



RATGEBER

FUNKTIONALE SICHERHEIT



Sicherheit an erster Stelle

Leine & Lindner Drehgeber – ein wichtiger Faktor bei Maschinen, die eine sichere Bedienung bieten sollen.

Unsere Drehgeber gehören zu den robustesten am Markt. Und da sie noch dazu äußerst präzise sind, gewährleisten sie selbst unter extremen Bedingungen wie Temperaturschwankungen, Vibrationen, Erschütterungen und Verschmutzung die Schaffung eines funktionalen Sicherheitssystems.



Das Konzept der funktionalen Sicherheit

Eine Maschine, die die Sicherheit von Personen gewährleisten und in Europa vertrieben werden soll, muss die Anforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG erfüllen – und somit auch die Anforderungen an die funktionale Sicherheit. Der Begriff „funktionale Sicherheit“ besagt, dass bei der Verwendung einer Maschine Risiken gemindert werden müssen – sie muss also sicher sein.

Leistungs- und Sicherheitsanforderungsstufe

Um die Einhaltung der Maschinenrichtlinie zu beweisen, muss der Maschinenhersteller einer Norm aus der Liste harmonisierter Normen nachkommen (www.newapproach.org). Während die Umsetzung der Maschinenrichtlinie obligatorisch ist, basiert die Erfüllung der harmonisierten Normen auf Freiwilligkeit. Werden diese jedoch erfüllt, heißt dies, dass die Sicherheitsanforderungen der Maschinenrichtlinie ebenfalls erfüllt sind.

In Bezug auf die Anforderungen an die funktionale Sicherheit aus der Maschinenrichtlinie sind dies die Normen EN ISO 13849 und EN IEC 62061. Die EN ISO 13849 geht aus der EN 954-1 hervor und bezieht sich auf Sicherheitslösungen, bei denen die Sicherheit anhand der Leistungsstufen PL a, b, c, d und e mit aufsteigendem Wirkungsgrad bewertet wird. Für die funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer

elektronischer Steuersysteme ist die EN IEC 62061 zu Rate zu ziehen. Dabei ist zu beachten, dass in der EN IEC 62061 das funktionale Sicherheitssystem aus Subsystemen besteht, die gemäß der IEC 61508 zertifiziert und somit in verschiedene Sicherheitsanforderungsstufen (SIL 1, 2, 3 und 4) eingeteilt werden. Die IEC 61508 zeigt auch die Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls auf. Jede SIL-Stufe hält ein maximal zulässiges Restrisiko für gefährliche Ausfälle (PFH_d) einer Maschine bzw. eines Maschinensystems fest.

Die oben genannten Normen überschneiden sich in einigen Aspekten: Werden Subsysteme mit geringer Komplexität gemäß der EN IEC 62061 entwickelt, bezieht sich dies auf die Norm EN ISO 13849. Dies ist ähnlich der Leistungsstufe e aus der EN ISO 13849, die sich auf die IEC 61508-3 bezieht, da sie sich mit sicherheitsrelevanter Software für Komponenten mit $PL_r = e$ befasst.

Risikobeurteilung und -minderung

Beim Entwerfen einer Maschine ist der Maschinenhersteller dazu verpflichtet, die Gefahr der Maschine einzuschätzen, für den Fall, dass die Sicherheitsfunktion ausfällt. Diese Einschätzung erfolgt gemäß der EN ISO 12100. Dabei sind Risiken zu analysieren und es ist auszuwerten, wie sich diese beseitigen oder minimieren lassen. Anhand der Durchführung der

Risikobeurteilung wird eine erforderliche Risikominderungsstufe festgelegt (gemäß PL oder SIL). Diese Stufe ist die Sicherheitsstufe, der das funktionale Sicherheitssystem entsprechen muss, um als eine für den Bediener sichere Maschine zu gelten. Des Weiteren muss das System zur Bestimmung seiner Risikominderungsstufe anhand der Werte seiner Einzelkomponenten berechnet werden. Im Rahmen dieser Berechnung ist der Wert des Drehgebers gefordert.

SIL2 oder PLd

Die Drehgeber von Leine & Linde kommen als Eingangskomponenten in funktionalen Sicherheitssystemen zum Einsatz. Daher können wir zur Berechnung der Sicherheit im jeweiligen System die $MTTF_d$ - (EN ISO 13849) und die PFH_d -Werte (IEC 61508) zur Verfügung stellen, um sicherzustellen, dass die Anforderungen an die Risikominderungsstufe eingehalten werden. Bei den meisten Industrieanwendungen, bei denen Drehgeber zum Einsatz kommen, ist SIL2/PLd zur Erfüllung der Sicherheitsanforderungen völlig ausreichend. Je nach Drehgebereingang und Systemarchitektur lassen sich jedoch verschiedene Risikominderungsstufen erzielen – von der niedrigsten Stufe SIL1/PLc bis zur höchsten Stufe SIL3/PLe.

