

Linearmotoren

Baureihe L7

Technische Produktinformation

We pioneer motion

SCHAEFFLER

Inhaltsverzeichnis

1	Legende der Formelzeichen.....	6
2	L7-Linearmotoren.....	8
2.1	Leistungsvermögen	8
2.2	Betriebskosten.....	9
2.3	Konstruktion.....	9
3	Charakteristik von Linearmotoren	10
4	Allgemeine Motorkennwerte	11
4.1	Effizienzkriterien.....	11
4.2	Wicklungsausführungen und Abhängigkeiten.....	12
4.3	Kraft-Geschwindigkeits-Kennlinie	13
4.4	Kraft-Strom-Kennlinie	14
5	Thermischer Motorschutz	16
5.1	Überwachungskreise I und II.....	16
5.2	Überwachungskreis I.....	16
5.3	Überwachungskreis II.....	17
6	Elektrische Anschlussstechnik	19
6.1	Kabelanschlüsse	19
6.2	Bewegungsrichtung des Motors	20
6.3	Kommutierung.....	20
6.4	Isolationsfestigkeit und Überspannungsphänomene.....	20
7	Motorkühlung, Grundlagen	22
7.1	Primärteilkühlung.....	23
7.2	Sekundärteilkühlung.....	24
7.3	Kühlmedien und deren Einfluss auf die Kühlung.....	25
7.4	Abhängigkeit der Nenndaten von der Vorlauftemperatur und dem Kühlmedium.....	27
8	Motorkühlung, Beispiel	29
8.1	Schritt 1, Anforderungen.....	29
8.2	Schritt 2, Primärteilkühlung, Volumenstrom und Druckdifferenz	30
8.3	Schritt 3, Sekundärteilkühlung, Volumenstrom und Druckdifferenz	31
8.4	Schritt 4, Verschaltung der Kühlung	33
8.5	Schritt 5, Rückkühler	37
9	Anordnung von Motoren.....	38
9.1	Parallelbetrieb mehrerer Motoren auf einer Achse.....	38
9.2	Primärteilausrichtung	38
9.3	Master und Slave	38
10	Motorauswahl, Beispiel	41
10.1	Anwendungsbeispiel.....	41
10.2	Bewegungszyklus.....	41

10.3	Notwendige Beschleunigung.....	43
10.4	Beschleunigungsweg	44
10.5	Führung, Masse und Reibung.....	45
10.5.1	Reibung	46
10.5.2	Masse.....	47
10.6	Kräfte bei Beschleunigung	47
10.7	Kräfte bei Bearbeitung	48
10.8	Kräfte bei Verzögerung.....	48
10.9	Sicherheitsfaktor	49
10.10	Erforderliche Effektivkraft	51
10.11	Erforderliche Spitzenkraft	51
10.12	Motorauswahl.....	52
11	Bestellbezeichnung	54
11.1	Länge des Abdeckbands.....	59
11.2	Kühlprofillänge	60
12	Technische Daten	62
12.1	Erläuterungen.....	62
12.2	Vorauswahl.....	63
12.3	L7-3P-...-100 Geometrische Daten.....	64
12.4	L7-3P-...-100 Leistungsdaten.....	66
12.5	L7-3P-...-150 Geometrische Daten	68
12.6	L7-3P-...-150 Leistungsdaten	70
12.7	L7-3P-...-200 Geometrische Daten.....	72
12.8	L7-3P-...-200 Leistungsdaten.....	74
12.9	L7-3P-...-300 Geometrische Daten.....	76
12.10	L7-3P-...-300 Leistungsdaten.....	78
13	Volumenstrom und Druckdifferenz	80
14	Glossar	84

Vorwort

Im thüringischen Suhl entwickeln und produzieren die rund 140 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Schaeffler Industrial Drives anspruchsvollste Direktantriebe für Industrieanwendungen.

Unsere Linearmotoren-Baureihen haben wir in jahrelanger Entwicklungsarbeit bis an das physikalisch Machbare und wirtschaftlich Sinnvolle optimiert. Aufwendige mechanische und thermische Simulationen des Motors, die Auslegung des Magnetkreises und des Kühlkreises sowie die Magnetsimulation sind unsere Werkzeuge zur Optimierung und Weiterentwicklung. Jede unserer Linearmotoren-Baureihen verfügt über eine bestimmte Kombination an herausragenden Eigenschaften, wie beispielsweise hohe Kraftdichte, hohe Geschwindigkeit, hervorragender Gleichlauf, optimierte Verlustleistung usw. Dadurch können wir praktisch alle Anwendungen im Bereich der linearen Direktantriebe abdecken.

Unsere Linearmotoren zeichnen sich durch ihre besondere Energieeffizienz aus. Durch die optimierte Bauart und die effektive Kühlung der Motoren wird die Verlustleistung minimiert und die Wärmeentwicklung deutlich reduziert. Dies führt nicht nur zu einer Reduktion der Stromkosten und einer Verringerung des CO₂-Fußabdrucks, sondern auch zu einer höheren Genauigkeit und verlängerten Lebensdauer der Antriebssysteme. Weniger Wärme bedeutet weniger thermische Ausdehnung und somit präzisere Bewegungsabläufe. Außerdem wird die Lebensdauer der Komponenten durch die geringere Belastung durch Hitzeeinwirkung signifikant erhöht, was zu einer nachhaltigeren und kosteneffizienteren Nutzung führt. Findet sich in unserem Baukasten doch einmal kein passender Motor, so entwickeln wir kundenspezifisch Ihr High-End-Positioniersystem und Antriebssystem. Schaeffler Industrial Drives ist wie kein anderes Unternehmen am Markt in der Lage, auf Basis Ihrer Vorgaben die optimale Motortopologie zu bestimmen und einen Antrieb auf höchstem Niveau zu realisieren. Da ein Linearmotor und dessen Führung in enger Wechselwirkung zueinander stehen, profitieren Sie von unserer Expertise auf dem Gebiet der Profilschienenführungen in besonderer Weise. Nicht zuletzt deshalb bieten wir für unsere Linearmotoren auch auf den jeweiligen Maschinentyp spezialisierte Führungslagerungen und Wälzlagerungen an.

Dieser Katalog bietet Ihnen detaillierte Informationen über unsere L7-Linearmotoren, deren Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten. Kunden vertrauen Direktantrieben von Schaeffler Industrial Drives besonders in den Branchen Werkzeugmaschinen, Medizintechnik, Automation, Robotik, Nahrungsmittel, Verpackung, Druckmaschinen, Textilmaschinen, Productronic sowie Messtechnik.

1 Legende der Formelzeichen

$2\tau_p$	-	Polpaarweite
a	m/s^2	richtungsabhängige Beschleunigung
a_{acc}	m/s^2	Beschleunigung
B_S	mm	Breite des Sekundärteils
c	$kJ/kg \cdot K$	spezifische Wärmekapazität
dV/dt	l/min	Volumenstrom
F	N	Kraft
F_a	N	Anziehungskraft
F_{acc}	N	Beschleunigungskraft, ohne Reibung
$F_{acc\ tot}$	N	Beschleunigungskraft, inkl. Reibung
F_c	N	Nennkraft, auch Dauerkraft genannt, ungekühlt
F_{ca}	N	Verschiebekraft pro Führungswagen
F_{cog}	N	Rastkraft bei $I = 0$
F_{cw}	N	Nennkraft, gekühlt
F_{dec}	N	Bremskraft
F_{eff}	N	Effektivkraft
F_{grind}	N	Bearbeitungskraft
F_L	N	Losbrechkraft
F_{max}	N	max. Kraft
F_p	N	Spitzenkraft
F_{pl}	N	Spitzenkraft, linearer Bereich
F_{RV}	N	Schlittenverschiebekraft
$F_{safe\ acc}$	N	Beschleunigungskraft, inkl. Reibung und Sicherheitsfaktor
$F_{safe\ eff}$	N	Effektivkraft, inkl. Sicherheitsfaktor
F_{sw}	N	Stillstandskraft, gekühlt
F_{tot}	N	Gesamtkraft
F_u	N	Grenzkraft
F_{work}	N	Kraft bei konstanter Geschwindigkeit
H	mm	Höhe, ohne Sekundärteilkühlung
I	A	Motorstrom
$I_{c\ eff}$	A	effektiver Nennstrom, ungekühlt
$I_{c\ red}$	A	reduzierter Nennstrom, ungekühlt
$I_{cw\ eff}$	A	effektiver Nennstrom, gekühlt
$I_{p\ eff}$	A	effektiver Spitzenstrom
$I_{pl\ eff}$	A	effektiver Spitzenstrom, linearer Bereich
$I_{sw\ eff}$	A	effektiver Stillstandsstrom, gekühlt
$I_u\ eff$	A	effektiver Grenzstrom
k_f	N/A	Kraftkonstante
k_m	N/\sqrt{W}	Motorkonstante Linearmotoren
$k_{\hat{u}}$	$V/(m/s)$	Gegenspannungskonstante, Ph zu Ph
L	mH	Induktivität, Ph zu Ph
L_{CP}	mm	Länge der Kühlprofile
L_{CS}	mm	Länge des Abdeckbands
L_P	mm	Länge des Primärteils
L_{P-ACT}	mm	magnetisch aktive Länge
m	kg	bewegte Masse
m_{EP1}	kg	Masse des Sekundärteils mit Kühlung und Abdeckband
m_{EP2}	kg	Masse des Sekundärteils, nur mit Abdeckband
m_{EP3}	kg	Masse des Sekundärteils, nur mit Kühlung (kg)
m_P	kg	Masse des Primärteils
m_{part}	kg	Masse Werkstück, Werkstückträger, Führungswagen und Kabelschlepp
m_S	kg	Masse des Sekundärteils, Ausführung M
m_{SP}	kg	Masse des Sekundärteils, Ausführung P
n	-	Anzahl Führungswagen
n_{CP}	-	Anzahl der Bohrungsabstände im Kühlprofil
N_S	-	Anzahl der Sekundärteile
P_I	W	Verlustleistung

$P_{I\text{ eff}}$	W	Wärmeverlustleistung
P_{Ic}	W	Verlustleistung bei F_c
P_{Ip}	W	Verlustleistung bei F_p
P_{Iw}	W	Verlustleistung bei F_{cw}
Q	J	Wärme
R	Ω	elektrischer Widerstand
R_{20}	Ω	elektrischer Widerstand bei +20 °C, Ph zu Ph
s	m	Weg oder Position
s_{acc}	m	Beschleunigungsweg
s_{dec}	m	Bremsweg
SF_{acc}	-	Sicherheitsfaktor für Spitzenkraftbewertung
SF_{eff}	-	Sicherheitsfaktor für Effektivkraftbewertung
s_{work}	m	Arbeitshub
t	s	Zeit
t_{acc}	s	Zeit für Beschleunigung
t_{dec}	s	Zeit für Abbremsen
t_{stop}	s	Pausenzeit
t_{tot}	s	Zykluszeit
t_{work}	s	Bearbeitungszeit
U_{DCL}	V	Zwischenkreisspannung
v	m/s	Geschwindigkeit
V	m^3	Volumen
v_{Ic}	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{c\text{ eff}}$
v_{Ip}	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und U_{DCL}
$v_{Ip\ 300}$	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{\text{DCL}} = 300\text{ V}$
$v_{Ip\ 600}$	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{\text{DCL}} = 600\text{ V}$
v_{Iw}	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und U_{DCL}
$v_{Iw\ 300}$	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{\text{DCL}} = 300\text{ V}$
$v_{Iw\ 600}$	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{\text{DCL}} = 600\text{ V}$
v_{work}	m/s	Bearbeitungsgeschwindigkeit
Δp	bar	Druckdifferenz
Δp_{CP}	bar/m	Druckdifferenz des Kühlprofils
Δp_{EP}	bar	Druckdifferenz des Endstücks
Δp_{F}	bar	Druckdifferenz Fittings
Δp_{H}	bar	Druckdifferenz Zuleitung und Ableitung
Δp_{P}	bar	Druckdifferenz Primärteilkühlung
Δp_{S}	bar	Druckdifferenz Sekundärteilkühlung
Δp_{tot}	bar	Druckdifferenz der gesamten Kühlung
$\Delta \vartheta$	K	Temperaturdifferenz des Kühlmediums
$\Delta \vartheta$	K	Temperaturdifferenz des Kühlwassers
η	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	dynamische Viskosität
ϑ	°C	Temperatur
ϑ_f	°C	aktuelle Vorlauftemperatur
ϑ_{max}	°C	max. zulässige Wicklungstemperatur
ϑ_n	°C	Nenn-Ansprechtemperatur
ϑ_{nf}	°C	Nenn-Vorlauftemperatur
ϑ_{PTC}	°C	Abschaltschwelle der Motortemperatur
ν	mm^2/s	kinematische Viskosität
ρ	kg/m^3	Dichte
Φ	W	Wärmestrom

2 L7-Linearmotoren

Die Baureihe L7 besteht aus 12 Motoren. Die 12 Baugrößen ergeben sich aus den 4 Baubreiten 100 mm, 150 mm, 200 mm und 300 mm und den 3 Baulängen 350 mm, 500 mm und 650 mm. Mit hoher Langlebigkeit, Zuverlässigkeit, Energieeffizienz und Ressourceneffizienz erfüllen L7-Linearmotoren alle Anforderungen der aktuellen Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG.

Typische Anwendungen:

- Fräsmaschinen
- Drehmaschinen
- Laserbearbeitung
- Flachsleifmaschinen und Profilsleifmaschinen
- Centerless-Sleifmaschinen
- Unrundbearbeitung
- Oszillierende Bearbeitung
- HSC-Achsen
- Leiterplattenbohrmaschinen

2.1 Leistungsvermögen

Verlustfreie Bewegung

Übertragungsglieder und Koppelglieder im Antriebsstrang bewirken Elastizität, Spiel, Reibung oder Hysterese. Sie erzeugen Verlustleistung. Beim Linearmotor sind keine Übertragungsglieder und Koppelglieder erforderlich. Somit wirkt die Kraft verlustfrei in Bewegungsrichtung.

Konstante Kraft

Ein eisenbehafteter Linearmotor generiert sehr hohe Kräfte. Diese Kräfte wirken vom Stillstand bis zur Grenzgeschwindigkeit. Der Motor kann ohne Getriebe ein sehr großes Kennlinienfeld abdecken.

Genauigkeit und Dynamik

Die direkte Positionsmessung über ein Messsystem und der steife mechanische Aufbau von Linearmotoren ermöglichen ein sehr dynamisches Regelverhalten und hochgenaue sowie hochdynamische Positioniervorgänge.

Kurze Hübe

Ein Linearmotor hat eine theoretisch unendlich hohe Regelsteifigkeit. Dadurch kann der Motor kurze Hübe und Mikrobewegungen in höchster Geschwindigkeit ausführen. Diese Bewegungen sind aufgrund der Trägheit und des Spiels mit einer Gewindespindel oder einem Zahnstangenantrieb mit Ritzel nur sehr aufwendig oder gar nicht möglich.

Schnelle Bewegungen

Die Masse ist aufgrund der kompakten Bauform sehr niedrig. Die verfügbare Kraft ist sehr hoch und sehr dynamisch regelbar. Das ermöglicht höchste Beschleunigungen und Endgeschwindigkeiten. Der resultierende schnelle Bearbeitungsprozess erhöht die Produktivität.

Kompatibilität

Linearmotoren von Schaeffler Industrial Drives eignen sich für den Betrieb mit vielen marktbekannten Steuerungen.

2.2 Betriebskosten

Geringer Aufwand für Montage, Justage und Wartung

Ein Linearmotor hat keine zusätzlichen bewegten Teile. Das Fehlen zusätzlicher bewegter Teile reduziert Montageaufwand, Justageaufwand und Wartungsaufwand der Antriebsbaugruppe. Ein dauerhaft sauberer und trockener Luftspalt zwischen Primärteil und Sekundärteil sowie eine Vermeidung von thermischer und elektrischer Überlast schonen den Motor. Bei diesen Bedingungen kann die Lebensdauer des Motors die Lebensdauer anderer Bauteile einer Linearachse übersteigen.

Hohe Verfügbarkeit

Ein Linearmotor ist robust gegen Belastungen in Verfahrriichtung. Der Antriebsstrang ist selbst bei höchsten Wechselbelastungen verschleißfest und somit extrem langlebig. Das reduziert die Maschinenstillstandszeit.

Energieeffizienz

Eine hohe Kupferdichte im Primärteil und eine hocheffiziente Wasserkühlung reduzieren Abwärme auf ein Minimum. Die geringe Abwärme spart Energie im Umrichter und Rückkühler ein. Der Umrichter speist die Bremsenergie zurück. Das reduziert den Energieverbrauch und verringert den CO₂-Ausstoß.

2.3 Konstruktion

Wenige Bauteile

Ein Linearmotor besteht aus wenigen robusten Bauteilen. Das senkt die Ausfallrate und erhöht die MTBF (Mean Time Between Failures), also die mittlere Fehlerausfallzeit.

Hohe Flexibilität

L7-Linearmotoren sind mit unterschiedlichen Wicklungen und in 12 Baugrößen verfügbar. Dadurch kann für die jeweilige Anwendung der passende Motor ausgewählt werden.

Aktive Temperierung

Eine Primärteilkühlung oder Sekundärteilkühlung integriert den Motor in das Temperaturmanagement der Maschine. Temperaturabhängige Effekte werden so reduziert.

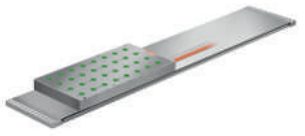
3 Charakteristik von Linearmotoren

Linearmotoren bestehen aus Primärteil und Sekundärteil. Das Primärteil enthält ein aktives Spulensystem. Das Sekundärteil enthält ein Dauermagnetsystem. Das Sekundärteil steht in der klassischen Anordnung still. In der Schubstangenanordnung bewegt sich das Sekundärteil. Ein bestromtes Primärteil entwickelt, infolge der elektromagnetischen Kraft, eine Kraft zum Sekundärteil.

Eine mechanische Führung ermöglicht den Betrieb des Motors. Die Führung hält den Luftspalt zwischen Primärteil und Sekundärteil ein und nimmt die Anziehungskraft zwischen Primärteil und Sekundärteil auf. Ein Messsystem zur Erfassung der Position des sich bewegenden Teils ist ebenfalls erforderlich. Aufgrund unterschiedlichster Anforderungen sind Linearmotorbaureihen mit unterschiedlichsten Primärteilen und Sekundärteilen entstanden.

Der konstruktive Aufbau von Linearmotoren unterscheidet sich grundlegend in eisenbehaftete und in eisenlose Motoren. Das Magnetsystem ist U-förmig oder ein klassisches flaches Sekundärteil. Linearmotoren entwickeln über einen breiten Arbeitsbereich eine gleichmäßig hohe Kraft. Die aktive Luftspaltfläche zwischen Primärteil und Sekundärteil sowie der konstruktive Aufbau bestimmen die Kraft. Der Konstrukteur wählt den Leistungsanforderungen entsprechend den geeigneten Motor und ggf. eine Kühlung aus. Konventionelle Elektromotoren werden nach Leistung klassifiziert. Linearmotoren werden nach Kraft klassifiziert.

