 [▶ 73] - Steady State Index 0x6000:10 [▶ 73] - TxPDO Toggle
0x1A01 (default)	0x1A02 0x1A04 0x1A05 0x1A06 0x1A07	4.0	RMB Value (INT32)	Index 0x6000:11 [▶ 73] - Value
0x1A02	0x1A01 0x1A04 0x1A05 0x1A06 0x1A07	4.0	RMB Value (Real)	Index 0x6000:12 [▶ 73] - Value (Real)

Outputs: SM2, PDO-Zuordnung 0x1C12				
Index	Index ausgeschlossener PDOs	Größe (Byte.Bit)	Name	PDO Inhalt
0x1600 (default)	-	2.0	RMB Control (Resistor Measurement bridge)	Index 0x7000:01 [▶ 73] - Start calibration Index 0x7000:02 [▶ 73] - Disable calibration Index 0x7000:03 [▶ 73] - Input freeze Index 0x7000:05 [▶ 73] - Tara

5.5 ELX3351 - Objektbeschreibung und Parametrierung

i EtherCAT XML Device Description

Die Darstellung entspricht der Anzeige der CoE-Objekte aus der EtherCAT XML Device Description. Es wird empfohlen, die entsprechende aktuelle XML-Datei im Download-Bereich auf der [Beckhoff-Website](#) herunterzuladen und entsprechend den Installationsanweisungen zu installieren.

i Parametrierung über das CoE-Verzeichnis (CAN over EtherCAT)

Die Parametrierung des EtherCAT Gerätes wird über den CoE-Online Reiter (mit Doppelklick auf das entsprechende Objekt) bzw. über den Prozessdatenreiter (Zuordnung der PDOs) vorgenommen. Beachten Sie bei Verwendung/Manipulation der CoE-Parameter die allgemeinen CoE-Hinweise:

- StartUp-Liste führen für den Austauschfall
- Unterscheidung zwischen Online/Offline Dictionary, Vorhandensein aktueller XML-Beschreibung
- "CoE-Reload" zum Zurücksetzen der Veränderungen

5.5.1 Restore-Object

Index 1011 Restore default parameters

Index	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1011:0	Restore default parameters	Herstellen der Defaulteinstellungen	UINT8	RO	0x01 (1 _{dez})
1011:01	SubIndex 001	Wenn Sie dieses Objekt im Set Value Dialog auf "0x64616F6C" setzen, werden alle Backup Objekte wieder in den Auslieferungszustand gesetzt.	UINT32	RW	0x00000000 (0 _{dez})

5.5.2 Konfigurationsdaten

Index 8000 RMB Settings

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
8000:0	RMB Settings	Max. Subindex	UINT8	RO	0x32 (50 _{dez})
8000:01	Enable filter	0: Keine Filter aktiv. Die Klemme arbeitet Zyklussynchron 1: Die in Subindex 0x8000:11 bzw. 0x8000:12 gewählten Filtereinstellungen sind aktiv.	BOOLEAN	RW	0x01 (1 _{dez})
8000:03	Enable averager	Hardware Mittelwertfilter aktivieren	BOOLEAN	RW	0x01 (1 _{dez})
8000:05	Symmetric reference potential	Symmetrische Messung einschalten	BOOLEAN	RW	0x01 (1 _{dez})
8000:11	Filter settings	0: FIR 50 Hz 1: FIR 60 Hz 2: IIR 1 3: IIR 2 4: IIR 3 5: IIR 4 6: IIR 5 7: IIR 6 8: IIR 7 9: IIR 8 10: Dynamic IIR	UINT16	RW	0x0000 (0 _{dez})
8000:13	Dynamic filter change time	Abtastrate für die dynamische Filterumschaltung. Skalierung in 0.01 ms (100 = 1 s) (nur wenn die Filter eingeschaltet sind und als Filter "dynamic IIR" gewählt ist)	UINT16	RW	0x000A (10 _{dez})
8000:14	Dynamic filter delta	Grenzwert für die dynamische Filterumschaltung. (nur wenn die Filter eingeschaltet sind und als Filter "dynamic IIR" gewählt ist)	REAL32	RW	0x41A00000 (1101004800 _{dez}) = 20.0
8000:21	Gain	Skalierfaktor	REAL32	RW	0x3F800000 (1065353216 _{dez}) = 1.0
8000:22	Tara	Offset des Prozessdatenwertes	REAL32	RW	0x00000000 (0 _{dez}) = 0.0
8000:23	Rated output	Nennkennwert des Sensorelementes in mV/V	REAL32	RW	0x40000000 (1073741824 _{dez}) = 2.0
8000:24	Nominal load	Nennlast des Kraftaufnehmers/Wägezelle/ect. (z. B. in kg oder N oder ..)	REAL32	RW	0x40A00000 (1084227584 _{dez}) = 5.0
8000:25	Zero balance	Nullpunkt-Offset in mV/V	REAL32	RW	0x00000000 (0 _{dez}) = 0.0
8000:26	Gravity of earth	Aktuelle Erdbeschleunigung (default 9.806650)	REAL32	RW	0x411CE80A (1092413450 _{dez}) = 9.806650
8000:27	Scale factor	Über diesen Faktor kann das Prozessdatum umskaliert werden. Um z. B. die Anzeige von kg in g zu ändern, kann hier der Faktor 1000 eingetragen werden.	REAL32	RW	0x447A0000 (1148846080 _{dez}) = 1000.0
8000:28	Reference load	Referenzgewicht für manuelles Kalibrieren	REAL32	RW	0x40A00000 (1084227584 _{dez}) = 5.0
8000:29	Steady state window	Zeitkonstante für das "Steady state" Bit (dient zur Ruherkennung)	UINT16	RW	0x03E8 (1000 _{dez})
8000:2A	Steady state tolerance	Toleranzfenster für das "Steady state" Bit	UINT32	RW	0x00000005 (5 _{dez})
8000:31	Calibration interval	Kalibrierintervall für die automatische Kalibrierung der Klemme. Die Einheit ist 100 ms. Der kleinstmögliche Wert ist 5. (500 ms) Ein Wert von 0 schaltet die automatische Selbstkalibrierung aus. Dies ist auch über das Prozessdaten-Bit "Disable calibration" möglich.	UINT16	RW	0x0708 (1800 _{dez})