Abkürzungen

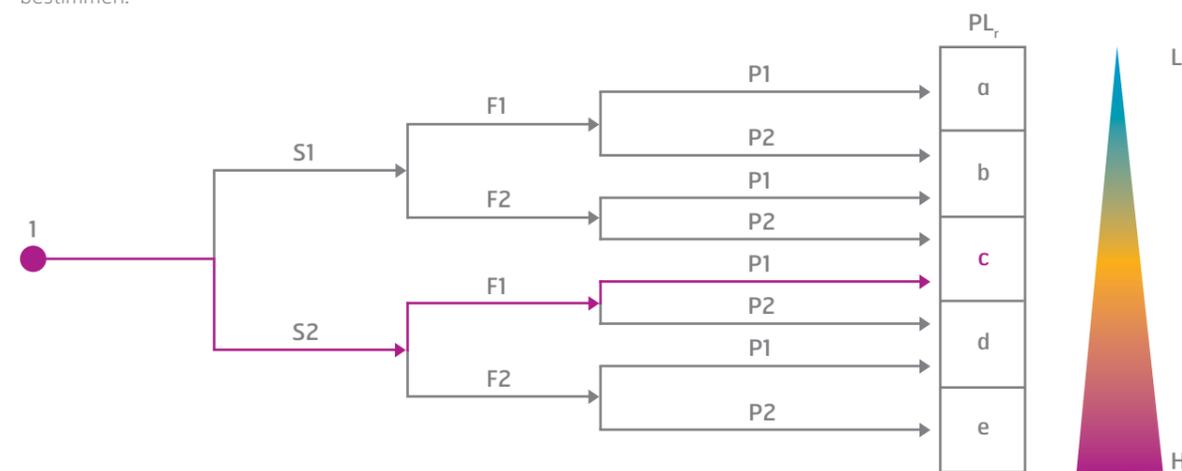
- $MTTF_d$ = Mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall [in Jahren]
- PFH_d = Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde [h^{-1}]
- SIL = Sicherheitsanforderungsstufe
- PL = Leistungsstufe

Auswertung der Leistungsstufe

Die Auswertung ist erforderlich um sicherzustellen, dass die Leistungsstufe des entworfenen Systems gleichwertig oder höher ist als die erforderliche Leistungsstufe c ($PL_r = c$) auf dieser Seite. Hierdurch soll dafür gesorgt werden, dass die Maschine für den Bediener keine Gefahr darstellt.

Risikograph zur Bestimmung des PL_r gemäß EN ISO 13849-1

Diese Grafik zeigt die drei Faktoren, die bei der Risikobeurteilung dazu verwendet werden, die Höhe der Verletzungsgefahr bei einem Ausfall der Sicherheitsfunktion zu bestimmen.



Erklärung

- 1 Startpunkt für die Auswertung des Beitrags, die die Sicherheitsfunktion zur Risikominderung leisten kann.
- L Geringer Beitrag zur Risikominderung
- H Hoher Beitrag zur Risikominderung
- PL_r Erforderliche Leistungsstufe

Risikoparameter

- S Schwere der Verletzung
- S1 Leichte (üblicherweise reversible) Verletzung
- S2 Schwere (üblicherweise irreversible) Verletzung, einschließlich Tod
- F Häufigkeit und/oder Dauer der Gefährdungsexposition
- F1 Selten bis öfter und/oder kurze Dauer der Exposition
- F2 Häufig bis dauernd und/oder lange Dauer der Exposition
- P Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung
- P1 Möglich unter bestimmten Bedingungen
- P2 Kaum möglich

Tabellen aus der EN ISO 13849-1 zur Festlegung der Leistungsstufe

Das Verhältnis zwischen $MTTF_d$, Diagnosedeckungsgrad (DC) und der Kategorie des Systems ergibt dessen Leistungsstufe.