1 Charakteristik Linearmotoren

Motorbaureihe	Merkmale	Design
L7	<p>Linearmotoren mit höchster Effizienz und Kraftdichte</p> <ul style="list-style-type: none"> • F_p bis 24000 N • F_{cw} bis 11000 N • Baulängen: 350 mm, 500 mm und 650 mm • Baubreiten: 100 mm, 150 mm, 200 mm und 300 mm 	

4 Allgemeine Motorkennwerte

4.1 Effizienzkriterien

Wicklung und Baugröße eines Linearmotors beeinflussen die Verlustleistungen ▶62 | 12. Linearmotoren erzeugen im Stand zwar eine hohe Kraft, geben aber keine mechanische Leistung ab. Die Angabe des Wirkungsgrads ist deshalb nicht sinnvoll. Die Motorkonstante k_m beschreibt das Verhältnis von Kraft und dabei erzeugter Verlustleistung bzw. Erwärmung und somit die Effizienz eines Linearmotors.

Der in den Leistungsdaten angegebene Wert der Motorkonstante k_m ist ausschließlich unter folgenden Bedingungen gültig:

- im linearen Aussteuerbereich (von 0 bis $I_{pl\text{ eff}}$) ▶15 | 3
- im Stand und bei niedrigen Geschwindigkeiten
- bei Raumtemperatur

Eine Erwärmung und somit Erhöhung des Wicklungswiderstands verringert die Effizienz des Motors. Neben Kupferverlusten entstehen mit steigenden Geschwindigkeiten Eisenverluste. Die Eisenverluste setzen sich zusammen aus frequenzabhängigen Ummagnetisierungsverlusten und Wirbelstromverlusten. Die Motorkonstante k_m berücksichtigt nicht die Eisenverluste. Die Eisenverluste sind im Grenzgeschwindigkeitsbereich relevant und müssen daher beachtet werden.

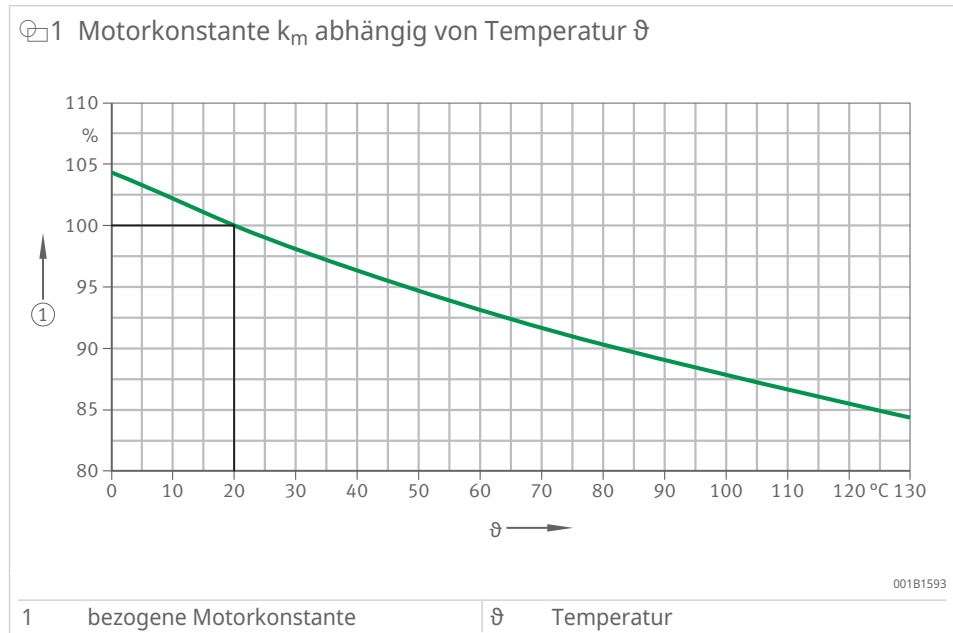
f1

$$P_l = \left(\frac{F}{k_m} \right)^2$$

F	N	Kraft
k_m	N/ \sqrt{W}	Motorkonstante Linearmotoren
P_l	W	Verlustleistung

Der ohmsche Widerstand und somit die Wicklungstemperatur eines Motors beeinflussen die Motorkonstante k_m .

In den Leistungsdaten ist die Motorkonstante k_m für +20 °C angegeben. Die Kennlinie zeigt die relative temperaturabhängige Wertänderung der Motorkonstante.



Thermisches Verhalten

Eine Temperaturerhöhung erhöht den Wicklungswiderstand und senkt den Wert der Motorkonstante. Bei +130 °C sinkt der Wert der Motorkonstante auf das 0,84-fache des Referenzwerts bei +20 °C. Bei konstantem Strom oder konstanter Kraft entsteht im erwärmten Motor gegenüber dem kalten Motor eine höhere Verlustleistung. Diese Verlustleistung erhöht die Motortemperatur weiter.

4.2 Wicklungsausführungen und Abhängigkeiten

In erster Linie bestimmt die Ausführung der Baureihe die Endgeschwindigkeit des Motors.

Folgende Ausführungen sind möglich:

- eisenbehafet
- eisenbehafet und geblecht
- eisenlos

Innerhalb einer Baureihe beeinflussen die Baugröße, die Zwischenkreisspannung und die Wicklungsausführung die Endgeschwindigkeit.

Motorinterne Spannungsabfälle erhöhen mit steigender Geschwindigkeit den Spannungsbedarf. Bei Grenzgeschwindigkeit entspricht der Spannungsbedarf der Zwischenkreisspannung des Servoumrichters. Danach sinkt die Geschwindigkeit schnell ab. Je höher die Zwischenkreisspannung ist und je kleiner die wicklungsbedingten Spannungskonstanten k_u sind, umso höher sind die erreichbaren Grenzgeschwindigkeiten. Da Spannungskonstante und Kraftkonstante korrelieren, steigt mit höheren Geschwindigkeitsforderungen bei gleichen Kräften der Strombedarf des Motors. In den Leistungsdaten sind je Motorgröße ein oder mehrere Standardwicklungen für verschiedene Grenzgeschwindigkeiten und Dynamikanforderungen bei einer fixen Zwischenkreisspannung U_{DCL} vordefiniert ▶62 | 12.

Eine Verringerung der Zwischenkreisspannungen reduziert die Grenzgeschwindigkeit.

4.3 Kraft-Geschwindigkeits-Kennlinie

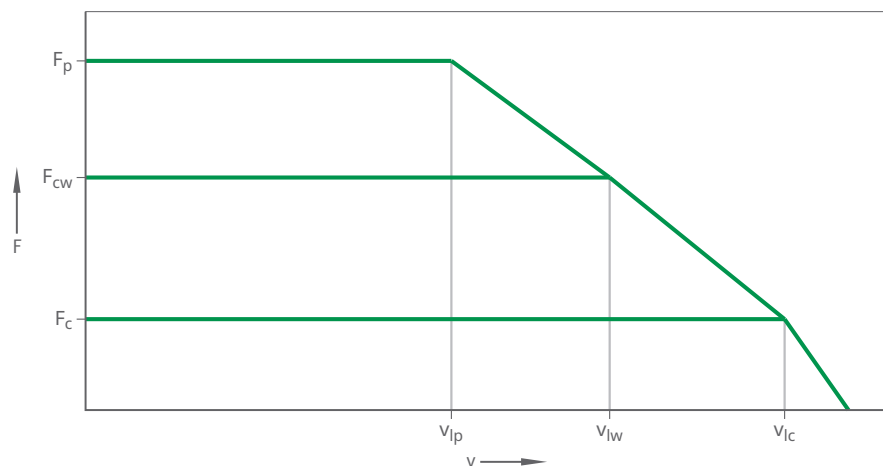
Eine Kraft-Geschwindigkeits-Kennlinie zeigt die wicklungsspezifischen Geschwindigkeitslimits in Abhängigkeit der Kraft bei konstanter Zwischenkreis-spannung ohne Feldschwächung in verschiedenen Arbeitspunkten.

Die Kennlinie zeigt nicht die Einschaltdauer und nicht das zugehörige thermische Verhalten des Motors. Die Kennlinie stellt die Arbeitspunkte dar, die der Motor bei +20 °C Wicklungstemperatur anfahren kann. Arbeitspunkte mit Kräften größer F_{cW} unterliegen zeitlichen Einschränkungen, um das Primärteil vor Überhitzung zu schützen.

Kräfte bis F_p werden für die Auslegung berücksichtigt. Bei Kräften zwischen F_p und F_u kann eine zu hohe Ausgangstemperatur des Sekundärteils zur Entmagnetisierung führen. F_u ist daher in den Leistungsdaten vermerkt. Die F_u zugehörige Geschwindigkeit v_{lu} ist in der Praxis nicht relevant und ist in den Leistungsdaten nicht vermerkt. Daher sind in Kraft-Geschwindigkeits-Kennlinien weder F_u noch v_{lu} eingezeichnet.

Geschwindigkeiten über 1 m/s erfordern bei wärmesensitiven Anwendungen die Berücksichtigung von frequenzabhängigen Wirbelstromverlusten. Diese Verluste treten im Sekundärteil auf. Wirbelstromverluste können durch den Einsatz einer Sekundärteilkühlung berücksichtigt werden ►31 | 8.3.

☞ 2 Kraft-Geschwindigkeits-Kennlinie



001B86B0

F	Kraft	v	Geschwindigkeit
F_p	Spitzenkraft	v_{Ip}	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\ eff}$
F_{cW}	Nennkraft, gekühlt	v_{Iw}	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cW\ eff}$
F_c	Nennkraft, ungekühlt	v_{Ic}	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{c\ eff}$

- !** Kraft bei $v = 0$ m/s
Eine Z-Achse ohne Massekompensation ist ein Beispiel für eine dauerhaft anliegende Kraft im Stillstand. Die dauerhaft anliegende Kraft im Stillstand F_s ist begrenzt. Bei ungünstiger Position des Primärteils zum Sekundärteil können im Stillstand bei der Nutzung von über 70 % der Nennkraft, gekühlt, bestimmte Wicklungen überlastet werden.
- !** Regelreserve
Alle angegebenen Motorgeschwindigkeiten beziehen sich auf eine konstante Zwischenkreisspannung U_{DCL} . Bei Frequenzumrichtern ohne stabilisierten Zwischenkreis ist U_{DCL} nicht konstant. Daher muss der Arbeitspunkt mit einer

Regelreserve in Abhängigkeit der Zwischenkreisspannungsschwankung versehen werden. Typischerweise sollte bei Frequenzumrichtern ohne stabilisierten Zwischenkreis die Geschwindigkeit im Arbeitspunkt max. bei ca. 80 % der in diesem Arbeitspunkt möglichen Geschwindigkeit des Motors liegen.

Die Grenzgeschwindigkeit v_{lc} bei $I_{c\text{eff}}$ und F_c ist für das Verständnis der Kennlinie wichtig, muss aber in der Praxis nicht berücksichtigt werden. Weitere Informationen zu den Betriebsbedingungen der Geschwindigkeitslimits bei zugehöriger Zwischenkreisspannung ($v_{lp\ 600}$, $v_{lp\ 300}$, $v_{lw\ 600}$ und $v_{lw\ 300}$) sowie den zugehörigen Kräften (F_u , F_p , F_{cw} , F_c und F_{sw}) und Strömen ($I_{u\text{eff}}$, $I_{p\text{eff}}$, $I_{cw\text{eff}}$, $I_{c\text{eff}}$ und $I_{sw\text{eff}}$) sind im Glossar zu finden ►84 | 14.

4.4 Kraft-Strom-Kennlinie

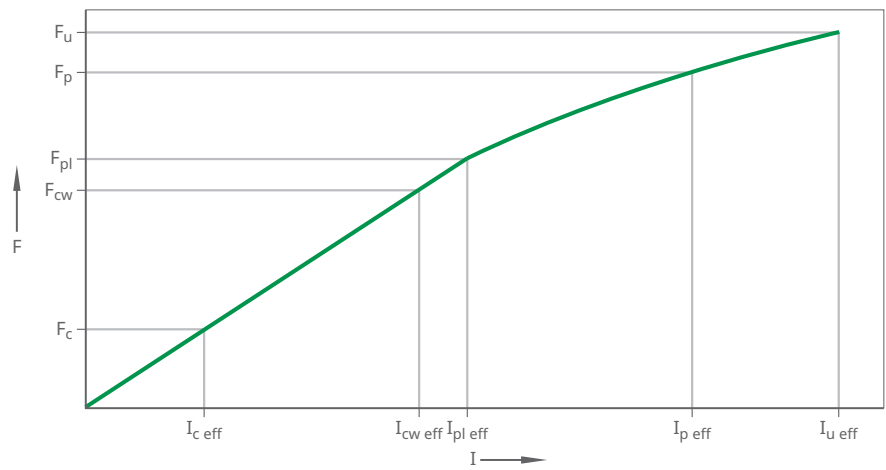
Linearer Bereich

Ein Motorstrom im Bereich 0 A bis $I_{pl\text{eff}}$ erzeugt eine linear abhängige Kraft. Die Kennlinie zwischen den Kraft-Strom-Punkten 0,0 und F_{pl} , $I_{pl\text{eff}}$ ist eine Gerade. Der Strom $I_{pl\text{eff}}$ erzeugt die Spitzenkraft im linearen Bereich F_{pl} . Der Anwender kann in diesem Bereich die Verlustleistung mittels der Motor-konstante k_m berechnen. Die Kraftkonstante k_f zeigt den linearen Anstieg der Kennlinie. Der Anwender kann mit der Kraftkonstante k_f bei gegebenem Strom die erzeugte Kraft berechnen. Der Wert des linearen Grenzstroms $I_{pl\text{eff}}$ ist temperaturunabhängig. Der Wert ist abhängig von Baureihe und Wicklungsausführung. Der Wert kann niedriger oder höher als der Wert des gekühlten Nennstroms $I_{cw\text{eff}}$ sein. Der lineare Grenzstrom $I_{pl\text{eff}}$ sowie die zugehörige Spitzenkraft im linearen Bereich F_{pl} sind für das Verständnis der Kennlinie wichtig. Da diese Werte in der Praxis vernachlässigt werden können, werden die Werte nicht in den Leistungsdaten angegeben.

Nichtlinearer Bereich

Ein Motorstrom im Bereich $I_{pl\text{eff}}$ bis $I_{u\text{eff}}$ erzeugt eine nichtlinear abhängige Kraft. Die Kennlinie zwischen den Kraft-Strom-Punkten F_{pl} , $I_{pl\text{eff}}$ und F_u , $I_{u\text{eff}}$ ist gekrümmt. Die Sättigung der magnetischen Kreise eines Motors bewirkt die Nichtlinearität der Kraft-Strom-Kennlinie in diesem Bereich. Die Kennlinie in diesem Bereich hat einen veränderlichen, deutlich geringeren Anstieg als die Kraftkonstante k_f . Der Motor kann für einige Sekunden bis zum Arbeitspunkt F_p , $I_{p\text{eff}}$ betrieben werden. Bei Beschleunigungsvorgängen ist dies der max. Arbeitspunkt. Der Grenzpunkt F_u , $I_{u\text{eff}}$ darf wegen Entmagnetisierungsgefahr der Permanentmagnete nicht überschritten werden.

3 Kraft-Strom-Kennlinie



001B86D0

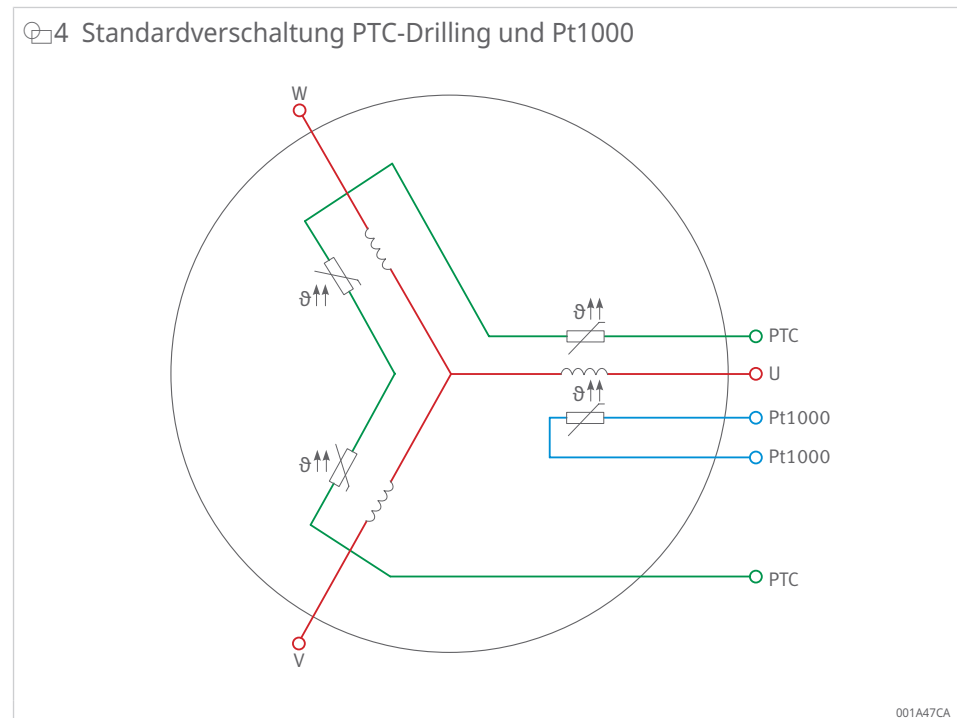
F	Kraft	I	Motorstrom
F_u	Grenzkraft	$I_{u \text{ eff}}$	effektiver Grenzstrom
F_p	Spitzenkraft	$I_{p \text{ eff}}$	effektiver Spitzenstrom
F_{pl}	Spitzenkraft, linearer Bereich	$I_{pl \text{ eff}}$	effektiver Spitzenstrom, linearer Bereich
F_{cw}	Nennkraft, gekühlt	$I_{cw \text{ eff}}$	effektiver Nennstrom, gekühlt
F_c	Nennkraft, ungekühlt	$I_{c \text{ eff}}$	effektiver Nennstrom, ungekühlt

5 Thermischer Motorschutz

5.1 Überwachungskreise I und II

Anwender betreiben Direktantriebe häufig an ihrer thermischen Leistungsgrenze. Zudem kann im Betrieb eine unvorhersehbare Überlastung entstehen. Die Überlastung bewirkt eine Strombelastung oberhalb des zulässigen Nennstroms. Bei der Überlastung darf der Effektivwert des Motorstroms, der quadratische Mittelwert I^2t , nicht den zulässigen Motornennstrom übersteigen. Für kurzfristige Überbestromung muss die Leistungselektronik ein I^2t -Motorschutzmodell zur Kontrolle des Motorstroms aufweisen. Diese indirekte Temperaturüberwachung ist sehr schnell und zuverlässig. Bei Inbetriebnahme des Motors muss der Anwender sicherstellen, dass die I^2t -Überwachung eingeschaltet ist.