5.5.3 Kommando-Objekt

Index FB00 RMB Command

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
FB00:0	RMB Command	Max. Subindex	UINT8	RO	0x03 (3 _{dez})
FB00:01	Request	Über das Request-Objekt könne Kommandos an die Klemme abgesetzt werden. Befehl: <ul style="list-style-type: none"> • 0x0101: Nullabgleich • 0x0102: Kalibrierung siehe Kommandos	OCTET-STRING[2]	RW	{0}
FB00:02	Status	Status des aktuell ausgeführten Kommandos 0: Kommando fehlerfrei ausgeführt 255: Kommando wird ausgeführt	UINT8	RO	0x00 (0 _{dez})
FB00:03	Response	Optionaler Rückgabewert des Kommandos	OCTET-STRING[4]	RO	{0}

5.5.4 Eingangsdaten

Index 6000 RMB Inputs

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
6000:0	RMB Inputs	Max. Subindex	UINT8	RO	0x13 (19 _{dez})
6000:02	Ovrange	Der Messwert hat seinen Endwert erreicht	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
6000:04	Data invalid	Die angezeigten Prozessdaten sind ungültig. z. B. während der Kalibrierung.	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
6000:07	Error	Es ist ein Fehler aufgetreten.	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
6000:08	Calibration in progress	Die Kalibrierung läuft. Die Prozessdaten zeigen den letzten gültigen Messwert an.	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
6000:09	Steady state		BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
6000:10	TxPDO Toggle	Der TxPDO Toggle wird vom Slave getoggelt, wenn die Daten der zugehörigen TxPDO aktualisiert wurden.	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
6000:11	Value	Messwert als 32 Bit signed Integer	INT32	RO	0x61746144 (1635017028 _{dez})
6000:12	Value (Real)	Messwert als Real	REAL32	RO	0x00000000 (0 _{dez})

5.5.5 Ausgangsdaten

Index 7000 RMB Outputs

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
7000:0	RMB Outputs	Max. Subindex	UINT8	RO	0x05 (5 _{dez})
7000:01	Start calibration	Mit einer steigenden Flanke kann die Kalibrierung manuell gestartet werden. Somit kann verhindert werden, dass die Kalibrierung zu einem ungünstigen Zeitpunkt automatisch gestartet wird.	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
7000:02	Disable calibration	0: Die automatische Kalibrierung ist aktiv. 1: Die automatische Kalibrierung ist abgeschaltet.	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
7000:03	Input freeze	Die Prozessdaten und die digitalen Filter werden eingefroren.	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
7000:05	Tara	Mit einer steigenden Flanke kann das Prozessdatum auf 0 gesetzt werden. Der Tara-Wert wird nicht im EEPROM gespeichert und steht somit nach einem Reset der Klemme nicht mehr zur Verfügung.	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})

5.5.6 Informations-/Diagnostikdaten

Index 9000 RMB Info data

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
9000:0	RMB Info data	Max. Subindex	UINT8	RO	0x11 (17 _{dez})
9000:11	mV/V	Aktueller mV/V Wert	REAL32	RO	0x00000000 (0 _{dez})