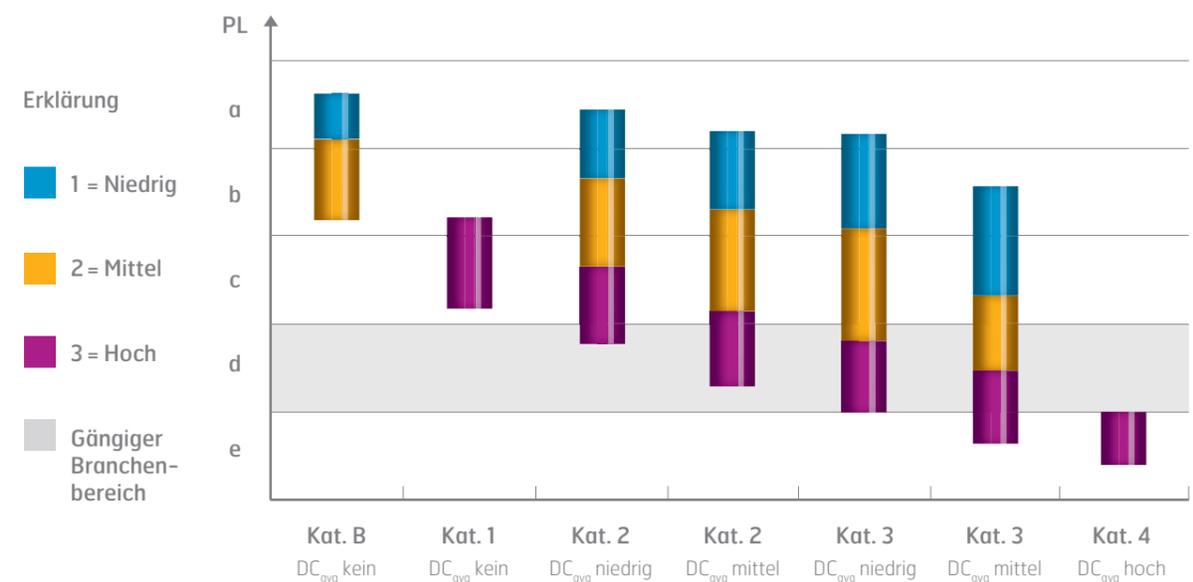
Einzelne Kanäle	$MTTF_d$
Niedrig	$3 \text{ Jahre} \leq MTTF_d < 10 \text{ Jahre}$
Mittel	$10 \text{ Jahre} \leq MTTF_d < 30 \text{ Jahre}$
Hoch	$30 \text{ Jahre} \leq MTTF_d < 100 \text{ Jahre}$

Erklärung

PL Performance Level = Leistungsstufe

- 1 $MTTF_d$ der einzelnen Kanäle = niedrig
- 2 $MTTF_d$ der einzelnen Kanäle = mittel
- 3 $MTTF_d$ der einzelnen Kanäle = hoch

Bezeichnung	Bereich
Kein	$DC < 60\%$
Niedrig	$60\% \leq DC < 90\%$
Mittel	$90\% \leq DC < 99\%$
Hoch	$99\% \leq DC$



Wie sich mit unseren Drehgebern die erforderliche Leistungsstufe von Seite 6 erreichen lässt, zeigen die Beispiele auf Seite 8-9. Je nach Aufbau des funktionalen Sicherheitssystems lassen sich unterschiedliche Leistungsstufen erzielen.

Systemlösungen

Mit Drehgebern von Leine & Linde können Sie ein geeignetes funktionales Sicherheitssystem für Ihre Anwendung entwickeln. Je nach Systemkomponenten und der Systemkategorie, DC oder $MTTF_d$, kann eine unterschiedlich große Risikominderung erzielt werden.

PLC mit Systemkategorie 1 gemäß EN ISO 13849-1

Bei einigen Anwendungen reicht die Verwendung eines Einzelkanalsystems aus – entweder wenn bereits andere Kombinationen aus Sicherheitskomponenten vorhanden sind oder wenn das Gefahrenrisiko gering ist. Solche Sicherheitssysteme unterbrechen die aktuelle Stromzufuhr zum Motor und halten ihn somit an.



- 1. Drehgeber** 1 Vpp, $MTTF_d > 100$ Jahre, $DC^* = 99\%$
- 2. Logik** $MTTF_d > 100$ Jahre, $DC = 90\%$
- 3. Ausgabeinheit** $MTTF_d > 100$ Jahre, $DC = 90\%$

* Der Diagnosedeckungsgrad (DC) basiert auf der Logiküberwachung.

$$\frac{1}{MTTF_{dDrehgeber}} + \frac{1}{MTTF_{dLogik}} + \frac{1}{MTTF_{dAusgang}} = MTTF_{dSystem} \text{ [Jahre]}$$

Dies führt zu einem $MTTF_d$ -Wert von > 100 Jahren.