Motoren von Schaeffler Industrial Drives müssen durch Überwachung der Motortemperatur geschützt werden. In der Standardausführung befinden sich im Überwachungskreis I 3 in Reihe geschaltete PTC-Sensoren an den 3 Phasenwicklungen. Weiterhin ist im Überwachungskreis II ein Pt1000-Sensor an einer Phase im Motor enthalten. Dieser Sensor ermöglicht Vorwarnschwellen.



! Die PTC-Sensoren und Pt1000-Sensoren haben eine Basisisolation zum Motor. Die Sensoren eignen sich nicht für den direkten Anschluss an PELV-Stromkreise oder SELV-Stromkreise nach DIN EN 61800-5-1.

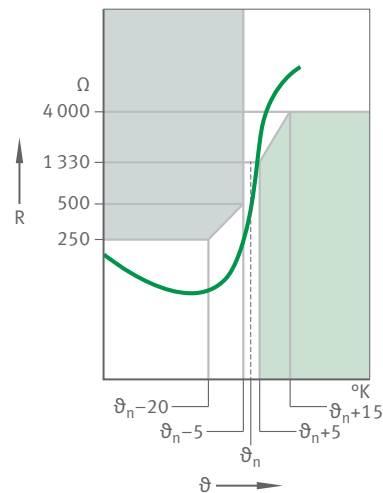
5.2 Überwachungskreis I

Ein PTC ist ein Kaltleiter. Ein PTC hat eine thermische Zeitkonstante von wenigen Sekunden. Im Unterschied zum Pt1000 steigt der Widerstand eines PTC beim Überschreiten der Nenn-Ansprechtemperatur ϑ_n sehr steil an. Der Widerstand erhöht sich beim Überschreiten der Nenn-Ansprechtemperatur auf ein Mehrfaches des Kaltwerts.

Bei Einsatz eines PTC-Drillings, d. h. eine Reihenschaltung von 3 PTC-Sensoren, ändert sich der Gesamtwiderstand deutlich. Diese deutliche Änderung tritt auch dann auf, wenn nur ein Sensor die Ansprechtemperatur ϑ_n überschreitet. Die Verwendung von 3 PTC-Sensoren gewährleistet auch bei asymmetrischer Phasenlast, z. B. im Stillstand, ein sicheres Abschalten durch ein Thermistor-Motorschutzrelais. Das Thermistor-Motorschutzrelais triggert typischerweise zwischen 1,5 k Ω und 3,5 k Ω und löst so einen Stopp der Steuerung aus.

Die PTC-Sensoren erfassen die Übertemperatur jeder Wicklung mit einer Abweichung von nur wenigen Grad.

5 Temperaturcharakteristik PTC



001A486A

R	Widerstand	ϑ	Temperatur
ϑ_n	Nenn-Ansprechtemperatur		

Das Thermistor-Motorschutzrelais reagiert auch auf einen zu geringen Widerstand im PTC-Kreis. Der zu geringe Widerstand kann einen Defekt im Überwachungskreis anzeigen. Das Thermistor-Motorschutzrelais bewirkt eine sichere galvanische Trennung der Steuerung von den PTC-Sensoren im Motor. Das Thermistor-Motorschutzrelais ist nicht im Lieferumfang enthalten. PTC-Sensoren des Temperaturüberwachungskreises I eignen sich nicht für Temperaturmessungen. Der Überwachungskreis II eignet sich für Temperaturmessungen.

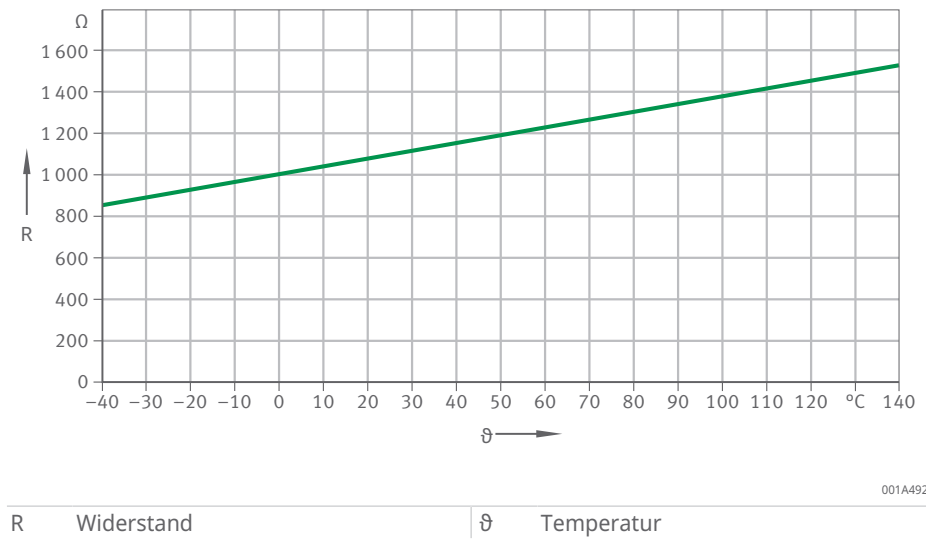


Grundsätzlich muss ein Thermistor-Motorschutzrelais, das am Servomotor angeschlossen ist, die PTC-Sensoren für den Temperaturschutz des Motors auswerten.

5.3 Überwachungskreis II

Der Pt1000 ist ein Platin-Messwiderstand-Tempersensoren. Dieser Sensor nutzt die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands von Platin. EN 60751 beschreibt die Sensorcharakteristik.

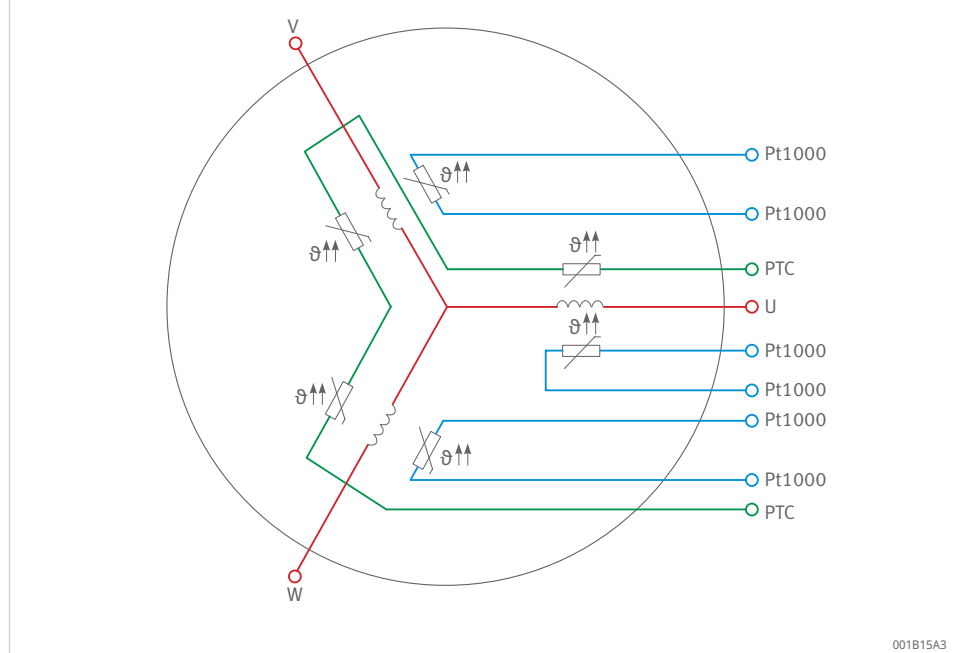
6 Temperaturcharakteristik Pt1000



Die thermische Zeitkonstante beträgt im eingebauten Zustand wenige Sekunden. Vorwarnschwelle und eine Abschaltgrenze werden in der Steuerung eingegeben und schützen den Motor vor Übertemperatur. Die Vorwarnschwelle verhindert eine sofortige Abschaltung durch das Thermistor-Motorschutzrelais.

Im Stillstand können, abhängig von der Anwendung, konstante Ströme durch die Wicklungen des Motors fließen. Die Polstellung bestimmt die Größe der konstanten Ströme. Durch diese Abhängigkeit wird der Motor nicht homogen erwärmt. Nicht überwachte Wicklungen können überhitzen. Ein Pt1000 kann nur eine Phase überwachen. Einsatz und Auswertung von 3 Pt1000 stellen die Überwachung aller Phasen sicher. Bei Anwendungen, die im Stillstand regelmäßig an die Belastungsgrenze gehen, empfiehlt Schaeffler Industrial Drives den Einsatz und die Auswertung von 3 Pt1000.

7 Verschaltung PTC-Drilling und 3 Pt1000



6 Elektrische Anschlusstechnik

6.1 Kabelanschlüsse

Verschraubungen an der Stirnseite der Linearmotoren L7 dienen als Anschlüsse für Leistungsanschlusskabel. Zeichnungen im Kapitel Produkttabellen zeigen die Position der Verschraubungen ▶62 | 12. Das Kabel ist ab Motorausgang 2 m lang. Auf Kundenwunsch ist eine beliebige Länge möglich. Der Motornennstrom $I_{CW\text{ eff}}$ bei P_{TW} bestimmt den Querschnitt des Kabels ▶19 | 4.

Die Kabel haben folgende Eigenschaften:

- geschirmt
- ölbeständig und kühlmittelbeständig durch PUR-Außenmantel
- flammwidrig
- schleppkettentauglich

Die Standardausführung der Aderenden ist offen mit Aderendhülsen. Anwendungsspezifische Kabelabgänge sind möglich.

2 Kabelanschlüsse Motor, Standard

Querschnitt	Dauerstrom	Durchmesser	min. Biege- radius fest	min. Biege- radius flexibel	Masse
-	A	mm	mm	mm	g/m
4G0,75	10,4	8	40	80	95
4G1,5	16,1	9	45	90	140
4G2,5	22	10,5	52,5	105	210
4G4	30	12,5	62,5	125	296
4G6	37	14,5	72,5	145	416
4G10	52	17	85	170	644
4G16	70	20,5	102,5	205	997

3 Anschlussbelegungen Motor

Kennzeichnung	Belegung
1/U	Phase U
2/V	Phase V
3/W	Phase W
GNYE	PE

Das Sensorkabel ermöglicht die Temperaturüberwachung mittels PTC und Pt1000. Die Standardausführung der Aderenden ist offen mit Aderendhülsen. Anwendungsspezifische Kabelabgänge sind möglich.

4 Kabelanschlüsse Sensor, Standard

Querschnitt	Temperatur- überwachung	Durchmesser	min. Biege- radius fest	min. Biege- radius flexibel	Gewicht
-	-	mm	mm	mm	g/m
Sensor 4×0,14	P ¹⁾	4,8	24	36	40
Sensor 10×0,14	T ²⁾	6,7	34	50	87

¹⁾ P = 1 Pt1000 + 3 PTC ▶54 | 11

²⁾ T = 3 Pt1000 + 3 PTC ▶54 | 11

5 Anschlussbelegungen Sensorvariante P

Kennzeichnung	Belegung
WH	PTC
BN	PTC
GN	Pt1000
YE	Pt1000

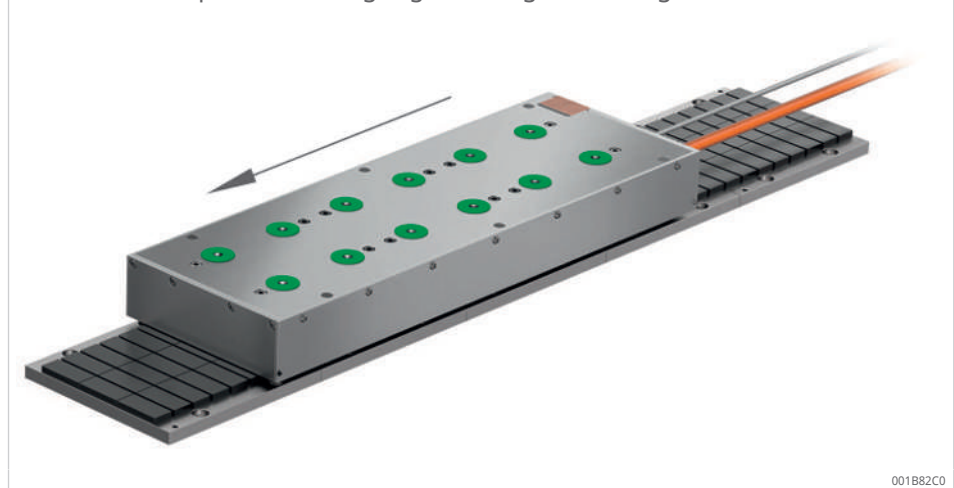
6 Anschlussbelegungen Sensorvariante T

Kennzeichnung	Belegung
WH	PTC
BN	PTC
GN	Pt1000-1
YE	Pt1000-1
GY	Pt1000-2
PK	Pt1000-2
BU	Pt1000-3
RD	Pt1000-3

6.2 Bewegungsrichtung des Motors

Bei allen 3-phasigen Motoren entspricht die elektrisch positive Bewegungsrichtung des Primärteils einem Rechtsdrehfeld. In einem Rechtsdrehfeld werden die Phasenspannungen in der Reihenfolge $U \rightarrow V \rightarrow W$ induziert.

8 Elektrisch positive Bewegungsrichtung des bewegten Primärteils



001B82C0

6.3 Kommutierung

Synchronmotoren werden vorzugsweise kommutiert betrieben. Schaeffler empfiehlt die messsystembezogene Kommutierung, weil sie durch moderne Servoumrichter und Steuerungen unterstützt wird.

6.4 Isolationsfestigkeit und Überspannungsphänomene

Schaeffler Industrial Drives entwickelt, konstruiert und fertigt Motoren nach Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU. Die Motoren erfüllen die Anforderungen der Richtlinie für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) 2014/30/EU. Die Motoren sind vorgesehen für den bestimmungsgemäßen Betrieb in einem PDS (Power Drive System) gemäß DIN EN 61800-5-1.

Isolationssysteme der Motoren sind auf Überspannungskategorie III ausgelegt und auf max. Lebensdauer optimiert. Die Spannungsfestigkeit der Isolationssysteme wird vor Auslieferung geprüft. Moderne Prüfverfahren, z. B. die Messung der Teilentladungseinsetzspannung, stellen die Lebensdauer und die Leistung über einen langen Zeitraum sicher.

Im eingebauten Zustand ist der Motor Bestandteil des PDS. Das PDS besteht aus Motor, Motorkabel und Umrichterkomponenten wie Einspeisemodul, Rückspeisemodule, Antriebsregler und Filter. Ungewollte und unvorhersehbare Effekte können innerhalb des PDS auftreten. Steuerungshersteller geben oft Empfehlungen und Projektierungshinweise, die der Anwender beachten und einhalten muss. Nichtbeachten kann zum vorzeitigen Ausfall der Isolationssysteme von Motor oder Umrichter führen.

Folgende Maßnahmen gewährleisten, unabhängig vom Umrichter, einen sichereren Betrieb:

- **kurze Kabel und großflächige Auflage der Kabelschirmung**
Kurze Kabel und großflächige Auflage der Kabelschirmung helfen bei der Vermeidung von Spannungsüberhöhungen durch HF-Reflexion auf dem Motorkabel. Motorkabel mit einer Länge ab 10 m zwischen Motor und Umrichter steigern die Wahrscheinlichkeit von Spannungsüberhöhungen. Schaeffler Industrial Drives empfiehlt, die Spannung an den Motoranschlussklemmen mit geeigneter Hochvolttechnik zu messen, wenn die Maschine in Betrieb genommen wird.
- **richtige Auswahl des Motors**
Die Motoren müssen nach der Zwischenkreisspannung des Umrichters ausgewählt werden. Die Zwischenkreisspannung beträgt in den meisten Fällen 600 V. Eine kleinere Zwischenkreisspannung reduziert die Dynamik und max. Geschwindigkeit. Eine Zwischenkreisspannung ab 720 V oder Aufstellhöhen über 2000 m erfordern ein verstärktes Isolationssystem. In einem solchen Fall wenden Sie sich bitte an Schaeffler Industrial Drives. Motoren mit Induktivitäten deutlich über 50 mH, gemessen von Phase zu Phase, dürfen nur nach Einzelfallprüfung durch den Hersteller des Umrichters und Schaeffler Industrial Drives eingesetzt werden. Ansonsten können Resonanzen im PDS und Isolationsschäden infolge von Spannungsspitzen auftreten.

Hinweise des Umrichterherstellers müssen beachtet werden. Sollte einer der folgenden Punkte zutreffen, muss dieser in der Anfrage angegeben werden. Alternativ bei Inbetriebnahme vor Ort eine Messung der transienten Überschwingweite durchführen.

- PDS mit Mehrachsumrichtermodulen oder geregelten Einspeisungen:
Hier können elektrische Schwingungen zum Erdpotenzial und die daraus folgende Spannungsbelastung das Isolationssystem des Motors schädigen.
- Anwendungen, bei denen in der Vergangenheit vermehrt Isolationsschäden aufgetreten sind
- Anwendungen, bei denen bereits Gegenmaßnahmen existieren

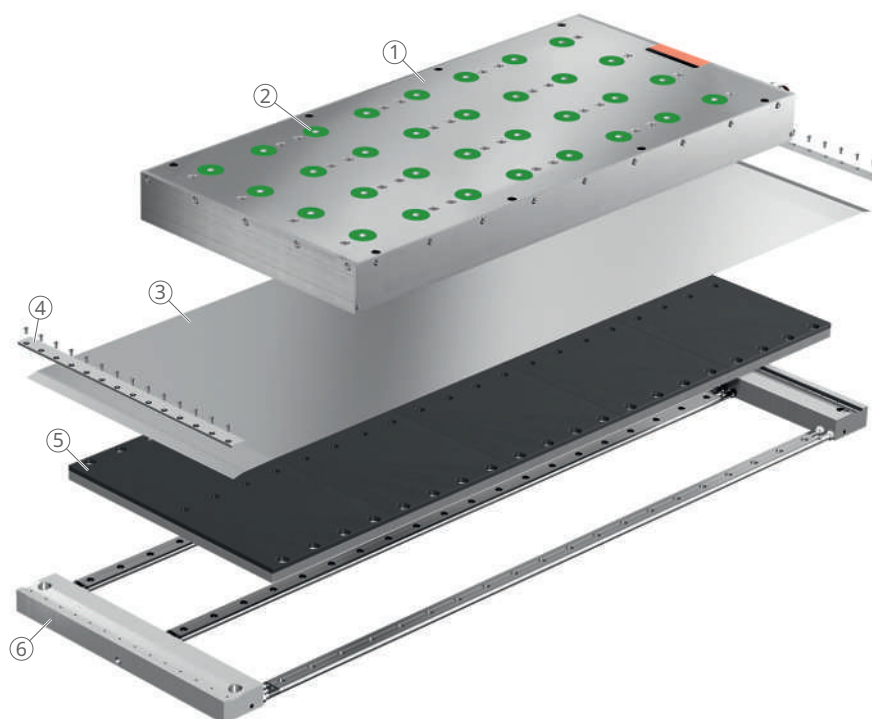
Bei einer Zwischenkreisspannung von 600 V bis 720 V darf zwischen den Motorphasen die Überschwingweite max. 1370 V betragen. Zwischen den Motorphasen darf das Peak-zu-Peak-Band max. 2800 V betragen.