Index A000 RMB Diag data

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
A000:13	No external reference supply	Die externe Referenzspannung ist kleiner $\pm 1V$.	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
A000:15	Ovrange bridge	Messbereichsüberschreitung im Brückenweig	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
A000:16	Underrange bridge	Messbereichsunterschreitung im Brückenweig	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
A000:17	Ovrange supply	Messbereichsüberschreitung der Referenzspannung	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
A000:18	Underrange supply	Messbereichsunterschreitung der Referenzspannung	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})
A000:21	ADC raw value supply	ADC Rohwert Brückenversorgungsspannung	INT32	RO	0x00 (0 _{dez})
A000:22	ADC raw value bridge	ADC Rohwert Brückenspannung	INT32	RO	0x00 (0 _{dez})

5.5.7 Standardobjekte

Index 1000 Device type

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1000:0	Device type	Geräte-Typ des EtherCAT-Slaves: Das Lo-Word enthält das verwendete CoE Profil (5001). Das Hi-Word enthält das Modul Profil entsprechend des Modular Device Profile.	UINT32	RO	0x00001389 (5001 _{dez})

Index 1008 Device name

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1008:0	Device name	Geräte-Name des EtherCAT-Slave	STRING	RO	ELX3351

Index 1009 Hardware version

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1009:0	Hardware version	Hardware-Version des EtherCAT-Slaves	STRING	RO	00

Index 100A Software version

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
100A:0	Software version	Firmware-Version des EtherCAT-Slaves	STRING	RO	01

Index 1018 Identity

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1018:0	Identity	Informationen, um den Slave zu identifizieren	UINT8	RO	0x04 (4 _{dez})
1018:01	Vendor ID	Hersteller-ID des EtherCAT-Slaves	UINT32	RO	0x00000002 (2 _{dez})
1018:02	Product code	Produkt-Code des EtherCAT-Slaves	UINT32	RO	0x0D1C3052 (219951186 _{dez})
1018:03	Revision	Revisionsnummer des EtherCAT-Slaves, das Low-Word (Bit 0-15) kennzeichnet die Sonderklemmennummer, das High-Word (Bit 16-31) verweist auf die Gerätebeschreibung	UINT32	RO	0x00100000 (1048576 _{dez})
1018:04	Serial number	Seriennummer des EtherCAT-Slaves, das Low-Byte (Bit 0-7) des Low-Words enthält das Produktionsjahr, das High-Byte (Bit 8-15) des Low-Words enthält die Produktionswoche, das High-Word (Bit 16-31) ist 0	UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})

Index 10F0 Backup parameter handling

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
10F0:0	Backup parameter handling	Informationen zum standardisierten Laden und Speichern der Backup Entries	UINT8	RO	0x01 (1 _{dez})
10F0:01	Checksum	Checksumme über alle Backup-Entries des EtherCAT-Slaves	UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})

Index 1600 RMB RxPDO-Map Control

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1600:0	RMB RxPDO-Map Control	PDO Mapping RxPDO-Map control	UINT8	RO	0x07 (7 _{dez})
1600:01	Subindex 001	1. PDO Mapping entry (object 0x7000 (RMB outputs), entry 0x01 (Start calibration))	OCTET-STRING[10]	RO	0x7000:01, 1
1600:02	Subindex 002	2. PDO Mapping entry (object 0x7000 (RMB outputs), entry 0x02 (Disable calibration))	OCTET-STRING[10]	RO	0x7000:02, 1
1600:03	Subindex 003	3. PDO Mapping entry (object 0x7000 (RMB outputs), entry 0x03 (Input freeze))	OCTET-STRING[10]	RO	0x7000:03, 1
1600:04	Subindex 004	4. PDO Mapping entry (1 bit align)	OCTET-STRING[10]	RO	0x0000:00, 1
1600:05	Subindex 005	5. PDO Mapping entry (object 0x7000 (RMB outputs), entry 0x05 (Tara))	OCTET-STRING[10]	RO	0x7000:05, 1
1600:06	Subindex 006	6. PDO Mapping entry (3 bits align)	OCTET-STRING[10]	RO	0x0000:00, 3
1600:07	Subindex 007	7. PDO Mapping entry (8 bits align)	OCTET-STRING[10]	RO	0x0000:00, 8

Index 1800 RMB TxPDO-Par Status

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1800:0	RMB TxPDO-Par Status	PDO Parameter TxPDO 1	UINT8	RO	0x06 (6 _{dez})
1800:06	Exclude TxPDOs	Hier sind die TxPDOs (Index der TxPDO Mapping Objekte) angegeben, die nicht zusammen mit TxPDO 1 übertragen werden dürfen	OCTET-STRING[10]	RO	04 1A 05 1A 06 1A 07 1A 00 00

Index 1801 RMB TxPDO-Par Value (INT32)