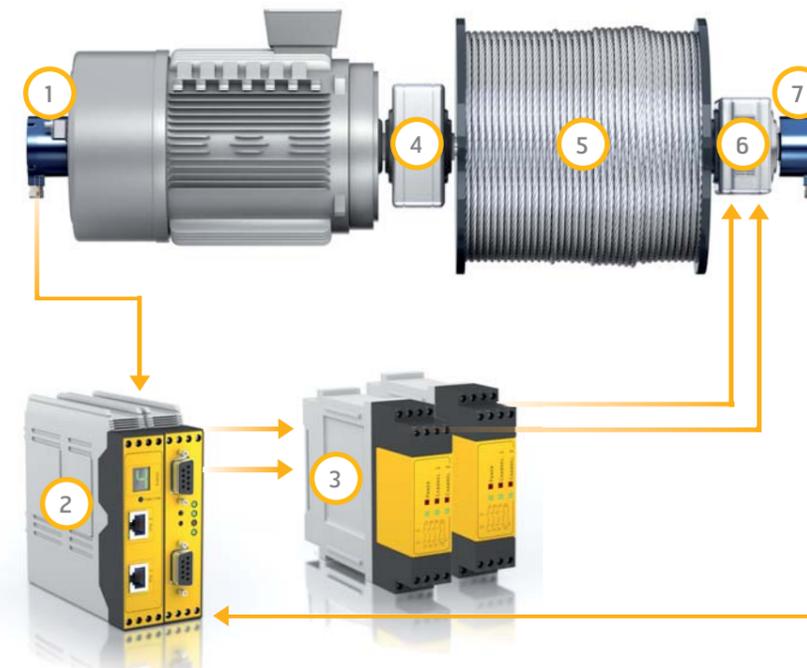
$$\frac{DC_{Drehgeber}}{MTTF_{dDrehgeber}} + \frac{DC_{Logik}}{MTTF_{dLogik}} + \frac{DC_{Ausgang}}{MTTF_{dAusgang}} = DC_{avgSystem} \text{ [%]}$$

Diese Berechnung ergibt einen DC_{avg} von $90,5\%$.

Mit diesen Werten wird die Leistungsstufe des Systems gemäß der Tabelle auf Seite 7 auf PLC eingestuft.

Erreichte Stufe PLd mit Systemkategorie 3 gemäß EN ISO 13849-1

In diesem Beispiel führt die Verwendung von zwei Drehgebern zu einem redundanten Zwei-Kanal-System, um das Funktionieren der Sicherheitsfunktion zu gewährleisten, die bei Eintreten einer gefährlichen Situation die Trommel anhalten muss.



- 1. Drehgeber** 1 Vpp, $MTTF_d > 100$ Jahre, $DC^* = 99\%$
- 2. Logik** $MTTF_d > 100$ Jahre, $DC = 90\%$
- 3. Ausgabeinheit** $MTTF_d > 100$ Jahre, $DC = 90\%$
- 4. Getriebe** (ein Ausfall des Getriebes muss beim Systementwurf in Betracht gezogen werden)
- 5. Trommel**
- 6. Bremse** $B10_d = 6 \times 10^6$ (redundant gemäß Kategorie 3)
- 7. Drehgeber** 1 Vpp, $MTTF_d > 100$ Jahre, $DC^* = 99\%$

* Der Diagnosedeckungsgrad (DC) basiert auf der Logiküberwachung.

$$\frac{1}{MTTF_{dDrehgeber1}} + \frac{1}{MTTF_{dLogik}} + \frac{1}{MTTF_{dAusgang}} + \frac{1}{MTTF_{dBremse}} = MTTF_{dKanal1}$$

$$\frac{1}{MTTF_{dDrehgeber2}} + \frac{1}{MTTF_{dLogik}} + \frac{1}{MTTF_{dAusgang}} + \frac{1}{MTTF_{dBremse}} = MTTF_{dKanal2}$$

$$\frac{2}{3} \left(\frac{MTTF_{dKa1} + MTTF_{dKa2}}{MTTF_{dKa1} + MTTF_{dKa2}} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{dKa1}} + \frac{1}{MTTF_{dKa2}}} \right) = MTTF_{dSystem} \text{ [Jahre]}$$

Dies führt zu einem $MTTF_d$ -Wert von > 100 Jahren.

$$\frac{DC_{Drehgeber1}}{MTTF_{dDrehgeber1}} + \frac{DC_{Drehgeber2}}{MTTF_{dDrehgeber2}} + \frac{DC_{Logik}}{MTTF_{dLogik}} + \left(2x \frac{DC_{Ausgang}}{MTTF_{dAusgang}} \right) + \left(2x \frac{DC_{Bremse}}{MTTF_{dBremse}} \right) = DC_{avgSystem} \text{ [%]}$$

Diese Berechnung ergibt einen DC_{avg} von $98,2\%$.