Leitungsreflexionen und elektrische Schwingungen durch geregelte Einspeisungen überlagern sich bei Messung zwischen Motorphase und Erdpotenzial. Bei der Auswertung nur das Peak-zu-Peak-Band berücksichtigen. Das Peak-zu-Peak-Band darf max. 2350 V betragen.

7 Motorkühlung, Grundlagen

Die Motorkühlung der L7-Linearmotoren wurde mit Fokus auf Anwendungen in Werkzeugmaschinen entwickelt. Besonders beim HSC (High Speed Cutting), HPC (High Performance Cutting) und Schleifen werden immer höhere Vorschubkräfte bei gleichzeitig höchster Genauigkeit gefordert. Das Antriebssystem muss Vorschubkräfte mit höchster Effizienz erzeugen. Durch Verlustleistung entstandene Wärme muss sofort abgeführt werden, um Ungenauigkeiten der Maschine durch Wärmeeintrag zu vermeiden. Die Ausführung des Gesamtsystems aus wärmeerzeugenden und wärmeabführenden Komponenten steuert den Wärmefluss im Motor. Zwei Kühlkreise führen die Wärme aus den L7-Linearmotoren schnell und effizient ab. Der erste Kühlkreis besteht aus der Primärteilkühlung auf der Anschraubseite des Primärteils. Der zweite Kühlkreis besteht aus der Sekundärteilkühlung unterhalb des Sekundärteils. Die Sekundärteilkühlung stellt sicher, dass keine Wärme in die Maschine bzw. die Umgebungsstruktur eingeleitet wird.

9 L7-Linearmotor mit Primärteilkühlung und Sekundärteilkühlung



00188720

1	Primärteil mit integrierter Kühlung	2	Abstandshalter aus Kunststoff, grün
3	Abdeckband	4	Keilleiste
5	Sekundärteil	6	Sekundärteilkühlung

Um in Werkzeugmaschinen thermisch bedingte Verformungen und Veränderungen der Maschinengeometrie zu minimieren, haben sich die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen bewährt:

- **Thermische Isolation:**
Abstandshalter aus grünem Kunststoff werden oberhalb des Motors angeordnet und trennen das Primärteil über einen Luftspalt thermisch von der Anschraubplatte der Umgebungskonstruktion ▶22 | 9.
- **Temperaturkompensation:**
L7-Primärteile sind thermisch symmetrisch aufgebaut. Dadurch existiert nur ein geringes Temperaturgefälle zwischen dem linken und rechten Teil bzw. dem vorderem und hinterem Teil des Motors. Übermäßiges thermisch bedingtes Kippen oder Nicken der Achse kann so verringert werden.
- **Aktive Temperierung:**
Sekundärteile können optional mit einer Kühlung versehen und einfach in das Kühlsystem eingebunden werden. Eine zusätzliche Kühlung des Bauteils, auf das die Sekundärteile montiert werden, kann je nach Anforderung entfallen.

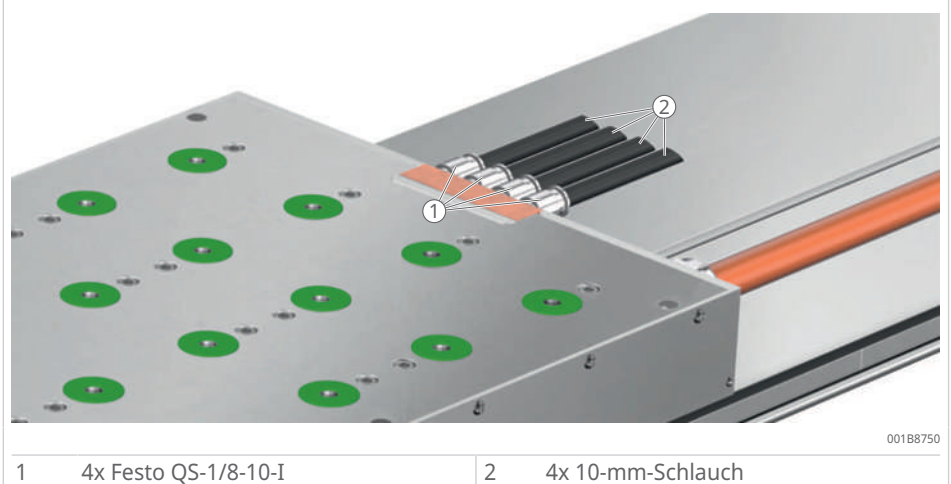
Ein L7-Linearmotor unterstützt die Maßnahmen vollumfänglich.

7.1 Primärteilkühlung

Ein für Werkzeugmaschinen entwickelter Kühlkreislauf verwendet in der Regel Wasser, ein Wasser-Glykol-Gemisch oder in Einzelfällen Öl als Kühlmedium. Der Kühlkreislauf ist mit einem Rückkühlersystem bzw. dem Maschinenkühlsystem verbunden. Das Kühlmedium gelangt über interne Rohre der Primärteilkühlung vom Einlass zum Auslass.

Bei großen Motoren, wie z. B. der Baugröße 650-300, besteht die Primärteilkühlung aus 2 Kühlkreisläufen. 2 Kühlkreisläufe erreichen die erforderlichen Volumenströme dV/dt und müssen parallel verschaltet werden. Innengewinde $G\ 1/8$ dienen als Anschlüsse. Marktübliche Steckverschraubungen können verwendet werden. Befestigungsarten sind beispielsweise Festo QS-1/8-10-I mit Innensechskant oder Rectus-Einhand-Schnellverschluss-Kupplung Serie 21.

10 L7-Primärteilkühlung, Baubreite 300 mm



7.2 Sekundärteilkühlung

Genauigkeitsanforderungen steigen kontinuierlich in besonders anspruchsvollen Anwendungen, wie im High-Performance-Cutting von Integralbauteilen für Flugzeuge, in der Trockenbearbeitung oder bei der Fertigung komplexer Gehäuseteile. Maschinentyp und Bearbeitungsprozess bestimmen die zulässigen Temperaturschwankungen. Zulässige Temperaturschwankungen im Maschinenbett sind typischerweise bei Universalfräsmaschinen $\pm 0,5$ °C bis ± 1 °C. Bei HSC-Fräsmaschinen oder Bohrwerken können die Anforderungen noch strenger sein. Zulässige Temperaturschwankungen können begrenzt sein auf $\pm 0,2$ °C bis auf $\pm 0,5$ °C. Eine Sekundärteilkühlung ermöglicht die Erfüllung dieser Anforderungen. Eine L7-Sekundärteilkühlung besteht aus 2 Endstücken und den zugehörigen Kühlprofilen. Bei Baubreiten 100 mm und 150 mm werden 2 Profile mit je einem Kühlkanal verwendet. Bei Baubreiten 200 mm und 300 mm werden je 3 Profile mit 2 Kühlkanälen verwendet. Steckverbinder verbinden die Kühlprofile mit den Endstücken.

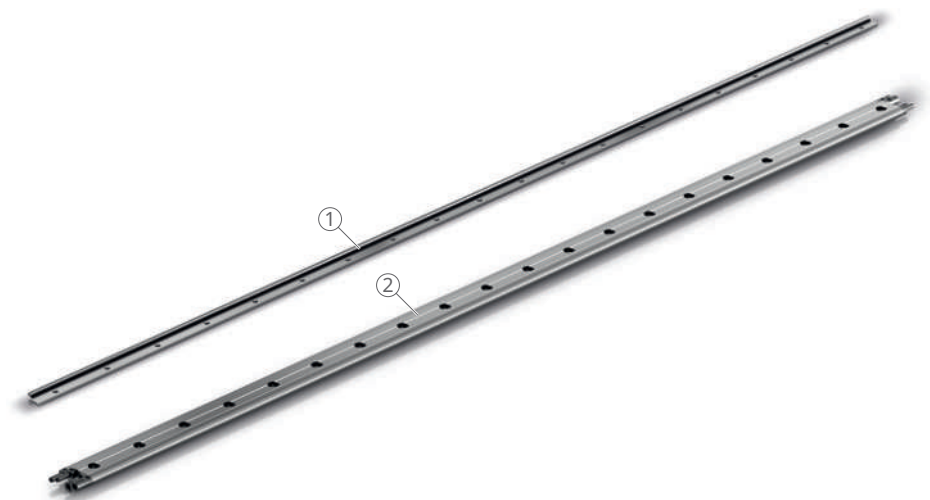
☐11 L7-Sekundärteilkühlung



001B877D

1 für Baubreiten 100 mm und 150 mm | 2 für Baubreiten 200 mm und 300 mm

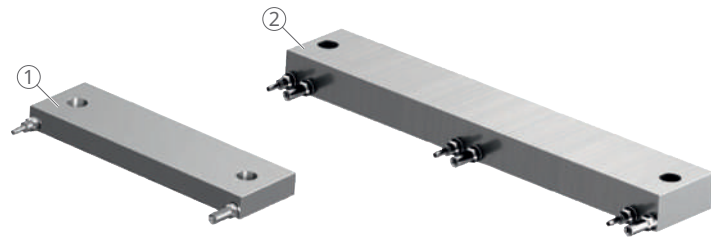
☐12 Kühlprofil für Sekundärteilkühlung



001B87B0

1 für Baubreiten 100 mm und 150 mm | 2 für Baubreiten 200 mm und 300 mm

☐ 13 Endstücke für Sekundärteilkühlung



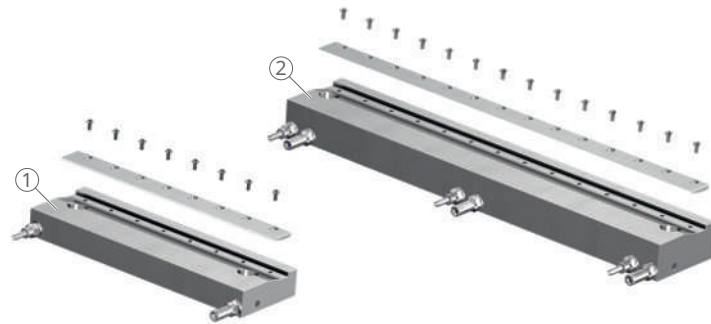
001B87D7

1 für Baubreiten 100 mm und 150 mm 2 für Baubreiten 200 mm und 300 mm

7

Endstücke mit Keilleiste befestigen ein Abdeckband.

☐ 14 Endstücke mit Keilleisten für Sekundärteilkühlung und Abdeckband



001BCA34

1 für Baubreiten 100 mm und 150 mm 2 für Baubreiten 200 mm und 300 mm

7.3 Kühlmedien und deren Einfluss auf die Kühlung

Die Angaben in den Leistungsdaten basieren auf dem Kühlmedium Wasser. Die Verwendung eines Kühlmediums, das sich deutlich von Wasser unterscheidet, bewirkt eine Verringerung der abführbaren Wärme und somit auch eine Veränderung von F_{CW} . Auf Anfrage unterstützt Schaeffler Industrial Drives bei der Auslegung der Anwendung sowie der Ermittlung der erreichbaren Motordaten.

Für die Auslegung mit einem kundenspezifischen Kühlmedium werden folgende Informationen benötigt:

- Art und Dichte
- spezifische Wärmekapazität
- kinematische Viskosität
- technisches Datenblatt mit Inhaltsstoffen

Bei Verwendung von Kühlmedien mit deutlich höherer Viskosität als Wasser müssen vor der Verwendung die Auswirkungen auf die Kühlung geprüft werden. Gegebenenfalls müssen Motorparameter, wie $I_{CW\text{ eff}}$ oder F_{CW} , angepasst werden. Daten des eingesetzten Mediums müssen verwendet und erwartete Temperaturen berücksichtigt werden.

Wasser

Wasser ist das am häufigsten verwendete Kühlmedium. Wasser hat eine hohe spezifische Wärmekapazität und ist kostengünstig. Wasser mit Zusätzen, die Korrosion und biologische Ablagerungen im Kühlkreislauf verhindern, ist allen anderen Kühlmedien vorzuziehen. Additive, wie COOL CONCENTRATE oder COOL X, beeinflussen Eigenschaften wie Dichte und Viskosität kaum. Wasser mit einem dieser Additive ist ein sehr effizientes Kühlmedium mit einer spezifischen Wärmekapazität von 4,1 kJ/kg · K. Dieser Wert entspricht annähernd dem Wert von Wasser.

7 Stoffeigenschaften von Wasser

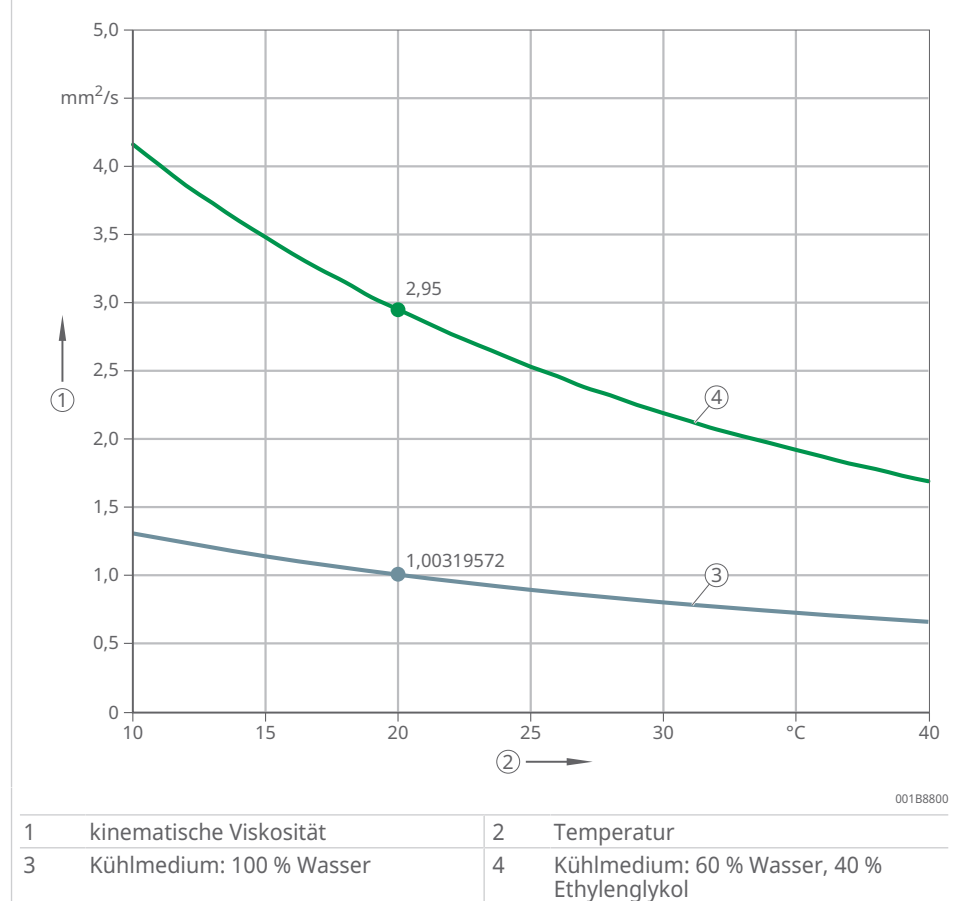
Temperatur	Dichte ¹⁾	spezifische Wärmekapazität	dynamische Viskosität	kinematische Viskosität
°C	kg/m ³	kJ/kg · K	Pa · s	mm ² /s
+20 ²⁾	998,21	4,1840	0,0010014	1,00319572
+25	997,05	4,1813	0,00088982	0,892452736
+30	995,65	4,1798	0,00079705	0,800532316

1) nach DIN 1306 gelten Nebenbedingungen wie Luftdruck und Erdbeschleunigung 1 g, Druck p_n = 1,01325 bar

2) Referenztemperatur

Ein Gemisch aus Wasser und Glykol hat einen niedrigeren Gefrierpunkt als Wasser und verhindert Korrosion. Dieses Gemisch wird oft für kalte Umgebungen oder Anwendungen genutzt, bei denen Frostschutz erforderlich ist. Aufgrund der erhöhten Viskosität des Wasser-Glykol-Gemischs im Vergleich zu reinem Wasser steigt der Druckverlust im Rohrsystem an. Die Zirkulationspumpe muss einen entsprechend höheren Druck liefern.

15 Abhängigkeit der kinematischen Viskosität von der Temperatur



1	kinematische Viskosität	2	Temperatur
3	Kühlmedium: 100 % Wasser	4	Kühlmedium: 60 % Wasser, 40 % Ethylenglykol

Beispiel:

Eine Mischung aus 40 % Ethylenglykol, z. B. Antifrogen N, und 60 % Wasser hat einen Gefrierpunkt von -25 °C und eine 2,95-fach höhere kinematische Viskosität als Wasser. Ein deutlich höherer Druck wird benötigt, um den empfohlenen Durchfluss zu erreichen. Für eine erste Abschätzung können Korrekturfaktoren verwendet werden.

8 Korrekturfaktor Ethylenglykol

Konzentration	Gefrierpunkt	Korrekturfaktor Druckdifferenz
%	°C	-
20	-9	1,14
30	-16	1,23
40	-25	1,33
44	-30	1,38

Bei Verwendung dieser Mischung müssen die Druckdifferenzen im Beispiel ▶29|8 auf 33 % höhere Werte korrigiert werden. Die genauen Werte des verwendeten Kühlmediums müssen stets beachtet werden.

Öle

Öle werden in einigen industriellen Anwendungen als Kühlmedien verwendet. Die Anwendung bestimmt die Auswahl des richtigen Öls. Bei der Verwendung von Öl muss der für die Kühlung notwendige Volumenstrom stets sichergestellt werden.

Auf Anfrage unterstützt Schaeffler Industrial Drives gern bei der Auslegung. Die chemische Verträglichkeit aller Komponenten ist kundenseitig zu prüfen.

7.4 Abhängigkeit der Nenndaten von der Vorlauftemperatur und dem Kühlmedium

Der für den gekühlten Betrieb angegebene Nennstrom $I_{\text{cw eff}}$ bezieht sich auf die Nenn-Vorlauftemperatur ϑ_{nf} des Kühlmediums und wird in den Leistungsdaten angegeben ▶62|12.