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1801:0	RMB TxPDO-Par Value (INT32)	PDO Parameter TxPDO 2	UINT8	RO	0x06 (6 _{dez})
1801:06	Exclude TxPDOs	Hier sind die TxPDOs (Index der TxPDO Mapping Objekte) angegeben, die nicht zusammen mit TxPDO 2 übertragen werden dürfen	OCTET-STRING[10]	RO	02 1A 04 1A 05 1A 06 1A 07 1A

Index 1802 RMB TxPDO-Par Value (Real)

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1802:0	RMB TxPDO-Par Value (Real)	PDO Parameter TxPDO 3	UINT8	RO	0x06 (6 _{dez})
1802:06	Exclude TxPDOs	Hier sind die TxPDOs (Index der TxPDO Mapping Objekte) angegeben, die nicht zusammen mit TxPDO 3 übertragen werden dürfen	OCTET-STRING[10]	RO	01 1A 04 1A 05 1A 06 1A 07 1A

Index 1A00 RMB TxPDO-Map Status

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1A00:0	RMB TxPDO-Map Status	PDO Mapping RxPDO-Map Status	UINT8	RO	0x0A (10 _{dez})
1A00:01	Subindex 001	1. PDO Mapping entry (1 bits align)	OCTET-STRING[10]	RO	0x0000:00, 1
1A00:02	Subindex 002	2. PDO Mapping entry (object 0x6000 (RMB inputs), entry 0x02 (Overrange))	OCTET-STRING[10]	RO	0x6000:02, 1
1A00:03	Subindex 003	3. PDO Mapping entry (1 bits align)	OCTET-STRING[10]	RO	0x0000:00, 1
1A00:04	Subindex 004	4. PDO Mapping entry (object 0x6000 (RMB inputs), entry 0x04 (Data invalid))	OCTET-STRING[10]	RO	0x6000:04, 1
1A00:05	Subindex 005	5. PDO Mapping entry (2 bits align)	OCTET-STRING[10]	RO	0x0000:00, 2
1A00:06	Subindex 006	6. PDO Mapping entry (object 0x6000 (RMB inputs), entry 0x07 (Error))	OCTET-STRING[10]	RO	0x6000:07, 1
1A00:07	Subindex 007	7. PDO Mapping entry (object 0x6000 (RMB inputs), entry 0x08 (Calibration in progress))	OCTET-STRING[10]	RO	0x6000:08, 1
1A00:08	Subindex 008	8. PDO Mapping entry (object 0x6000 (RMB inputs), entry 0x09 (Steady state))	OCTET-STRING[10]	RO	0x6000:09, 1
1A00:09	Subindex 009	9. PDO Mapping entry (4 bits align)	OCTET-STRING[10]	RO	0x0000:00, 6
1A00:0A	Subindex 010	10. PDO Mapping entry (object 0x6000 (RMB inputs), entry 0x0E (Sync error))	OCTET-STRING[10]	RO	0x6000:10, 1

Index 1A01 RMB TxPDO-Map Value (INT32)

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1A01:0	RMB TxPDO-Map Value (INT32)	PDO Mapping Value (INT32)	UINT8	RW	0x01 (1 _{dez})
1A01:01	SubIndex 001	1. PDO Mapping entry (object 0x6000 (RMB inputs), entry 0x11 (Value))	UINT32	RW	0x6000:11, 32

Index 1A02 RMB TxPDO-Map Value (Real)

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1A02:0	RMB TxPDO-Map Value (real)	PDO Mapping Value (real)	UINT8	RW	0x01 (1 _{dez})
1A02:01	SubIndex 001	1. PDO Mapping entry (object 0x6000 (RMB inputs), entry 0x12 (Value (real)))	UINT32	RW	0x6000:12, 32

Index 1C00 Sync manager type

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1C00:0	Sync manager type	Benutzung der Sync Manager	UINT8	RO	0x04 (4 _{dez})
1C00:01	SubIndex 001	Sync-Manager Type Channel 1: Mailbox Write	UINT8	RO	0x01 (1 _{dez})
1C00:02	SubIndex 002	Sync-Manager Type Channel 2: Mailbox Read	UINT8	RO	0x02 (2 _{dez})
1C00:03	SubIndex 003	Sync-Manager Type Channel 3: Process Data Write (Outputs)	UINT8	RO	0x03 (3 _{dez})
1C00:04	SubIndex 004	Sync-Manager Type Channel 4: Process Data Read (Inputs)	UINT8	RO	0x04 (4 _{dez})

Index 1C12 RxPDO assign

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1C12:0	RxPDO assign	PDO Assign Outputs	UINT8	RW	0x02 (2 _{dez})
1C12:01	Subindex 001	1. zugeordnete RxPDO (enthält den Index des zugehörigen RxPDO Mapping Objekts)	UINT16	RW	0x1600 (5632 _{dez})
1C12:02	Subindex 002	2. zugeordnete RxPDO (enthält den Index des zugehörigen RxPDO Mapping Objekts)	UINT16	RW	-