Bitte beachten Sie, dass es sich hierbei nur um kurze Beispiele handelt, die sich nicht als konkrete Richtlinie eignen. Ausführlichere Informationen entnehmen Sie der EN ISO 13849-1.

Mit diesen Werten wird die Leistungsstufe des Systems gemäß der Tabelle auf Seite 7 auf PLd eingestuft.

Mechanische Sicherheit

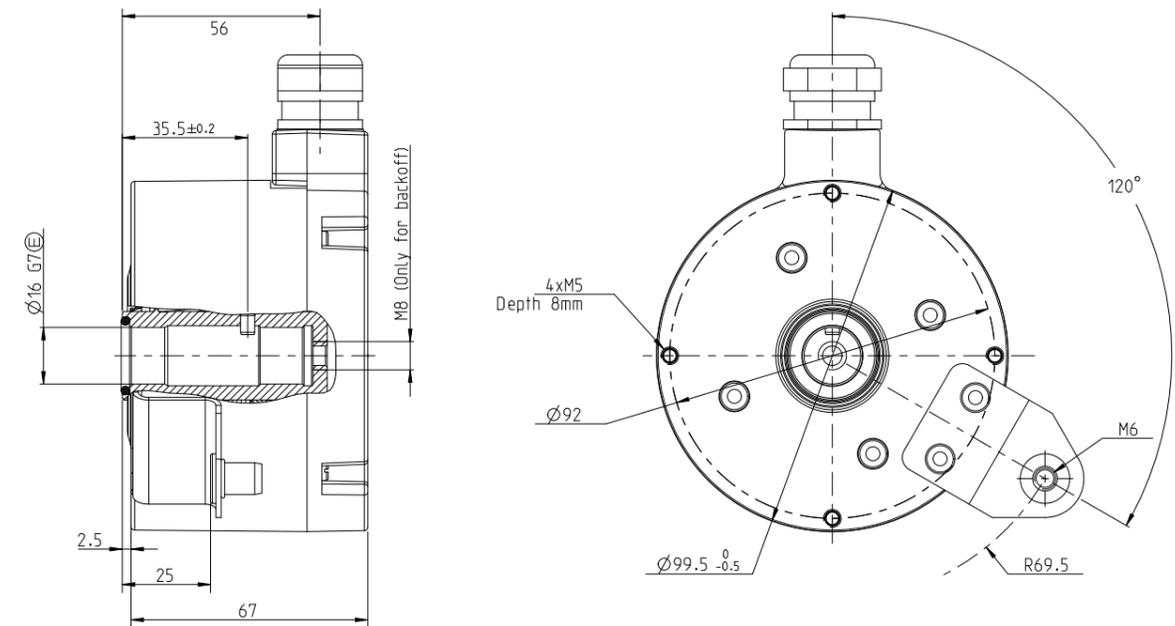
Abgesehen vom Anziehen der Schrauben ist zur Gewährleistung einer sicheren Montage eine schlupffreie mechanische Anpassung der Wellenaufnahme erforderlich.

Bei der Montage eines Hohlwellendrehgebers an einer runden Vollwelle besteht eine nicht abschätzbar hohe Schlupfgefahr. Zur Vermeidung solcher Probleme bietet Leine & Linde schlupffreie Wellenlösungen, wie z. B. die Passfeder beim Hohlwellendrehgeber der 800-Serie, die eine Montage des Drehgebers an einer runden Vollwellenaufnahme unmöglich macht.