Höhere Vorlauftemperaturen ϑ_{f} reduzieren die Kühlleistung und damit auch den Nennstrom. Der reduzierte Nennstrom $I_{\text{c red}}$ wird aus folgendem quadratischen Zusammenhang errechnet:

f)2 Reduzierter Nennstrom

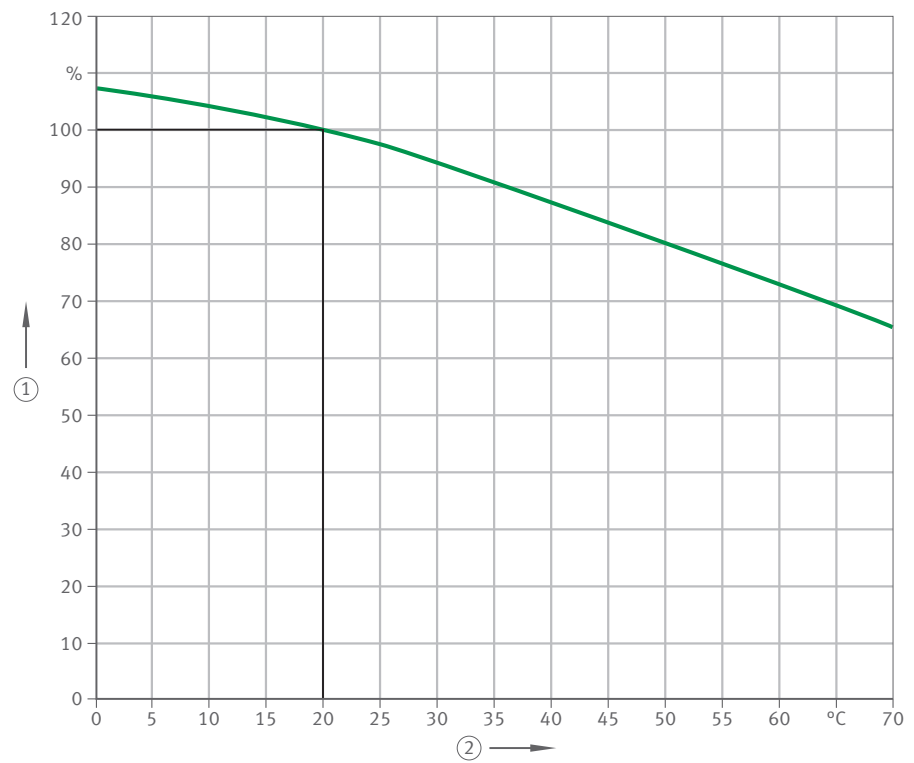
$$\frac{I_{\text{c red}}}{I_{\text{cw eff}}} = \sqrt{\frac{\vartheta_{\text{max}} - \vartheta_{\text{f}}}{\vartheta_{\text{max}} - \vartheta_{\text{nf}}}}$$

$I_{\text{c red}}$	A	reduzierter Nennstrom
$I_{\text{cw eff}}$	A	effektiver Nennstrom, gekühlt
ϑ_{max}	°C	max. zulässige Wicklungstemperatur
ϑ_{nf}	°C	Nenn-Vorlauftemperatur
ϑ_{f}	°C	aktuelle Vorlauftemperatur

Die Nutzung kundenspezifischer Kühlmedien verändert die abführbare Wärmeverlustleistung und somit auch die dauerhaft abrufbare Nennkraft, gekühlt, F_{cw} . Ingenieure von Schaeffler Industrial Drives ermitteln auf Anfrage und bei Nennung der Stoffeigenschaften den Einfluss des verwendeten Kühlmediums.

7

⊕ 16 Relativer Nennstrom $I_{C\ red} / I_{Cw\ eff}$ abhängig von Vorlauftemperatur ϑ_f
 ($\vartheta_{nf} = +20\ ^\circ C$)



001B15B3

1	relativer Nennstrom $I_{C\ red} / I_{Cw\ eff}$ in %	2	aktuelle Vorlauftemperatur ϑ_f
$I_{C\ red}$	reduzierter Nennstrom	ϑ_{nf}	Nenn-Vorlauftemperatur
$I_{Cw\ eff}$	Nennstrom, gekühlt		

8 Motorkühlung, Beispiel

Dieses Beispiel zeigt die Auslegung des Rückkühlers und die Einbindung in die Maschine. Anhand der Anwendung *Vorschubachse in einer Universal-Werkzeugmaschine* werden Daten wie Dichte, Wärmekapazität, Volumenstrom und abführbare Verlustleistung ermittelt. Ein anderes Kühlmedium als Wasser muss geprüft werden.

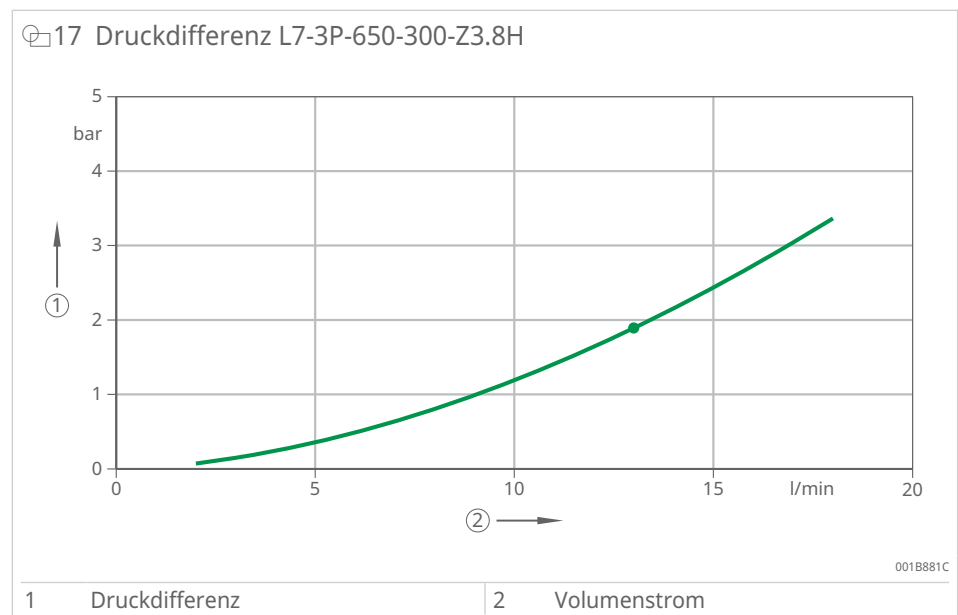
8.1 Schritt 1, Anforderungen

Motordaten werden aus dem Datenblatt oder aus den Leistungsdaten entnommen ▶62 | 12.

9 Anwendungsbeispiel für Linearmotor L7-3P-650-300-Z3.8H mit 10 Sekundärteilen

Beschreibung	Wert
Verlustleistung P_{lw} bei F_{cw}	5357 W
Temperaturdifferenz des Kühlwassers $\Delta\theta$	5,9 K
empfohlener Volumenstrom dV/dt	13 l/min ¹⁾
Druckdifferenz Δp , entspricht Δp_p	1,9 bar

1) 2x 6,5 l/min bei 2 parallelen Kühlkreisläufen



Verwendetes Kühlmedium:

- Wasser + 11 % COOL CONCENTRATE mit Eigenschaften ähnlich Wasser

Anforderungen aus der Systemintegration:

- Maschinenbett soll möglichst nur mit geringem Wärmeeintrag belastet werden. Sekundärteilkühlung wird genutzt.
- Druck des Kühlmediums soll bei ca. 5 bar im Arbeitspunkt liegen, max. Systemdruck 10 bar.
- Länge Kühlungs-zuleitung und Kühlungs-ableitung ca. 5 m, $D = 1/2''$ mit einer Druckdifferenz Δp_H von ca. 0,32 bar

8.2 Schritt 2, Primärteilkühlung, Volumenstrom und Druckdifferenz

Motorkühldata sind in den Leistungsdaten vermerkt ▶62 | 12.

Bestimmen des Volumenstroms dV/dt

Durch den Volumenstrom wird ein Großteil der gesamten Verlustleistung P_{lw} abgeführt. Ein geringer Teil der Wärme wird in das Sekundärteil und die Anschraubbasis bzw. den Sekundärteilkühler übertragen. Der Volumenstrom wird auf Basis der kalorischen Gleichung berechnet. Für die Berechnung der Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf werden die Werte reinen Wassers verwendet.

Die grundlegende kalorische Gleichung ist:

f13

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

mit

f14

$$m = \rho \cdot V$$

Woraus folgt:

f15

$$Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta\vartheta$$

Zeitlich differenziert ergibt sich die auf den Kühler anwendbare Form:

f16

$$\Phi = c \cdot \rho \cdot \frac{dV}{dt} \cdot \Delta\vartheta$$

Durch Einsetzen der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ und der Verlustleistung P_{lw} für den Wärmestrom Φ ergibt sich der empfohlene Volumenstrom:

f17

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P_{lw}}{c \cdot \rho \cdot \Delta\vartheta}$$

c	kJ/kg · K	spezifische Wärmekapazität
dV/dt	l/min	Volumenstrom
P_{lw}	W	Verlustleistung bei F_{cw}
$\Delta\vartheta$	K	Temperaturdifferenz des Kühlmediums
ρ	kg/m ³	Dichte

$\Delta\vartheta$ ist die Temperaturdifferenz zwischen Kühlungs-zuleitung und Kühlungs-ableitung. Um die Temperaturdifferenzen im Motor klein zu halten, sollte $\Delta\vartheta$ vorzugsweise 5 K betragen und 10 K nicht überschreiten. Im Beispiel ist der Wert laut den Leistungsdaten 5,9 K.

Für den Linearmotor L7-3P-650-300-Z3.8H gelten folgende Werte:

- Verlustleistung $P_{lw} = 5357 \text{ W}$
- Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta = 5,9 \text{ K}$

Die spezifische Wärmekapazität und Dichte für Wasser bei +20 °C werden aus der entsprechenden Tabelle entnommen ▶26 | 7.

f18

$$\frac{dV}{dt} = \frac{5357}{4,1840 \cdot 998,21 \cdot 5,9} = 0,21739 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 13,04 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Ermitteln der Druckdifferenz Δp_p

Die Druckdifferenz Δp_p , entspricht Δp in den Leistungsdaten, ergibt sich durch Strömungswiderstände. Strömungswiderstände entstehen z. B. durch Wandreibung und Verwirbelungen in Rohrleitungen sowie den zugehörigen Formstücken und Armaturen. Stark vereinfacht: Die Pumpe des Kühlaggregats baut den Druck auf und abhängig von Volumenstrom und der Auslegung stellt sich ein Arbeitspunkt dV/dt zu Δp ein. Das im Beispiel genutzte Kühlmedium Wasser +11 % COOL CONCENTRATE hat weitgehend die Eigenschaften von Wasser. Daher können die Werte für Druckdifferenzen aus den Leistungsdaten genutzt werden. Für den Motor L7-3P-650-300-Z3.8H ergibt sich für den Volumenstrom von ca. 13 l/min eine Druckdifferenz Δp_p von 1,9 bar im Primärteil.

8.3 Schritt 3, Sekundärteilkühlung, Volumenstrom und Druckdifferenz

Bestimmen des Volumenstroms dV/dt

Die Anwendung bestimmt die Anforderungen an die Sekundärteilkühlung. Die erwartete Verlustleistung durch Wärmeabstrahlung, auch Wärmeeintrag genannt, vom Primärteil auf das Sekundärteil wird der entsprechenden Tabelle entnommen ▶31 | 10. Für den in diesem Beispiel verwendeten Motor L7-3P-650-300 beträgt der Wärmeeintrag 460 W.

10 Erwarteter Wärmeeintrag vom Primärteil auf das Sekundärteil

Primärteil	Wärmeeintrag P W
L7-3P-350-100	94
L7-3P-350-150	126
L7-3P-350-200	167
L7-3P-350-300	229
L7-3P-500-100	142
L7-3P-500-150	189
L7-3P-500-200	250
L7-3P-500-300	344
L7-3P-650-100	189
L7-3P-650-150	252
L7-3P-650-200	334
L7-3P-650-300	460

Im Beispiel wird vereinfacht mit einer Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ von 0,5 K und einer abzuführenden Wärme Φ von 460 W gerechnet. Der mindestens notwendige Volumenstrom dV/dt beträgt:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P_{lw}}{c \cdot \rho \cdot \Delta\vartheta}$$

c	kJ/kg · K	spezifische Wärmekapazität
dV/dt	l/min	Volumenstrom
P _{lw}	W	Verlustleistung bei F _{cw}
Δϑ	K	Temperaturdifferenz des Kühlmediums
ρ	kg/m ³	Dichte

8

$$\frac{dV}{dt} = \frac{460}{4,1840 \cdot 998,21 \cdot 0,5} = 0,22028 \frac{l}{s} = 13,22 \frac{l}{min}$$

Der Ort der Wärmeentstehung im Sekundärteil ist abhängig von der Anwendung. Bei einer Linearachse für eine Fräsmaschine ist der Wärmeeintrag in einem Punkt konzentriert, da fast 100 % der Wärme über das Primärteil übertragen werden und die Achse sich kaum bewegt. Eine Achse, die sich häufig schnell bewegt, erzeugt aufgrund der Eisenverluste Wirbelstromverluste im Sekundärteil. Wirbelstromverluste im Sekundärteil sind bei den meisten Anwendungen vernachlässigbar. Im Ultrapräzisionsbereich oder bei Applikationen mit mehr als 50 % Einschaltzeit und $v > 1$ m/s sollten Wirbelstromverluste genauer betrachtet werden. Wirbelstromverluste sind abhängig von der Geschwindigkeit und können mit Hilfe der Tabellenwerte abgeschätzt werden ▶32 | 11. Wirbelstromverluste werden ihrem zeitlichen Anteil entsprechend bei der Kühlleistung des Sekundärteils berücksichtigt.

Beispiel Primärteil L7-3P-650-300

Bewegt sich eine Achse über 60 % der Zykluszeit mit einer Geschwindigkeit von 1,15 m/s, werden 60 % bei der Sekundärkühlleistung berücksichtigt. Der Tabellenwert ist 608 W. 364,8 W werden berücksichtigt.

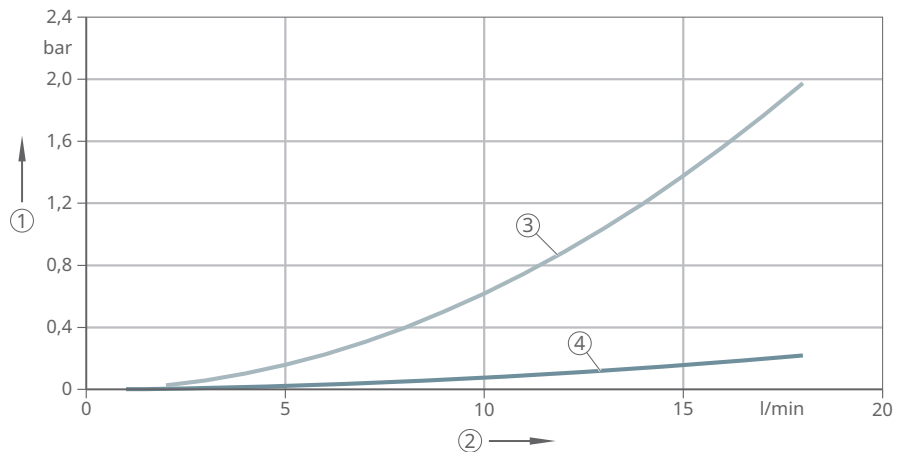
11 Wirbelstromverluste

Primärteil	Geschwindigkeit v		
	0,46	1,15	1,84
m/s			
Wirbelstromverluste im Sekundärteil			
W			
L7-3P-350-100	19	101	238
L7-3P-500-100	28	152	357
L7-3P-650-100	37	203	476
L7-3P-350-150	28	152	357
L7-3P-500-150	42	228	536
L7-3P-650-150	56	304	714
L7-3P-350-200	37	203	476
L7-3P-500-200	56	304	714
L7-3P-650-200	74	406	952
L7-3P-350-300	56	304	714
L7-3P-500-300	84	456	-
L7-3P-650-300	112	608	-

Ermitteln der Druckdifferenz Δp_s

Die Druckdifferenzen für ein Endstück können aus dem folgenden Diagramm entnommen werden. Diagramme für andere Baugrößen sind in den Produkttabellen verfügbar ▶80 | 13. Die im Diagramm angegebene Druckdifferenz für die Kühlprofile ist die Summe der Druckdifferenzen aller parallel geschalteten Kühlprofile.

☐18 Druckdifferenz Sekundärteilkühlung Baubreite 300



00188840

1	Druckdifferenz	2	Volumenstrom
3	Endstück	4	Kühlprofil, Länge 1 m

Bei einem Volumenstrom von ca. 13 l/min ergibt sich für das Endstück eine Druckdifferenz Δp_{EP} von 1,05 bar und für das Kühlprofil eine Druckdifferenz Δp_{CP} von 0,15 bar/m ▶33 | ☐18.

In diesem Beispiel mit 10 Sekundärteilen wird eine Sekundärteilkühlung mit 2 Endstücken verwendet. L_{CP} errechnet sich zu 1820 mm ▶60 | 11.2.

Daraus folgt für die gesamte Sekundärteilkühlung:

f11

$$\Delta p_s = 2 \cdot \Delta p_{EP} + \frac{L_{CP}}{1000} \cdot \Delta p_{CP}$$

Δp_{CP}	bar/m	Druckdifferenz des Kühlprofils
Δp_{EP}	bar	Druckdifferenz des Endstücks
Δp_s	bar	Druckdifferenz Sekundärteilkühlung
L_{CP}	mm	Länge der Kühlprofile

f12

$$\Delta p_s = (2 \cdot 1,05) + \left(\frac{1820}{1000} \cdot 0,15 \right) = 2,37 \approx 2,4 \text{ bar}$$

8.4 Schritt 4, Verschaltung der Kühlung

Berücksichtigung weiterer Druckdifferenzen

Die spezifischen Werte für die Druckdifferenzen der Motorkomponenten sind in den Leistungsdaten verfügbar ▶62 | 12.

Druckdifferenzen in Verbindern, Anschlussfittings und Verteilerschläuchen für Zuleitung und Rückleitung müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Die Werte sind auf den jeweiligen Herstellerseiten verfügbar.

Steckverschraubungen:

Marktübliche Modelle für 10-mm-Schläuche weisen pro Anschluss eine Druckdifferenz Δp_F von 0,04 bar bei 6,5 l/min auf. Dies ergibt eine Druckdifferenz von 0,08 bar pro Primärkühlkreis.

Schlauch:

Ein $1/2$ "-Schlauch für Zuleitungen und Ableitungen mit einer Länge von jeweils ca. 5 m verursacht einen Druckverlust Δp_H von ca. 0,16 bar, was bei 13 l/min insgesamt 0,32 bar ergibt.