Index 1C13 TxPDO assign

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1C13:0	TxPDO assign	PDO Assign Inputs	UINT8	RW	0x03 (3 _{dez})
1C13:01	Subindex 001	1. zugeordnete TxPDO (enthält den Index des zugehörigen TxPDO Mapping Objekts)	UINT16	RW	0x1A00 (6656 _{dez})
1C13:02	Subindex 002	2. zugeordnete TxPDO (enthält den Index des zugehörigen TxPDO Mapping Objekts)	UINT16	RW	0x1A01 (6657 _{dez})
1C13:03	Subindex 003	3. zugeordnete TxPDO (enthält den Index des zugehörigen TxPDO Mapping Objekts)	UINT16	RW	-

Index 1C32 SM output parameter

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1C32:0	SM output parameter	Synchronisierungsparameter der Outputs	UINT8	RO	0x20 (32 _{dez})
1C32:01	Sync mode	Aktuelle Synchronisierungsbetriebsart: <ul style="list-style-type: none"> • 0: Free Run • 1: Synchron with SM 2 Event • 2: DC-Mode - Synchron with SYNC0 Event • 3: DC-Mode - Synchron with SYNC1 Event 	UINT16	RW	0x0000 (0 _{dez})
1C32:02	Cycle time	Zykluszeit (in ns): <ul style="list-style-type: none"> • Free Run: Zykluszeit des lokalen Timers • Synchron with SM 2 Event: Zykluszeit des Masters • DC-Mode: SYNC0/SYNC1 Cycle Time 	UINT32	RW	0x001E8480 (2000000 _{dez})
1C32:03	Shift time	Zeit zwischen SYNC0 Event und Ausgabe der Outputs (in ns, nur DC-Mode)	UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})
1C32:04	Sync modes supported	Unterstützte Synchronisierungsbetriebsarten: <ul style="list-style-type: none"> • Bit 0 = 1: Free Run wird unterstützt • Bit 1 = 1: Synchron with SM 2 Event wird unterstützt • Bit 2-3 = 01: DC-Mode wird unterstützt • Bit 4-5 = 10: Output Shift mit SYNC1 Event (nur DC-Mode) • Bit 14 = 1: dynamische Zeiten (Messen durch Beschreiben von 0x1C32:08) 	UINT16	RO	0x0001 (1 _{dez})
1C32:05	Minimum cycle time	Minimale Zykluszeit (in ns)	UINT32	RO	0x000186A0 (100000 _{dez})
1C32:06	Calc and copy time	Minimale Zeit zwischen SYNC0 und SYNC1 Event (in ns, nur DC-Mode)	UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})
1C32:07	Minimum delay time		UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})
1C32:08	Command	<ul style="list-style-type: none"> • 0: Messung der lokalen Zykluszeit wird gestoppt • 1: Messung der lokalen Zykluszeit wird gestartet <p>Die Entries 0x1C32:03, 0x1C32:05, 0x1C32:06, 0x1C32:09, 0x1C33:03, 0x1C33:06, 0x1C33:09 ▶ 77 werden mit den maximal gemessenen Werten aktualisiert. Wenn erneut gemessen wird, werden die Messwerte zurückgesetzt</p>	UINT16	RW	0x0000 (0 _{dez})
1C32:09	Maximum Delay time	Zeit zwischen SYNC1 Event und Ausgabe der Outputs (in ns, nur DC-Mode)	UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})
1C32:0B	SM event missed counter	Anzahl der ausgefallenen SM-Events im OPERATIONAL (nur im DC Mode)	UINT16	RO	0x0000 (0 _{dez})
1C32:0C	Cycle exceeded counter	Anzahl der Zykluszeitverletzungen im OPERATIONAL (Zyklus wurde nicht rechtzeitig fertig bzw. der nächste Zyklus kam zu früh)	UINT16	RO	0x0000 (0 _{dez})
1C32:0D	Shift too short counter	Anzahl der zu kurzen Abstände zwischen SYNC0 und SYNC1 Event (nur im DC Mode)	UINT16	RO	0x0000 (0 _{dez})
1C32:20	Sync error	Im letzten Zyklus war die Synchronisierung nicht korrekt (Ausgänge wurden zu spät ausgegeben, nur im DC Mode)	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})