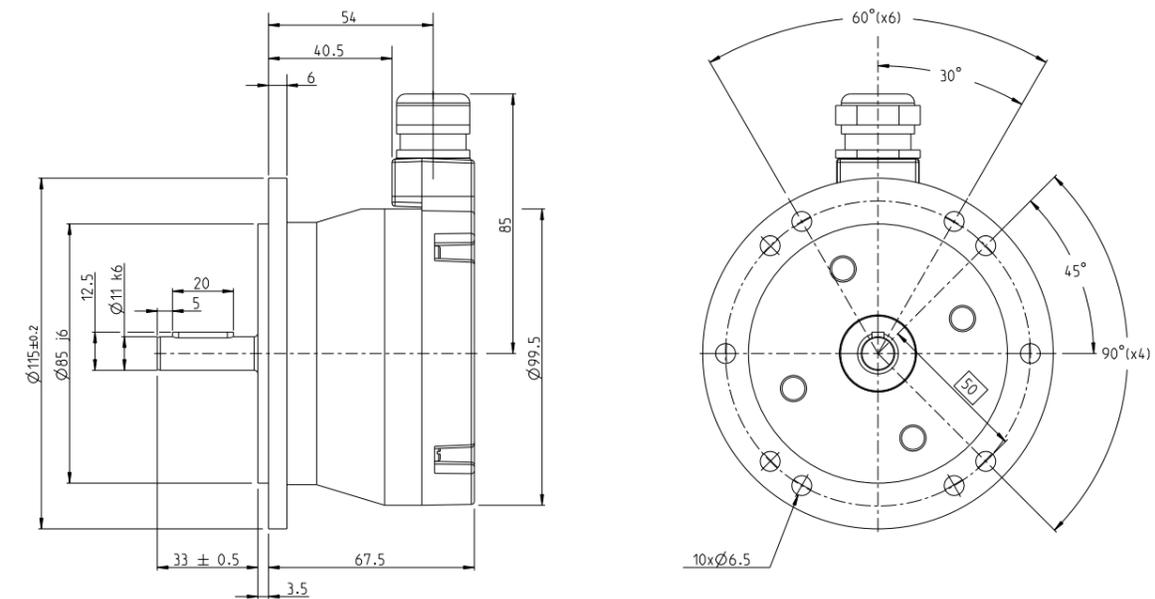
Für die Drehgeber der 500- und der 600-Serie ist eine Vollwellenaufnahme mit Abflachung oder Passfeder erhältlich.



Hohlwellendrehgeber mit Passfeder



Vollwellendrehgeber mit Passfeder



Weitere Informationen zu mechanischen Sicherheitslösungen erhalten Sie direkt von Leine & Linde.

Drehgeber für sichere Systeme

Diese Doppelseite bietet einen Überblick über Drehgeber mit Zuverlässigkeitswerten für funktionssichere Systeme. Es gibt sogar eine Lösung, bei der funktionale Sicherheit bereits in das Produkt integriert ist: die Serie FSI. Dank der SIL2/PLd-zertifizierten Sicherheitsfunktionen dieser Serie werden durch ihren richtigen Einsatz die Vorgaben der Maschinenrichtlinie erfüllt.

Die 800-Serie für Hochleistung

Erhältlich mit 1 Vpp zum Einsatz in anspruchsvolleren Sicherheitssystemen mit hoher Anforderung an die Risikominderung.

Ausgangssignal	1 Vpp, TTL, HTL oder HCHTL
Schutzart	IP67 (IP66 an der Wellenaufnahme)
Max. Drehzahl	6000 rpm
Kraft (radial / axial)	300 N / 100 N
Vibrationen	≤ 200 m/s ²
Erschütterungen	≤ 1500 m/s ²
MTTF _a -Wert	1 Vpp, 5 V: 770 Jahre, Klemmenanschluss HCHTL, 9-30 V: 421 Jahre, Klemmenanschluss
PFH-Wert	1 Vpp, 5 V: 4,173E-7 h ⁻¹ , Klemmenanschluss HCHTL, 9-30 V: 7,425E-7 h ⁻¹ , Klemmenanschluss



Die kompakten Drehgeber der 700-Serie

Wird bei geringen Baumaßen ein robuster Drehgeber benötigt, ist die 700-Serie die ideale Lösung.

Ausgangssignal	1 Vpp, HTL oder HCHTL
Schutzart	IP67 (IP66 an der Wellenaufnahme)
Max. Drehzahl	6000 rpm
Kraft (radial / axial)	50 N / 100 N
Vibrationen	≤ 200 m/s ²
Erschütterungen	≤ 1500 m/s ²
MTTF _a -Wert	1 Vpp, 5 V: 483 Jahre, Stecker bzw. Kabel HCHTL, 9-30 V: 224 Jahre, Stecker bzw. Kabel
PFH-Wert	1 Vpp, 2,36E-7 h ⁻¹ , Stecker bzw. Kabel HCHTL, 5,8E-7 h ⁻¹ , Stecker bzw. Kabel



Die 600-Serie für die Industrie

Die Absolutdrehgeber der induktiven 600-Serie mit SSI-Schnittstelle haben ein 1-Vpp-Ausgangssignal für den Einsatz in funktionalen Sicherheitsanwendungen.