Verschaltung Kühlung

Die Verschaltung der einzelnen Kühlkörper richtet sich nach verschiedenen Kriterien. Die Kriterien sind Volumenstrom und Druckdifferenz, das verwendete Kühlmedium, die räumliche Aufteilung, das Kühlkonzept und der Einfluss auf andere Maschinenachsen. In dem Auslegungsbeispiel sind die benötigten Volumenströme von Primärteilkühlung und Sekundärteilkühlung mit je ca. 13 l/min vergleichbar. Somit können die Kühlkörper in Reihe geschaltet werden. Die Druckdifferenz der gesamten Kühlung berechnet sich wie folgt:

f13

$$\Delta p_{\text{tot}} = \Delta p_P + \Delta p_S + \Delta p_F + \Delta p_H$$

Δp_F	bar	Druckdifferenz Fittings
Δp_P	bar	Druckdifferenz Primärteilkühlung
Δp_S	bar	Druckdifferenz Sekundärteilkühlung
Δp_H	bar	Druckdifferenz Zuleitung und Ableitung
Δp_{tot}	bar	Druckdifferenz der gesamten Kühlung

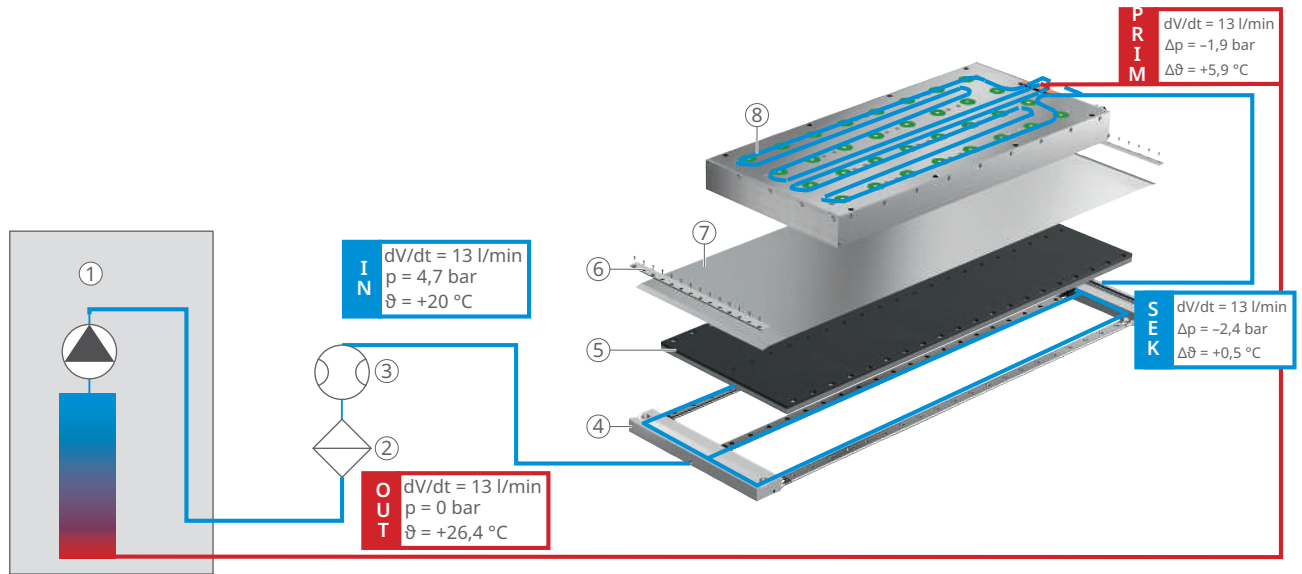
f14

$$\Delta p_{\text{tot}} = 1,9 + 2,4 + 0,08 + 0,32 = 4,7 \text{ bar}$$

Verschaltung: Reihenschaltung

Bevorzugte Reihenfolge der Kühlkomponenten: Rückkühler → Sekundärteilkühlung → Primärteilkühlung → Rückkühler.

19 Reihenschaltung der Kühlkomponenten



001B8860

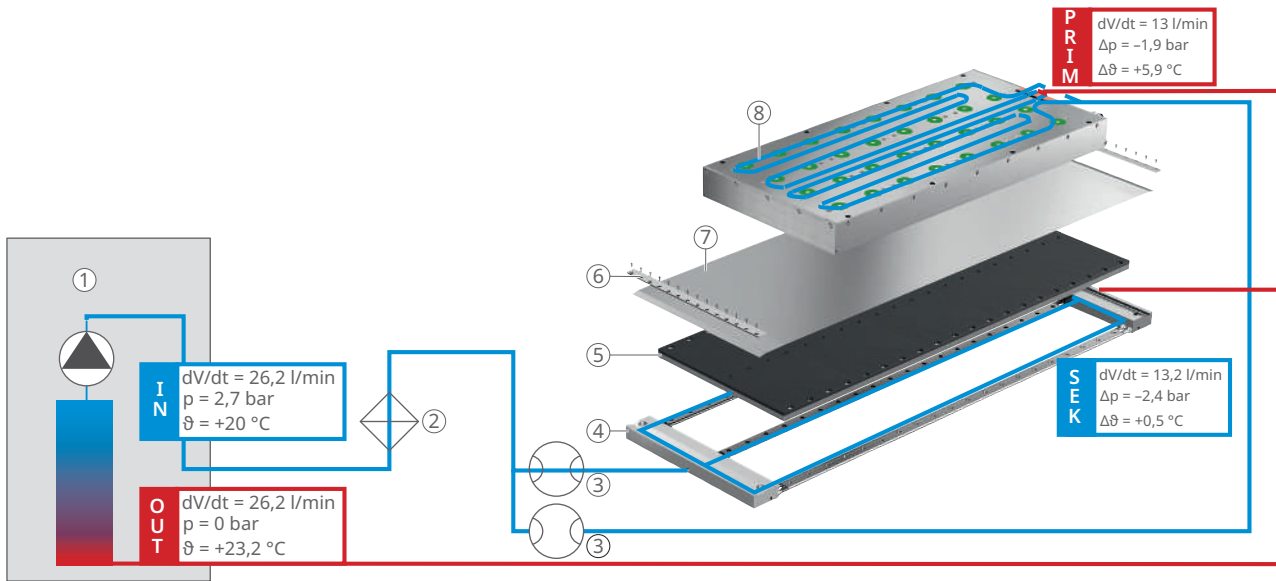
1	Rückkühler	2	Filter
3	Flowmeter	4	Sekundärteilkühlung
5	Sekundärteil	6	Keilleiste
7	Abdeckband	8	Primärteilkühlung, blau
IN	Daten am Eingang des Kühlsystems	OUT	Daten am Ausgang des Kühlsystems
PRIM	Daten an der Primärteilkühlung	SEK	Daten an der Sekundärteilkühlung

Mit $\Delta p_{\text{tot}} \approx 4,7 \text{ bar}$ und dem genutzten Volumenstrom von 13 l/min kann man nun den Rückkühler anfragen oder selbst auslegen.

Alternative Verschaltung: Parallelschaltung

Im Auslegungsbeispiel können die Kühlkreise mit den verschiedenen Arbeitspunkten, dV/dt und Δp , auch parallel geschaltet werden.

20 Parallelschaltung der Kühlkomponenten



001B8880

1	Kühler mit Pumpe	2	Filter
3	Flowmeter	4	Sekundärteilkühlung
5	Sekundärteil	6	Keilleiste
7	Abdeckband	8	Primärteilkühlung, blau
IN	Daten am Eingang des Kühlsystems	OUT	Daten am Ausgang des Kühlsystems
PRIM	Daten an der Primärteilkühlung	SEK	Daten an der Sekundärteilkühlung

Bei Parallelschaltung muss jeder Kühlkörper etwa die gleiche Druckdifferenz haben. Die Volumenströme beider Kühlkörper in Relation zueinander müssen ebenfalls bewertet werden.

Bei der Parallelschaltung der Kühlkörper beeinflusst ein Kühlkreis den anderen. Der Einfluss ist umso größer, je stärker die Druckdifferenzen voneinander abweichen. Der Kühlkreis mit dem geringsten hydraulischen Widerstand zieht den Volumenstrom des Gesamtsystems an sich. Im Beispiel reduziert sich der Volumenstrom im Primärteil und die Wärme wird nicht wie vorgesehen abgeführt, wodurch die Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ auf einen höheren Wert als 5,9 K ansteigt.

Als Gegenmaßnahmen können ein hydraulischer Abgleich, ein Druckregler oder ein bewusster Überdruck eingesetzt werden, bei dem der Mindestvolumenstrom im Primärteil bei der Inbetriebnahme eingestellt wird. Störsammelungen und Strömungswächter sind grundsätzlich empfohlen.

8.5 Schritt 5, Rückkühler

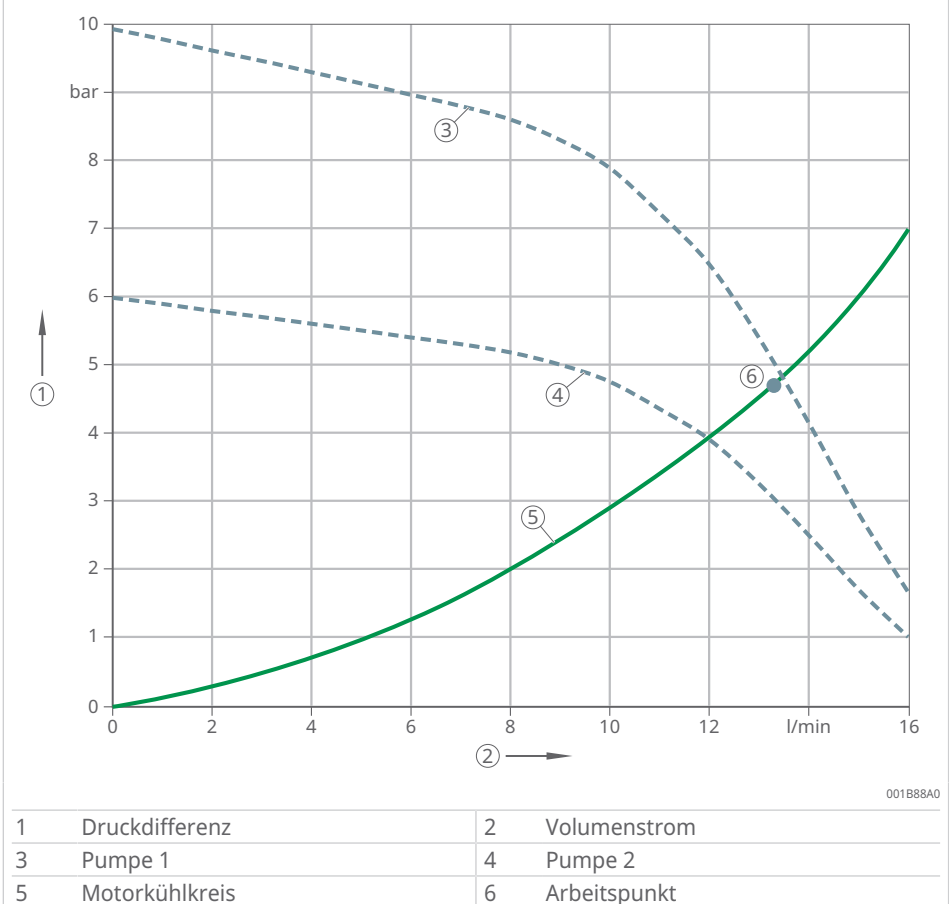
Basierend auf den berechneten Daten und Anforderungen ergeben sich im Beispiel folgende Eckpunkte für einen Kühler:

- Kühlleistung: 5360 W
- Arbeitsdruck: 4,7 bar bei Volumenstrom 13,2 l/min
- Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf: etwa 6,4 K

Eine mögliche Pumpen-Kennlinie zeigt das Diagramm ▶37 | 21. Der berechnete Arbeitspunkt ist zum besseren Verständnis in Verbindung mit der Druckdifferenz-Kennlinie des Motorkühlkreises dargestellt. Kennlinien der einzelnen Baugruppen wie Primärteilkühlung und Sekundärteilkühlung, welche entsprechend der Verschaltung und Konfiguration zusammengefasst wurden, befinden sich im Motordatenbereich ▶62 | 12.

Basierend auf dem Arbeitspunkt bei 4,7 bar und einem Volumenstrom von 13,2 l/min kann die passende Kühleroption ermittelt werden. Mit Pumpe 1 sind die Anforderungen erfüllt. Es stellt sich ein Arbeitspunkt von etwa 4,7 bar bei 13,2 l/min ein. Bei schwächeren Pumpen würde der gewünschte Arbeitspunkt nicht erreicht und der Volumenstrom würde sich reduzieren, hier auf nur ca. 10 l/min. Pumpenhersteller geben in der Regel Empfehlungen und Projektierungshinweise, die der Anwender beachten und einhalten muss.

21 Mögliche Pumpen-Kennlinien eines Rückkühlers



9 Anordnung von Motoren

9.1 Parallelbetrieb mehrerer Motoren auf einer Achse

Das Verteilen der Motorkraft auf mehrere Motoren ist bei einigen Anwendungen sinnvoll. 2 Anordnungen sind möglich: die parallele Tandem-Anordnung und die antiparallele, d. h. spiegelbildliche Janus-Anordnung der Primärteile. Die Primärteile werden durch die Montage auf einem Schlitten einer Achse mechanisch gekoppelt. Vor der Planung des Parallelbetriebs muss Schaeffler Industrial Drives kontaktiert werden.

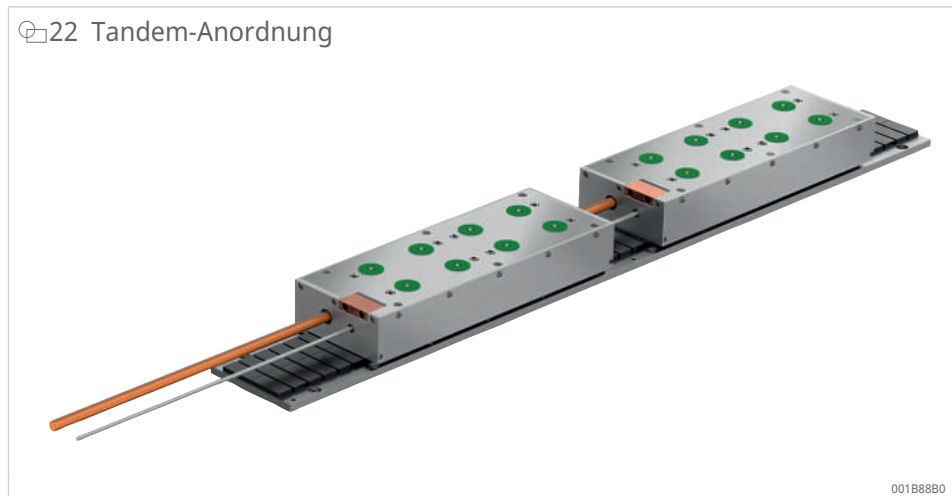
9.2 Primärteilausrichtung

Primärteile sind in Längsachse fluchtend zur Symmetrieachse auszurichten. Ein Querversatz ist nicht zulässig. Der Anwender muss sicherstellen, dass die parallelen Motoren gleichphasig zueinander ausgerichtet sind. Eine andere Ausrichtung verringert Kraftkonstante und Wirkungsgrad geschwindigkeitsabhängig aufgrund induzierter Kurzschlussströme.

9.3 Master und Slave

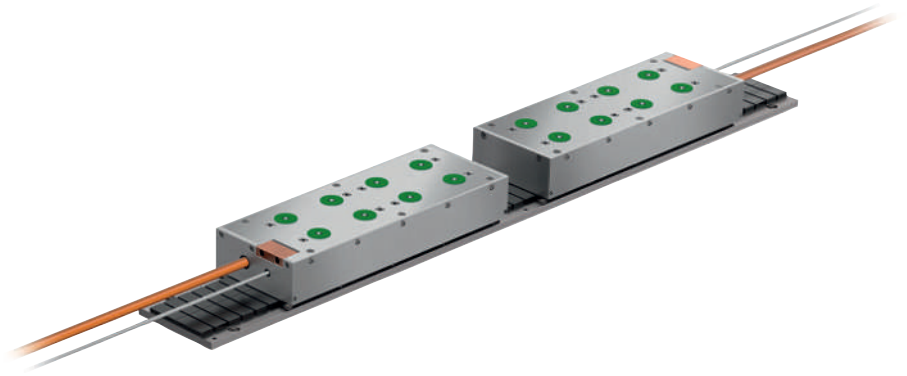
Der erste Motor bei der Verwendung von mehreren Motoren auf einer Achse wird als **Master** bezeichnet. Dieser Motor gibt die positive Verfahrrichtung der Achse vor. Jeder weitere Motor wird als **Slave** bezeichnet. Folgende mechanische Konfigurationen können aufgrund dieser Festlegung realisiert werden:

☞ 22 Tandem-Anordnung



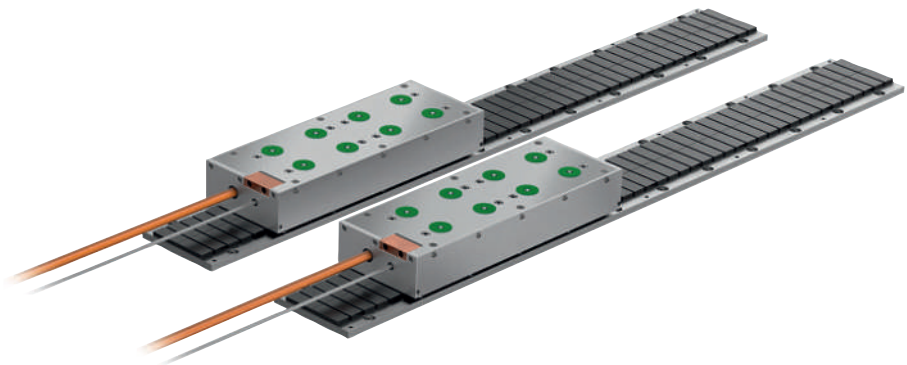
00188880

23 Janus-Anordnung



001B88D0

24 Parallel-Anordnung



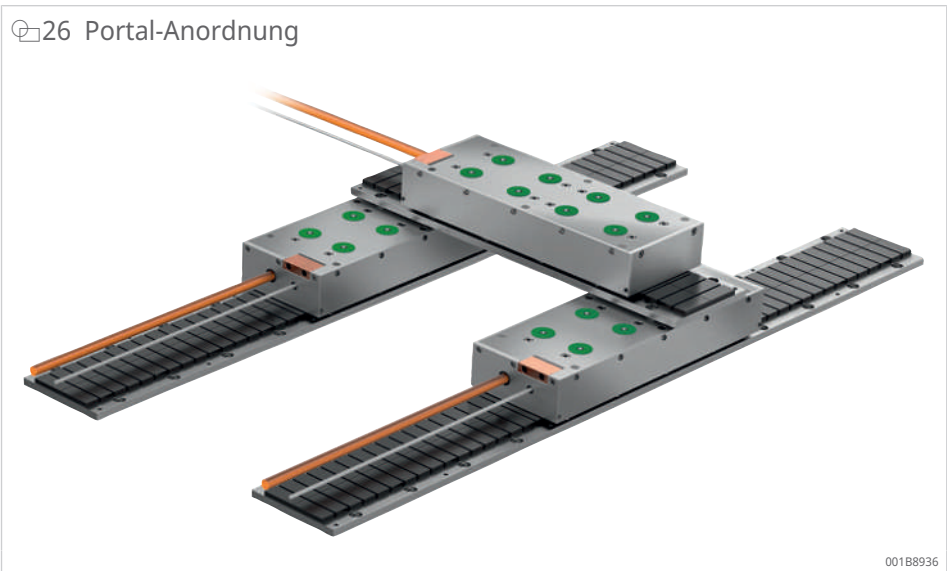
001B88F0

25 Antiparallel-Anordnung



001B8910

26 Portal-Anordnung



001B8936

10 Motorauswahl, Beispiel

10.1 Anwendungsbeispiel

Dieses Beispiel beschreibt das Kurzhub-Schleifen der Befestigungsstruktur, auch *Tannenbaumprofil* genannt, am Fußteil einer Laufschaufel.