Index 1C33 SM input parameter

Index	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
1C33:0	SM input parameter	Synchronisierungsparameter der Inputs	UINT8	RO	0x20 (32 _{dez})
1C33:01	Sync mode	Aktuelle Synchronisierungsbetriebsart: <ul style="list-style-type: none"> • 0: Free Run • 1: Synchron with SM 3 Event (keine Outputs vorhanden) • 2: DC - Synchron with SYNC0 Event • 3: DC - Synchron with SYNC1 Event • 34: Synchron with SM 2 Event (Outputs vorhanden) 	UINT16	RW	0x0000 (0 _{dez})
1C33:02	Cycle time	wie 0x1C32:02	UINT32	RW	0x001E8480 (2000000 _{dez})
1C33:03	Shift time	Zeit zwischen SYNC0-Event und Einlesen der Inputs (in ns, nur DC-Mode)	UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})
1C33:04	Sync modes supported	Unterstützte Synchronisierungsbetriebsarten: <ul style="list-style-type: none"> • Bit 0: Free Run wird unterstützt • Bit 1: Synchron with SM 2 Event wird unterstützt (Outputs vorhanden) • Bit 1: Synchron with SM 3 Event wird unterstützt (keine Outputs vorhanden) • Bit 2-3 = 01: DC-Mode wird unterstützt • Bit 4-5 = 01: Input Shift durch lokales Ereignis (Outputs vorhanden) • Bit 4-5 = 10: Input Shift mit SYNC1 Event (keine Outputs vorhanden) • Bit 14 = 1: dynamische Zeiten (Messen durch Beschreiben von 0x1C32:08 oder 0x1C33:08) 	UINT16	RO	0x0001 (1 _{dez})
1C33:05	Minimum cycle time	wie 0x1C32:05	UINT32	RO	0x000186A0 (100000 _{dez})
1C33:06	Calc and copy time	Zeit zwischen Einlesen der Eingänge und Verfügbarkeit der Eingänge für den Master (in ns, nur DC-Mode)	UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})
1C33:07	Minimum delay time		UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})
1C33:08	Command	wie 0x1C32:08	UINT16	RW	0x0000 (0 _{dez})
1C33:09	Maximum Delay time	Zeit zwischen SYNC1-Event und Einlesen der Eingänge (in ns, nur DC-Mode)	UINT32	RO	0x00000000 (0 _{dez})
1C33:0B	SM event missed counter	wie 0x1C32:11	UINT16	RO	0x0000 (0 _{dez})
1C33:0C	Cycle exceeded counter	wie 0x1C32:12	UINT16	RO	0x0000 (0 _{dez})
1C33:0D	Shift too short counter	wie 0x1C32:13	UINT16	RO	0x0000 (0 _{dez})
1C33:20	Sync error	wie 0x1C32:32	BOOLEAN	RO	0x00 (0 _{dez})

Index F000 Modular device profile

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
F000:0	Modular device profile	Allgemeine Informationen des Modular Device Profiles	UINT8	RO	0x02 (2 _{dez})
F000:01	Module index distance	Indexabstand der Objekte der einzelnen Kanäle	UINT16	RO	0x0010 (16 _{dez})
F000:02	Maximum number of modules	Anzahl der Kanäle	UINT16	RO	EL3351-0000: 0x0001 (1 _{dez}) EL3351-0090: 0x0002 (2 _{dez})

Index F008 Code word

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
F008:0	Code word	reserviert	UINT32	RW	0x00000000 (0 _{dez})

Index F010 Module list

Index (hex)	Name	Bedeutung	Datentyp	Flags	Default
F010:0	Module list	Max. Subindex	UINT8	RW	0x02 (2 _{dez})
F010:01	SubIndex 001	RMB	UINT32	RW	0x00000172 (370 _{dez})
F010:02*	SubIndex 002	TSC	UINT32	RW	0x000003B6 (950 _{dez})




*) nur ELX3351-0090

6 Anhang

6.1 EtherCAT AL Status Codes

Detaillierte Informationen hierzu entnehmen Sie bitte der vollständigen [EtherCAT-Systembeschreibung](#).

6.2 UL-Hinweise

	<p>Application The modules are intended for use with Beckhoff's UL Listed EtherCAT System only.</p>
	<p>Examination For cULus examination, the Beckhoff I/O System has only been investigated for risk of fire and electrical shock (in accordance with UL508 and CSA C22.2 No. 142).</p>
	<p>For devices with Ethernet connectors Not for connection to telecommunication circuits.</p>

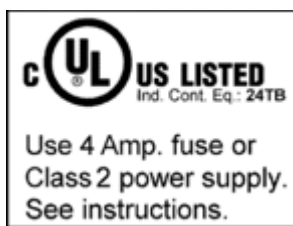
Grundlagen

Im Beckhoff EtherCAT Produktbereich sind je nach Komponente zwei UL-Zertifikate anzutreffen:

1. UL-Zertifizierung nach UL508. Solcherart zertifizierte Geräte sind gekennzeichnet durch das Zeichen:



2. UL-Zertifizierung nach UL508 mit eingeschränkter Leistungsaufnahme. Die Stromaufnahme durch das Gerät wird begrenzt auf eine max. mögliche Stromaufnahme von 4 A. Solcherart zertifizierte Geräte sind gekennzeichnet durch das Zeichen:



Annähernd alle aktuellen EtherCAT Produkte (Stand 2010/05) sind uneingeschränkt UL zertifiziert.