Ausgangssignal	SSI, 1 Vpp, 32 ppr
Schutzart	IP67
Max. Drehzahl	12000 rpm
Kraft (radial / axial)	125 N / 100 N
Vibrationen	≤ 300 m/s ²
Erschütterungen	≤ 2000 m/s ²
MTTF _a -Wert	1 Vpp, 9-30 V: 715 Jahre, M23-Anschluss
PFH-Wert	9-30 V: 3,555E-7 h ⁻¹ , M23-Anschluss



Die 500-Serie mit robusten Drehgebern

Diese Serie umfasst Ø58-mm-Drehgeber mit unübertroffener Leistung. Dank HTL-Ausgang lässt sich die 500-Serie in Umgebungen einsetzen, in denen lange Kabel und Elektrosignale erforderlich sind.

Ausgangssignal	HTL
Schutzart	IP67 (IP66 an der Wellenaufnahme)
Max. Drehzahl	6000 rpm
Kraft (radial / axial)	60 N / 50 N
Vibrationen	≤ 300 m/s ²
Erschütterungen	≤ 2000 m/s ²
MTTF _a -Wert	HTL, 6 Kanäle, 9-30 V: 773 Jahre
PFH-Wert	HTL, 6 Kanäle, 9-30 V: 5,853E-7 h ⁻¹



Die Serie FSI – integrierte funktionale Sicherheit

Die Serie FSI ist eine Produktserie zur Funktionssicherheit von Leine & Linde. Die Modelle dieser Serie bieten eine Vielzahl an Funktionen, mit Signalen für Absolut- und Inkrementaldrehgeber, möglicher Montage an Voll- wie an Hohlwellen sowie robustem Aufbau und Gehäuse.

Die angebotenen Drehgeberlösungen sind SIL2/PLd-zertifiziert und bieten u. a. verschiedene Sicherheitsfunktionen für Overspeed, Beschleunigung, Endlagen und Stillstände. Die Serie FSI überwacht die eigene Leistung auf funktionssichere Weise und kann somit funktionssicheren Systemen, mit und ohne speziell für Funktionssicherheit zertifizierte SPS, dienen.

Detaillierte Informationen können Sie der Produktbroschüre für die Serie FSI entnehmen.



Weitere Informationen über die Drehgeberserie finden Sie auch unter www.leinelinde.com.

Elektronik

Rechtecksignale

Rechtecksignale sind der gängigste Signaltyp für Inkrementaldrehgeber. Die Produkte von Leine & Linde sind serienmäßig mit 6 Kanälen ausgestattet. Dem Signal S00 folgt das Signal S90, das elektrisch um 90 Grad verschoben ist. Die beiden invertierten Signale S00\ und S90\ ermöglichen eine differentielle Übertragung, die die Empfindlichkeit der Signale gegenüber elektrischen Störungen reduziert. Zum Überprüfen der Wellenposition wird pro Umdrehung ein Referenzimpuls, Sref\, mit dem invertierten Impuls Sref\ ausgesendet.



Elektrische Schnittstellen sind mit verschiedenen Versorgungsspannungen und Signalstärken erhältlich. Bei der Auswahl einer Schnittstelle müssen die Faktoren der Betriebsumgebung des Motors berücksichtigt werden. Die genauen Eigenschaften der Schnittstelle richten sich nach Frequenz, Kabellänge und Temperatur.

Schnittstelle	TTL	HTL	HCHTL
Versorgungsspannung	5 Vdc	9-30 Vdc	9-30 Vdc
Ausgangssignal	5 Vdc	9-30 Vdc	9-30 Vdc
Geeignet für	Niedrige Frequenzen über kurze Kabel	Hohe Frequenzen über mittellange Kabel	Mittlere Frequenzen über lange Kabel
Max. Kabellänge	50 m bei 50 kHz	100 m bei 100 kHz	350 m bei 100 kHz
Temperatur	-40 .. +100 °C	-40 .. +100 °C	-40 .. +85 °C

SIN/COS-Signal

Das SIN/COS-Signal wird in der Sicherheitsbetrachtung als besonders sicher eingestuft. Während bei Drehgebern mit rechteckigen Ausgangssignalen ein Drahtbruch oder Kurzschluss unter bestimmten Umständen nicht sofort erkannt wird, gibt es beim Vergleich von Sinus- zu Kosinus-Spur keinen unsicheren Signalzustand.