Die zu schleifende Fläche hat eine Länge von 100 mm. Jede Seite des Bauteils wird in 20 Doppelhüben bearbeitet. Für eine wirtschaftliche Produktion ist pro Schleifhub eine Zykluszeit von $t_{\text{tot}} = 0,4$ s erforderlich.

27 Turbinenschaufeln montiert in einem Triebwerk



10

Zielsetzung

Minimale Total Cost of Ownership (TCO): höhere Produktivität und geringere Stückkosten, einschließlich niedriger CO₂-Kosten und Energiekosten

10.2 Bewegungszyklus

Der Bewegungsablauf besteht aus 3 aufeinanderfolgenden Positionierbewegungen mit abschließender Bewegungspause.

Schritt 1, (acc):

Der Motor beschleunigt die Masse m mit der Kraft F unter Abzug der Schlittenverschiebekraft F_{RV} und der Losbrechkraft F_L auf v_{work} .

Schritt 2, (work):

Das Werkstück fährt mit konstanter Geschwindigkeit v_{work} , wird bearbeitet und erreicht den Endpunkt der Bearbeitung. Bei der Bewegung muss der Motor nur die Schlittenverschiebekraft F_{RV} und die Bearbeitungskraft F_{grind} überwinden.

Schritt 3, (dec):

Der Motor bremst den Werkstückträger mit der Kraft F_{dec} mit Unterstützung der Schlittenverschiebekraft F_{RV} auf $v = 0$.

Schritt 4, (stop):

Der Motor steht still, bis die Schleifscheibe nachgestellt bzw. aus der Bahn gefahren wurde.

Nach Schritt 4 fährt der Motor in die Ausgangsposition und das Werkstück wird dabei bearbeitet.

Bewegungszyklus, Eckdaten

Aus der Werkstückgeometrie ergibt sich der Arbeitshub zu $s_{work} = 100 \text{ mm}$. Um die geforderte Oberflächenqualität zu erreichen, muss sich die verwendete Schleifscheibe mit einer Bearbeitungsgeschwindigkeit v_{work} von $1,66 \text{ m/s}$ über das Werkstück bewegen. Während der Bearbeitung wirkt eine Bearbeitungskraft F_{grind} von 20 N . Vor dem nächsten Arbeitshub benötigt die Schleifmaschine $t_{stop} = 0,06 \text{ s}$, um die Schleifscheibe nachzustellen. Die max. zur Verfügung stehende Zeit für einen Fertigungszyklus: Zykluszeit $t_{tot} = 0,4 \text{ s}$.

12 Eckdaten für Beispiel

Bezeichnung	Symbol	Wert	Bemerkung
Arbeitshub	s_{work}	0,1 m	-
Bearbeitungsgeschwindigkeit	v_{work}	1,66 m/s	-
Pausenzeit	t_{stop}	0,06 s	-
Zykluszeit	t_{tot}	0,4 s	max.

Die Zeit für Schritt 4 ist bekannt. Die Strecke und Geschwindigkeit für Schritt 2 sind bekannt. Die Zeit für Schritt 2 ergibt sich aus:

f15

$$t_{work} = \frac{s_{work}}{v_{work}}$$

s_{work}	m	Arbeitshub
t_{work}	s	Bearbeitungszeit
v_{work}	m/s	Bearbeitungsgeschwindigkeit

f16

$$t_{work} = \frac{0,1 \text{ m}}{1,66 \text{ m/s}} = 0,06 \text{ s}$$

Die Summe aus Schritt 2 und Schritt 4 ist $0,12 \text{ s}$.

Die Zeitdauer für Schritt 1 und Schritt 3 ist identisch. Somit ergibt sich:

f17

$$t_{acc} = t_{dec} = \frac{t_{tot} - t_{stop} - t_{work}}{2}$$

t_{acc}	s	Zeit für Beschleunigung
t_{dec}	s	Zeit für Abbremsen
t_{stop}	s	Pausenzeit
t_{tot}	s	Zykluszeit
t_{work}	s	Bearbeitungszeit

f18

$$t_{acc} = t_{dec} = \frac{0,4 \text{ s} - 0,06 \text{ s} - 0,06 \text{ s}}{2} = 0,14 \text{ s}$$

Alle Zeiten und Geschwindigkeiten sind bekannt. Dargestellt als Tabelle ergibt sich:

13 Bewegungszyklus

Symbol	Einheit	Schritt 1 (acc)		Schritt 2 (work)		Schritt 3 (dec)		Schritt 4 (stop)	
		Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende
Δt	s	-	0,14 ¹⁾	-	0,06 ²⁾	-	0,14 ³⁾	-	0,06 ⁴⁾
t	s	0	0,14	0,14	0,2	0,2	0,34	0,34	0,4
v	m/s	0	1,66	1,66	1,66	1,66	0	0	0

1) t_{acc} : Zeit für Beschleunigung

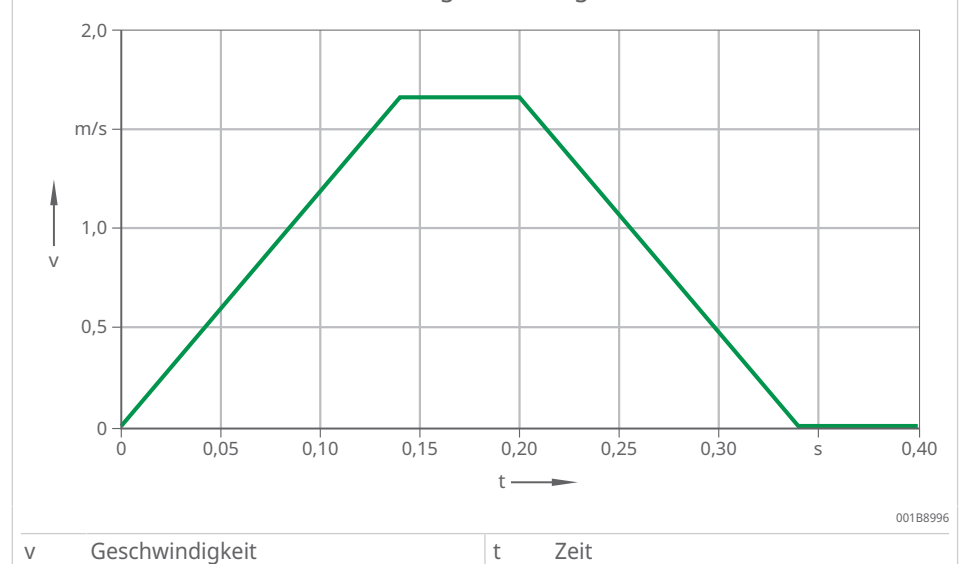
2) t_{work} : Bearbeitungszeit

3) t_{dec} : Zeit für Abbremsen

4) t_{stop} : Pausenzeit

Es empfiehlt sich, den gewünschten Bewegungszyklus darzustellen, um ggf. kritische Punkte zu identifizieren.

28 Zeitlicher Verlauf der Verfahrgeschwindigkeit



10.3 Notwendige Beschleunigung

Die Beschleunigung zur Erreichung der Arbeitsgeschwindigkeit v_{work} innerhalb einer bestimmten Zeit kann mittels des möglichen Wegs und der vorgegebenen Zeit berechnet werden:

f.19

$$a = \frac{2s}{t^2}$$

Da aber nur die Geschwindigkeit v_{work} und Zeit t_{acc} gegeben sind, kann die erforderliche Beschleunigung wie folgt errechnet werden:

f120

$$a_{acc} = \frac{v_{work}}{t_{acc}}$$

a_{acc}	m/s^2	Beschleunigung
t_{acc}	s	Zeit für Beschleunigung
v_{work}	m/s	Bearbeitungsgeschwindigkeit

f121

$$a_{acc} = \frac{1,66}{0,14} = 11,86 \text{ m/s}^2$$

Die Tabelle wird um die nun bekannte Beschleunigung erweitert:

14 Bewegungszyklus

Symbol	Einheit	Schritt 1 (acc)		Schritt 2 (work)		Schritt 3 (dec)		Schritt 4 (stop)	
		Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende
Δt	s	-	0,14 ¹⁾	-	0,06 ²⁾	-	0,14 ³⁾	-	0,06 ⁴⁾
t	s	0	0,14	0,14	0,2	0,2	0,34	0,34	0,4
v	m/s	0	1,66	1,66	1,66	1,66	0	0	0
a	m/s^2	11,86	11,86	0	0	-11,86	-11,86	0	0

- 1) t_{acc} : Zeit für Beschleunigung
- 2) t_{work} : Bearbeitungszeit
- 3) t_{dec} : Zeit für Abbremsen
- 4) t_{stop} : Pausenzeit

10.4 Beschleunigungsweg

Der Beschleunigungsweg s_{acc} entspricht auch dem Bremsweg s_{dec} und berechnet sich mit der Beschleunigung $a_{acc} = 11,86 \text{ m/s}^2$ und der Zeit $t_{acc} = 0,14 \text{ s}$.

f122

$$s_{acc} = \frac{1}{2} \cdot a_{acc} \cdot t_{acc}^2$$

a_{acc}	m/s^2	Beschleunigung
s_{acc}	m	Beschleunigungsweg
t_{acc}	s	Zeit für Beschleunigung

f123

$$s_{acc} = \frac{1}{2} \cdot 11,86 \cdot 0,14^2 = 0,116 \text{ m}$$

Die Tabelle wird um die nun bekannten Positionen erweitert:

15 Bewegungszyklus

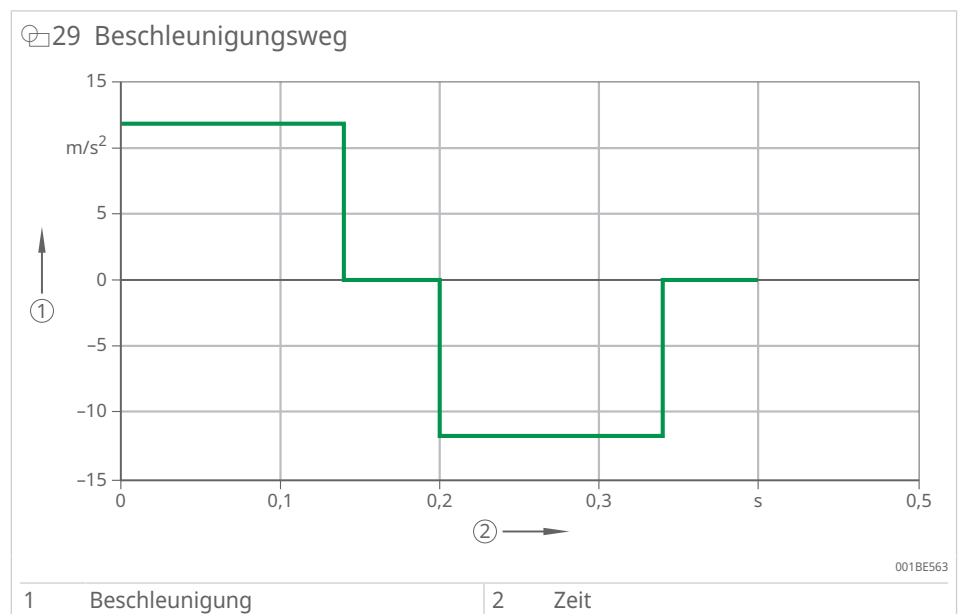
Symbol	Einheit	Schritt 1 (acc)		Schritt 2 (work)		Schritt 3 (dec)		Schritt 4 (stop)	
		Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende
Δt	s	-	0,14 ¹⁾	-	0,06 ²⁾	-	0,14 ³⁾	-	0,06 ⁴⁾
t	s	0	0,14	0,14	0,2	0,2	0,34	0,34	0,4
v	m/s	0	1,66	1,66	1,66	1,66	0	0	0
a	m/s ²	11,86	11,86	0	0	-11,86	-11,86	0	0
Position	m	0	0,116	0,116	0,216	0,216	0,332	0,332	0,332

1) t_{acc} : Zeit für Beschleunigung

2) t_{work} : Bearbeitungszeit

3) t_{dec} : Zeit für Abbremsen

4) t_{stop} : Pausenzeit

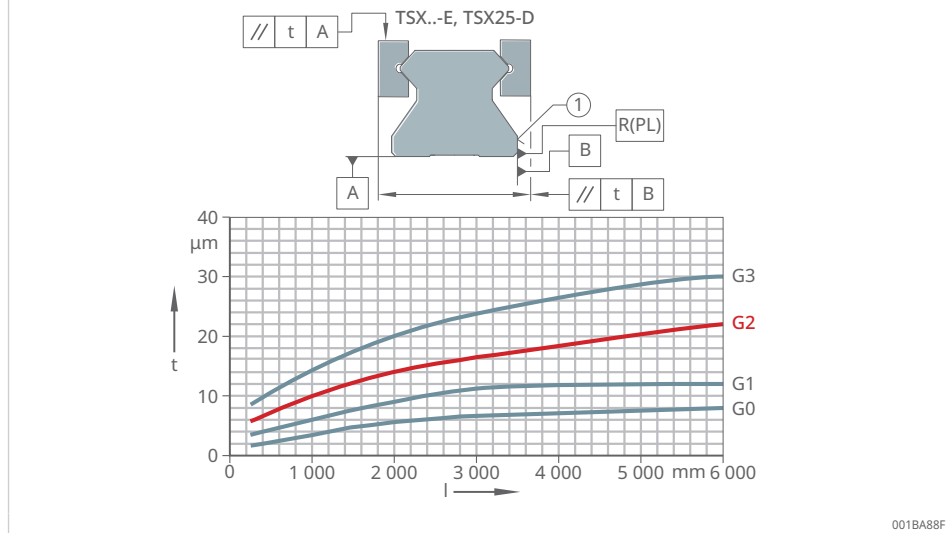


10.5 Führung, Masse und Reibung

Ein Führungssystem wird benötigt, um den Luftspalt zwischen Primärteil und Sekundärteil konstant zu halten. Die Auswahl einer geeigneten Linearführung erfolgt entsprechend den Anforderungen der Anwendung. Besonders Genauigkeitsklasse und Abdichtung der Führungswagen haben einen Einfluss auf die spätere Verschiebekraft und Losbrechkraft. Erwartete Verfahrensgeschwindigkeiten, Beschleunigung und Anziehungskraft zwischen Primärteil und Sekundärteil müssen ebenfalls beachtet werden.

Rollenumlaufführungen sind ein gut geeignetes Führungssystem für direkt angetriebene Schleifachsen. Für das Beispiel wird eine Kombination aus 4 Führungswagen RUE25-E-L auf 2 Führungsschienen TSX25-D gewählt. Die Kombination ermöglicht Parallelitätstoleranzen von 4 μm bei G0-Ausführung, 6 μm bei G1-Ausführung und 10 μm bei G2-Ausführung. Reibwerte und Losbrechwerte ergeben sich aus Genauigkeitsklasse und Führungstyp.

30 Genauigkeitsklassen und Parallelitätstoleranzen der Führungsschienen



10

Der notwendige Hub ($s_{\text{acc}} + s_{\text{work}} + s_{\text{dec}}$) summiert sich auf 332 mm. In der Praxis werden auf der Maschine diverse Bauteile bearbeitet. Daher wird eine Maschine mit einem Hub von 600 mm verwendet.

Die Länge der Führungsschiene ist die Summe aus dem Hub von 600 mm + einem angenommenen Wagenabstand von 300 mm. Im Beispiel wird die Länge der Führungsschiene daher mit 900 mm angenommen.

Weitere Informationen

PF 1 | Profilschienenführungen |
Diese Publikation ist bei Schaeffler erhältlich.

10.5.1 Reibung

Die Reibkräfte und Losbrechkräfte ergeben sich aus der Genauigkeitsklasse und sind stark abhängig von den gewählten Führungswagen und Führungsschienen. Bei der Auslegung der Linearführung wurden die erwarteten Verschiebekräfte mit $F_{\text{ca}} = 13 \text{ N}$ je Führungswagen angenommen:

f_{124}

$$F_{\text{RV}} = n \cdot F_{\text{ca}}$$

F_{RV}	N	Schlittenverschiebekraft
F_{ca}	N	Verschiebekraft pro Führungswagen
n	-	Anzahl Führungswagen

f_{125}

$$F_{\text{RV}} = 4 \cdot 13 = 52 \text{ N}$$

Zu diesem Wert kommt noch die Losbrechkraft F_{L} hinzu, die bis zu 40 % der Verschiebekraft betragen kann.

f126

$$F_L = 0,4 \cdot F_{RV}$$

F_L	N	Losbrechkraft
F_{RV}	N	Schlittenverschiebekraft

f127

$$F_L = 0,4 \cdot 52 = 20,8 \text{ N}$$

Die Losbrechkraft tritt immer nur sehr kurz auf, wenn die Achse sich in Bewegung setzt.

10.5.2 Masse

Werkstück, Werkstückträger mit 4 Führungswagen und Kabelschlepp haben eine Masse von etwa 200 kg. Die Masse des Motors ergibt sich im ersten Schritt durch die pauschale Wahl eines Motors mittlerer Größe, der in die Konstruktion passt. Für die erste Berechnung wird die Masse des gewählten Motors von 20 kg verwendet. Nach der endgültigen Auswahl wird dann mit der Masse des zu verwendenden Motors nachberechnet. Um das Beispiel zu vereinfachen, wurden u. a. die Massen von Faltenbalg oder Teleskopabdeckung und Kühlflüssigkeit im Motor vernachlässigt.