Anwendung

Werden *eingeschränkt* zertifizierte Klemmen verwendet, ist die Stromaufnahme bei 24 V_{DC} entsprechend zu beschränken durch Versorgung

- von einer isolierten, mit einer Sicherung (entsprechend UL248) von maximal 4 A geschützten Quelle, oder
- von einer Spannungsquelle die *NEC class 2* entspricht.
Eine Spannungsquelle entsprechend *NEC class 2* darf nicht seriell oder parallel mit einer anderen *NEC class 2* entsprechenden Spannungsquelle verbunden werden!

Diese Anforderungen gelten für die Versorgung aller EtherCAT Buskoppler, Netzteilklemmen, Busklemmen und deren Power-Kontakte.

6.3 FM-Hinweise

Besondere Hinweise hinsichtlich ANSI/ISA Ex

⚠ WARNUNG

Beachten Sie den zulässigen Einsatzbereich!

Der Einsatz der ELX-Klemmen darf ausschließlich in explosionsgefährdeten Bereichen der Class I, Division 2, Group A, B, C, D oder in nicht-explosionsgefährdeten Bereichen erfolgen!

⚠ WARNUNG



Berücksichtigen Sie die Dokumentation *Control Drawing ELX*!

Beachten Sie bei der Installation der ELX-Klemmen unbedingt die Dokumentation *Control Drawing ELX*, die Ihnen im Download-Bereich Ihrer ELX-Klemme unter <https://www.beckhoff.de/ELXxxxx> zur Verfügung steht!

6.4 Support und Service

Beckhoff und seine weltweiten Partnerfirmen bieten einen umfassenden Support und Service, der eine schnelle und kompetente Unterstützung bei allen Fragen zu Beckhoff Produkten und Systemlösungen zur Verfügung stellt.

Beckhoff Niederlassungen und Vertretungen

Wenden Sie sich bitte an Ihre Beckhoff Niederlassung oder Ihre Vertretung für den lokalen Support und Service zu Beckhoff Produkten!

Die Adressen der weltweiten Beckhoff Niederlassungen und Vertretungen entnehmen Sie bitte unseren Internetseiten: <https://www.beckhoff.de>

Dort finden Sie auch weitere Dokumentationen zu Beckhoff Komponenten.

Beckhoff Support

Der Support bietet Ihnen einen umfangreichen technischen Support, der Sie nicht nur bei dem Einsatz einzelner Beckhoff Produkte, sondern auch bei weiteren umfassenden Dienstleistungen unterstützt:

- Support
- Planung, Programmierung und Inbetriebnahme komplexer Automatisierungssysteme
- umfangreiches Schulungsprogramm für Beckhoff Systemkomponenten

Hotline: +49(0)5246 963 157
Fax: +49(0)5246 963 9157
E-Mail: support@beckhoff.com

Beckhoff Service

Das Beckhoff Service-Center unterstützt Sie rund um den After-Sales-Service:

- Vor-Ort-Service
- Reparaturservice
- Ersatzteilservice
- Hotline-Service

Hotline: +49(0)5246 963 460
Fax: +49(0)5246 963 479
E-Mail: service@beckhoff.com

Beckhoff Firmenzentrale

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

Hülshorstweg 20
33415 Verl
Deutschland

Telefon: +49(0)5246 963 0
Fax: +49(0)5246 963 198
E-Mail: info@beckhoff.com
Internet: <https://www.beckhoff.de>