Weitere Informationen zu unseren Drehgebern und zu funktionaler Sicherheit erhalten Sie direkt von Leine & Linde: Telefon +49-(0)40-3176758-60. Unsere große Auswahl an verschiedenen Drehgebern ist jederzeit über www.leinelinde.de verfügbar.

Kontakt

SWEDEN / HAUPTSITZ

T +46-(0)152-265 00
F +46-(0)152-265 05
info@leinelinde.com

BRASILIEN

T +55-19-3291 8425
F +55-19-3367 5658
info@leinelinde.com.br

DÄNEMARK

T +45-862-308 34
info@leinelinde.dk

ITALIEN

T +39-039-596 01 08
F +39-039-971 22 08
info@leinelinde-ltn.it

CHINA

T +86-(021)-525 835 66
F +86-(021)-525 835 99
info@leinelinde.cn

FINNLAND

T +358-(0)9-561 72 00
F +358-(0)9-561 72 020
info@leinelinde.fi

SPANIEN

T +34-93-574 23 02
F +34-93-560 57 60
info@leinelinde.es

DEUTSCHLAND

T +49-(0)40-3176758-60
F +49-(0)40-3176758-65
info@leinelinde.de

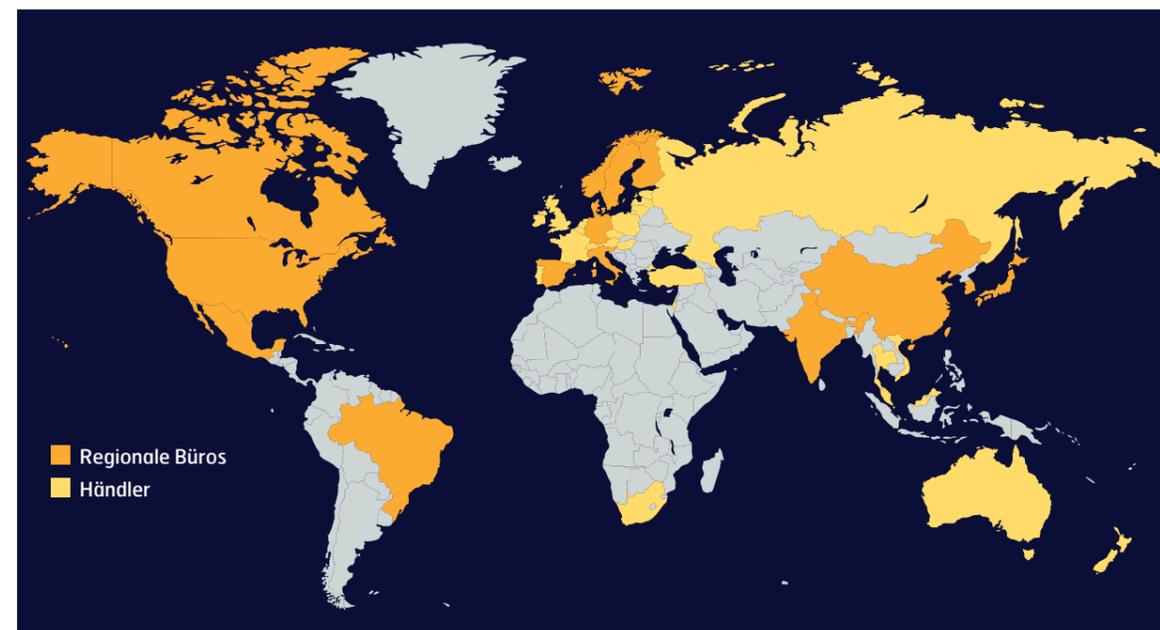
INDIEN

T +91-11-261 725 04
F +91-11-261 654 49
info@leinelinde.in

SÜDKOREA

T +82-(0)51-746 54 20
F +82-(0)51-746 54 21
info@leinelinde.co.kr

Leine & Lindes weltweite Niederlassungen. Weitere Informationen finden Sie unter www.leinelinde.de.



■ Regionale Büros
■ Händler



Die besten Drehgeber sind diejenigen, an die Sie nicht zu denken brauchen, die einfach funktionieren. Leine & Linde entwickelt und produziert individuell zugeschnittene Drehgeberlösungen für anspruchsvolle Umgebungen und moderne Messanlagen zur Rückmeldung exakter Geschwindigkeiten und Positionen.

LEINE  LINDE

+49-(0)40-3176758-60 www.leinelinde.de