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	ELX2008-0000 mit Date Code 2519HMHM, BTN 0001f6hd und Ex-Kennzeichnung	9
Abb. 2	ELX9560-0000 mit Date Code 12150000, BTN 0000b000 und Ex-Kennzeichnung	10
Abb. 3	ELX9012 mit Date Code 12174444, BTN 0000b0si und Ex-Kennzeichnung	11
Abb. 4	ELX3351 - Einkanalige Analog-Eingangsklemme für Widerstandsbrücke (DMS), Ex i	12
Abb. 5	Zulässige Anordnung der ELX-Klemmen (rechter Klemmenblock)	18
Abb. 6	Zulässige Anordnung - vor und nach dem ELX-Klemmenstrang sind Klemmen gesetzt, die nicht zur ELX-Serie gehören. Die Trennung erfolgt durch die ELX9560 zu Beginn des ELX-Klemmenstranges und zwei ELX9410 zum Ende des ELX-Klemmenstranges.....	18
Abb. 7	Zulässige Anordnung - mehrfache Wiedereinspeisungen durch ELX9560 mit jeweils einer vorgeschalteten ELX9410.....	18
Abb. 8	Zulässige Anordnung - ELX9410 vor einer Einspeiseklemme ELX9560.....	19
Abb. 9	Unzulässige Anordnung - fehlende Einspeiseklemme ELX9560.....	19
Abb. 10	Unzulässige Anordnung - Klemme im ELX-Klemmenstrang, die nicht zur ELX-Serie gehört	19
Abb. 11	Unzulässige Anordnung - zweite Einspeiseklemme ELX9560 im ELX-Klemmenstrang ohne vorgeschaltete ELX9410.....	19
Abb. 12	Unzulässige Anordnung - fehlende Busendkappe ELX9012.....	20
Abb. 13	Einbaulage und Mindestabstände	21
Abb. 14	Montage auf Tragschiene	22
Abb. 15	Demontage von Tragschiene.....	23
Abb. 16	Standardverdrahtung	24
Abb. 17	High-Density-Klemmen.....	24
Abb. 18	Anschluss einer Leitung an eine Klemmstelle	25
Abb. 19	ELX3351 - Anschlussbelegung und LEDs.....	27
Abb. 20	ELX3351 - Anschluss einer Vollbrücke in 6-Leitertechnik	27
Abb. 21	ELX3351 – Spannungsversorgung.....	28
Abb. 22	ELX3351 - Messbereich UD in Abhängigkeit des Brückeneingangswiderstands.....	28
Abb. 23	Messbereichsendwert, Messspanne	31
Abb. 24	SE und DIFF-Modul als 2-kanalige Variante	33
Abb. 25	2-Leiter-Anschluss	35
Abb. 26	Gleichtaktspannung (Ucm)	36
Abb. 27	Empfohlener Einsatzspannungsbereich	37
Abb. 28	Signalverarbeitung Analogeingang.....	37
Abb. 29	Diagramm Signalverzögerung (Sprungantwort)	39
Abb. 30	Diagramm Signalverzögerung (linear).....	39
Abb. 31	Verwendete Bezeichnungen: im folgenden Abschnitt (links), in dieser übrigen Dokumentation (rechts).....	40
Abb. 32	Prinzipdarstellung eines DMS.....	41
Abb. 33	Viertel-, Halb-, und Vollbrücke	41
Abb. 34	4-Leiter-Anschluss	43
Abb. 35	6-Leiter-Anschluss	44
Abb. 36	Beispiel Wägezelle	45
Abb. 37	Parallel-DMS.....	48
Abb. 38	Shunt-Kalibrierung	48
Abb. 39	Messbrücke mit 4 Brückenwiderständen	49
Abb. 40	Messbrücke mit 4 Brückenwiderständen und 2 zusätzlichen Widerständen	50
Abb. 41	Beispiel 1 - Umfassende Betrachtung des 4-Leiter-Anschlusses an ELM350x.....	51

Abb. 42	Beispiel 2 - Umfassende Betrachtung des 6-Leiter-Anschlusses an ELM350x.....	51
Abb. 43	Eigenfrequenz in Abhängigkeit von der Masse	53
Abb. 44	Maximale Eingangsspannungen.....	55
Abb. 45	Parallelschaltung mit ELX3351	56
Abb. 46	ELX3351 - Signalflussplan.....	57
Abb. 47	Notch-Kennlinie/Amplitudengang und Sprungantwort der FIR-Filter.....	57
Abb. 48	Sprungantwort der IIR-Filter	58
Abb. 49	Auswirkung dynamischer IIR-Filter	59
Abb. 50	Beispiel für InputFreeze.....	61
Abb. 51	Beispiel für die Ruherkennung.....	62
Abb. 52	Anpassen an die Sensorkennlinie	63
Abb. 53	Nullabgleich mit Kommando 0x0101 in CoE-Objekt 0xFB00:01	64
Abb. 54	Belastung mit Referenzlast, Kommando 0x0102 in CoE-Objekt 0xFB00:01	64
Abb. 55	Control-Word, Tara	66
Abb. 56	ELX3351 - Prozessdatenauswahl im TwinCAT Systemmanager.....	67
Abb. 57	ELX3351 - Auswahl Predefined PDO Assignment	68
Abb. 58	ELX3351 - Default-Prozessabbild	68
Abb. 59	Lastwert in Fließkomma-Darstellung	70

Mehr Informationen:
www.beckhoff.de/ELXxxx

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG
Hülshorstweg 20
33415 Verl
Deutschland
Telefon: +49 5246 9630
info@beckhoff.de
www.beckhoff.de