10

f128

$$m = m_P + m_{part}$$

m	kg	bewegte Masse
m_P	kg	Masse des Primärteils
m_{part}	kg	Masse Werkstück, Werkstückträger, Führungswagen und Kabelschlepp

f129

$$m = 20 + 200 = 220 \text{ kg}$$

10.6 Kräfte bei Beschleunigung

Die Beschleunigungskraft F_{acc} kann mit der Masse ▶47 | 10.5.2 und der notwendigen Beschleunigung ▶44 | f121 berechnet werden:

f130

$$F_{acc} = m \cdot a_{acc}$$

a_{acc}	m/s^2	Beschleunigung
F_{acc}	N	Beschleunigungskraft, ohne Reibung
m	kg	bewegte Masse

f131

$$F_{acc} = 220 \cdot 11,86 = 2609 \text{ N}$$

Die vom Motor zu erbringende Gesamtkraft während der Beschleunigung $F_{\text{acc tot}}$ setzt sich zusammen aus der für die Bewegung erforderlichen Beschleunigungskraft F_{acc} , der Schlittenverschiebekraft F_{RV} und der Losbrechkraft F_{L} :

f132

$$F_{\text{acc tot}} = F_{\text{acc}} + F_{\text{RV}} + F_{\text{L}}$$

F_{acc}	N	Beschleunigungskraft, ohne Reibung
$F_{\text{acc tot}}$	N	Beschleunigungskraft, inkl. Reibung
F_{L}	N	Losbrechkraft
F_{RV}	N	Schlittenverschiebekraft

f133

$$F_{\text{acc tot}} = 2609 + 52 + 20,8 = 2682 \text{ N}$$

10.7 Kräfte bei Bearbeitung

Während der Bearbeitung beträgt die Beschleunigung 0 m/s^2 . Bei diesem Arbeitsschritt muss für die Beschleunigung keine Kraft aufgewendet werden. Es wirken lediglich die Schlittenverschiebekraft F_{RV} sowie die Bearbeitungskraft F_{grind} .

f134

$$F_{\text{work}} = F_{\text{RV}} + F_{\text{grind}}$$

F_{grind}	N	Bearbeitungskraft
F_{RV}	N	Schlittenverschiebekraft
F_{work}	N	Kraft bei konstanter Geschwindigkeit

f135

$$F_{\text{work}} = 52 + 20 = 72 \text{ N}$$

10.8 Kräfte bei Verzögerung

Die während der Verzögerung wirkende Kraft F_{dec} setzt sich aus der Beschleunigungskraft F_{acc} und der Schlittenverschiebekraft F_{RV} zusammen. Die Reibungskraft unterstützt die Verzögerung.

f136

$$F_{\text{dec}} = F_{\text{acc}} - F_{\text{RV}}$$

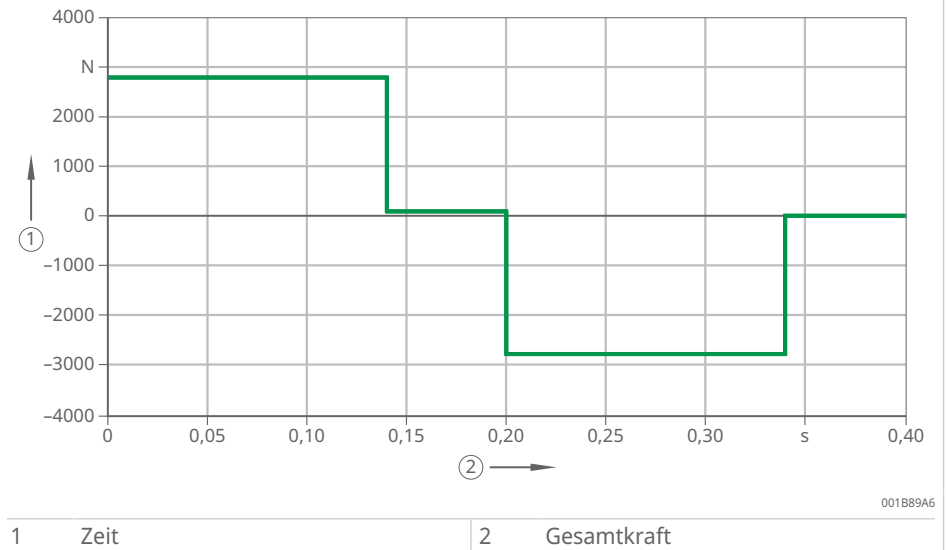
F_{acc}	N	Beschleunigungskraft, ohne Reibung
F_{dec}	N	Bremskraft
F_{RV}	N	Schlittenverschiebekraft

f137

$$F_{\text{dec}} = 2609 - 52 = 2557 \text{ N}$$

Es empfiehlt sich, den Kraftverlauf grafisch darzustellen, um ggf. kritische Punkte zu identifizieren.

31 Zeitlicher Verlauf der Gesamtkraft



Die Tabelle wird um den nun bekannten Gesamtkraftverlauf erweitert:

16 Bewegungszyklus

Symbol	Einheit	Schritt 1 (acc)		Schritt 2 (work)		Schritt 3 (dec)		Schritt 4 (stop)	
		Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende
Δt	s	-	0,14 ¹⁾	-	0,06 ²⁾	-	0,14 ³⁾	-	0,06 ⁴⁾
t	s	0	0,14	0,14	0,2	0,2	0,34	0,34	0,4
v	m/s	0	1,66	1,66	1,66	1,66	0	0	0
a	m/s ²	11,86	11,86	0	0	-11,86	-11,86	0	0
Position	m	0	0,116	0,116	0,216	0,216	0,332	0,332	0,332
F _{tot}	N	2682	2682	72	72	-2557	-2557	0	0

- 1) t_{acc}: Zeit für Beschleunigung
- 2) t_{work}: Bearbeitungszeit
- 3) t_{dec}: Zeit für Abbremsen
- 4) t_{stop}: Pausenzeit

10.9 Sicherheitsfaktor

Ungenauigkeiten bei der ersten Abschätzung, elektrische und nichtlineare Effekte erfordern bei der dynamischen Auslegung eines Linearmotors die Nutzung eines Sicherheitsfaktors. Ebenso liefert der Sicherheitsfaktor eine Kraftreserve, um unvorhergesehene Gegenkräfte und Fehlfunktionen zu kompensieren.

Zur Motorauswahl über die Effektivkraft wird ein Sicherheitsfaktor von SF_{eff} = 1,25 genutzt.

f138

$$F_{\text{safe eff}} = F_{\text{eff}} \cdot SF_{\text{eff}} < F_{\text{cw}}$$

F _{cw}	N	Nennkraft, gekühlt
F _{eff}	N	Effektivkraft
F _{safe eff}	N	Effektivkraft, inkl. Sicherheitsfaktor
SF _{eff}	-	Sicherheitsfaktor für Effektivkraftbewertung

Zur Motorauswahl über Spitzenkraft wird ein Sicherheitsfaktor von $SF_{acc} = 1,4$ genutzt.

f139

$$F_{safe\ acc} = F_{acc\ tot} \cdot SF_{acc} < F_p$$

$F_{acc\ tot}$	N	Beschleunigungskraft, inkl. Reibung
F_p	N	Spitzenkraft
$F_{safe\ acc}$	N	Beschleunigungskraft, inkl. Reibung und Sicherheitsfaktor
SF_{acc}	-	Sicherheitsfaktor für Spitzenkraftbewertung

Die beiden Sicherheitsfaktoren berücksichtigen die nachfolgend erklärten Effekte:

- **nichtlineare Effekte in der Kraft-Strom-Kennlinie**

Die für die Motorauswahl erforderliche Effektivkraft F_{eff} gilt nur für den linearen Bereich des Motors ►14 | 4.4. Im nichtlinearen Bereich wird mehr Strom benötigt, um eine Kraft zu erzeugen. Der Wert der Kraftkonstante k_f sinkt. Die erzeugte Verlustleistung steigt quadratisch. SF_{acc} begrenzt den Einfluss der Sättigung und SF_{eff} berücksichtigt die Sättigung in der Effektivkraftberechnung.

- **Einfluss der Motorinduktivität und elektrischen Zeitkonstante**

In einer Dynamikberechnung ohne Ruckbegrenzung wird ein unendlich schneller Anstieg der Beschleunigung angenommen. In der Realität verzögern allerdings die Motorinduktivität und die elektrische Zeitkonstante die Stromanstiegsgeschwindigkeit und somit die Kraftänderung des Motors. Typische Werte sind 15 ms bis 20 ms pro Positionierung.

- **Berücksichtigung durch SF_{acc}**

Dieser Einfluss kann durch die Nutzung des Sicherheitsfaktors SF_{acc} berücksichtigt werden. Dadurch weist der Motor eine höhere Kraftreserve auf, um zeitliche Verzögerungen durch eine höhere Beschleunigung auszugleichen.

- **Berücksichtigung durch Zeitzuschlag**

Alternativ kann pro Positioniervorgang die elektrische Zeitkonstante abgezogen werden. Je kürzer die Positioniervorgänge sind, desto größer ist der Einfluss der elektrischen Zeitkonstante.

- **Toleranzen und fertigungsbedingte Schwankungen**

Toleranzbereich der Datenblattwerte: $\pm 10\%$.



Wird der Sicherheitsfaktor SF_{acc} reduziert, muss der Sicherheitsfaktor SF_{eff} erhöht werden.

Für die max. Geschwindigkeit v_{work} ist keine Sicherheit erforderlich, da ein Sicherheitsfaktor zu einer enormen Überdimensionierung führt. Nur bei Frequenzumrichtern mit nicht stabilisierter Zwischenkreisspannung ist ein Sicherheitsfaktor für die Geschwindigkeit erforderlich ►13 | 4.3. In diesem Beispiel der Motorauswahl wird ein Frequenzumrichter mit stabilisierter Zwischenkreisspannung verwendet.

10.10 Erforderliche Effektivkraft

Die Effektivkraft bildet einen komplexen Zyklus in einem Wert ab. Dieser Wert entspricht einer Einschaltzeit von 100 % und erzeugt im linearen Bereich genau so viel Wärme wie der Zyklus. Die Effektivkraft ist ein Wert für die Motorauswahl und wird folgendermaßen berechnet:

f.40

$$F_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{t_{\text{tot}}} \left(F_{\text{acc tot}}^2 \cdot t_{\text{acc}} + F_{\text{work}}^2 \cdot t_{\text{work}} + F_{\text{dec}}^2 \cdot t_{\text{dec}} \right)}$$

$F_{\text{acc tot}}$	N	Beschleunigungskraft, inkl. Reibung
F_{dec}	N	Bremskraft
F_{eff}	N	Effektivkraft
F_{work}	N	Kraft bei konstanter Geschwindigkeit
t_{acc}	s	Zeit für Beschleunigung
t_{dec}	s	Zeit für Abbremsen
t_{tot}	s	Zykluszeit
t_{work}	s	Bearbeitungszeit

10

f.41

$$F_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{0,4} \left(2682^2 \cdot 0,14 + 72^2 \cdot 0,06 + (-2557)^2 \cdot 0,14 \right)} = 2192 \text{ N}$$

Durch die Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors SF_{eff} ►49 | f.38 errechnet sich die für die Auswahl des Motors erforderliche Kraft $F_{\text{safe eff}}$.

f.42

$$F_{\text{safe eff}} = F_{\text{eff}} \cdot SF_{\text{eff}}$$

F_{eff}	N	Effektivkraft
$F_{\text{safe eff}}$	N	Effektivkraft, inkl. Sicherheitsfaktor
SF_{eff}	-	Sicherheitsfaktor für Effektivkraftbewertung

f.43

$$F_{\text{safe eff}} = 2192 \cdot 1,25 = 2740 \text{ N}$$

10.11 Erforderliche Spitzenkraft

f.44

$$F_{\text{safe acc}} = F_{\text{acc tot}} \cdot SF_{\text{acc}}$$

$F_{\text{acc tot}}$	N	Beschleunigungskraft, inkl. Reibung
$F_{\text{safe acc}}$	N	Beschleunigungskraft, inkl. Reibung und Sicherheitsfaktor
SF_{acc}	-	Sicherheitsfaktor für Spitzenkraftbewertung

f.45

$$F_{\text{safe acc}} = 2682 \cdot 1,4 = 3755 \text{ N}$$

10.12 Motorauswahl

Folgende Kriterien bestimmen die Motorauswahl:

- Kriterium 1: Spitzenkraft F_p**
 Die für die Beschleunigung nötige Kraft $F_{safe\ acc}$ von 3755 N muss kleiner als F_p des Motors sein $\blacktriangleright 50 | \text{f}139$.
- Kriterium 2: Dauerkraft F_{cw}**
 Die Effektivkraft inkl. Sicherheitsfaktor $F_{safe\ eff}$ von 2740 N muss kleiner als F_{cw} des Motors sein $\blacktriangleright 49 | \text{f}138$.
- Kriterium 3: Verfahrensgeschwindigkeit im Arbeitspunkt**
 Die max. Geschwindigkeit $v_{work} = 1,66\text{ m/s}$ muss bei zugehöriger Kraft $F_{acc\ tot} = 2682\text{ N}$ und zugehöriger Zwischenkreisspannung U_{DCL} möglich sein.

Zunächst wird die Zwischenkreisspannung geprüft und die zugehörige Grenzgeschwindigkeit bestimmt. Danach werden die beiden folgenden Optionen geprüft:

Fall 1: $F_{acc\ tot} > F_{cw}$

Es wird geprüft, ob v_{work} kleiner v_{Ip} ist.

Fall 2: $F_{acc\ tot} < F_{cw}$

Es wird geprüft, ob v_{work} kleiner v_{Iw} ist.

Ist die Prüfung von Fall 1 oder Fall 2 nicht erfolgreich, so kann der Arbeitspunkt $F_{acc\ tot} = 2682\text{ N}$ bei v_{work} mithilfe der Kraft-Geschwindigkeits-Kennlinie bei entsprechender Zwischenkreisspannung geprüft werden.

Im vorliegenden Fall liegt ein Frequenzumrichter mit stabilisierter Zwischenkreisspannung in Höhe von $U_{DCL} = 600\text{ V}$ vor. Es darf daher ohne Sicherheit gearbeitet werden und es gelten die Werte v_{Ip600} und v_{Iw600} .

Folgende Motoren erfüllen die Anforderungen:

17 Motoren

Motor	Spitzenkraft F_p ¹⁾	Nennkraft F_{cw} ²⁾	Verlustleistung P_{Iw} ³⁾	Motor-konstante k_m	Grenzgeschwindigkeit v_{Ip600} ⁴⁾	Grenzgeschwindigkeit v_{Iw600}
	N	N	W	N/ \sqrt{W}	m/s	m/s
L7-3P-500-100-Z2.8H	6078	2700	1556	81	1,9	4,48
L7-3P-350-150-Z1.9H	6078	2760	1442	86	1,36	3,08

1) bei $I_{p\ eff}$

2) bei $I_{cw\ eff}$

3) bei F_{cw}

4) bei $I_{p\ eff}$ und U_{DCL}

Beide Motoren erfüllen das Kriterium 1 ($\blacktriangleright 50 | \text{f}139$).

Der Motor L7-3P-350-150-Z1.9H erfüllt Kriterium 2 ($\blacktriangleright 49 | \text{f}138$), während der Motor L7-3P-500-100-Z2.8H dieses Kriterium ($\blacktriangleright 49 | \text{f}138$) knapp um 1,4 % verfehlt.

11 Bestellbezeichnung

34 L7-Baureihe, Primärteil

L7----- 3P 0350 100 ZX.XH P O M C A 2.0 PRIM N-- Y

Kurzbezeichnung Motor

L7 Linearmotoren-Baureihe

Anzahl der Motorphasen

3P 3-phasig

Baulänge

0350 350 mm
 0500 500 mm
 0650 650 mm

Baubreite

100 100 mm
 150 150 mm
 200 200 mm
 300 300 mm

Wicklungsausführung

ZX.XH Gemäß Katalog/Datenblatt

Temperaturüberwachung

P 1 Pt1000 und 3 PTC
 T 3 Pt1000 und 3 PTC

Kommutierungsart

O Ohne Sensoren, messsystemkommutiert

Ausführungsvariante

M Standard-Einbaukomponenten

Anschlussart

C 4GX-Kabel und separates Sensorkabel

Anschlussrichtung

A Gerade, in Bewegungsrichtung

Kabellänge

2.0 Kabellänge in m

Motorteil

PRIM Primärteil

Leerstelle

Standardartikel (wird von Schaeffler Industrial Drives bestimmt)

Y Standard (Wicklungsausführung, Angebotszeichnung und Lieferzeichnung, Anschlussart und Anschlussrichtung, Temperaturüberwachung)
 N Kein Standard

001B89E6

11

35 L7-Baureihe, Sekundärteil



Kurzbezeichnung Motor

L7 Linearmotoren-Baureihe

Anzahl der Motorphasen

3P 3-phasig

Baulänge

0184 184 mm

Baubreite

- 100 100 mm
- 150 150 mm
- 200 200 mm
- 300 300 mm

Leerstelle

Leerstelle

Leerstelle

Ausführungsvariante

- M Standard, ohne Verguss
- P Gekapselt, mit Verguss

Leerstelle

Leerstelle

Motorteil

SEK Sekundärteil

Magnetkonfiguration

N Standard

Standardartikel (wird von Schaeffler Industrial Drives bestimmt)

- Y Standard
- N Kein Standard

001B89E7

36 L7-Baureihe, Sekundärteilzubehör: Kühlprofil

L7----- N- 0164 N-- N---- N N M S1 - N.N CP-- N-- Y

Kurzbezeichnung Motor
L7 Linearmotoren-Baureihe

Leerstelle

Baulänge
0164 Benötigte Länge in mm

Leerstelle

Leerstelle

Leerstelle

Leerstelle

Verbindungsart
M Standard, Kupplung

Profilausführung
S1 Einstrangig, passend für Baubreiten 100 und 150 mm
D1 Zweistrangig, passend für Baubreite 200 mm
D2 Zweistrangig, passend für Baubreite 300 mm

Leerstelle

Leerstelle

Bauteil
CP Kühlprofil

Leerstelle

Standardartikel (wird von Schaeffler Industrial Drives bestimmt)
Y Zeichnung ist Standard
N Kein Standard

001889E8

Die Länge der Kühlprofile wird mit einer Formel berechnet ▶60 | 11.2.

11

37 L7-Baureihe, Sekundärteilzubehör: Sekundärteilabdeckung

	L7-----	N-	1960	100	N----	N	N	M	N-	N.N	COV-	N--	Y
Kurzbezeichnung Motor	L7												
	Linearmotoren-Baureihe												
Leerstelle													
Baulänge			1960										
			Benötigte Länge in mm, max. Länge = 5000 mm										
Baubreite				100									
				100 mm									
				150 mm									
				200 mm									
				300 mm									
Leerstelle													
Leerstelle													
Leerstelle													
Ausführungsvariante								M					
								Standard, durchgehendes Abdeckband					
Leerstelle													
Leerstelle													
Bauteil											COV		
											Sekundärteilabdeckung		
Leerstelle													
Standardartikel (wird von Schaeffler Industrial Drives bestimmt)													Y
													Zeichnung ist Standard
													N
													Kein Standard

001B89E9

Die Länge der benötigten Sekundärteilabdeckung wird mit einer Formel berechnet ►59|11.1.

38 L7-Baureihe, Sekundärteilzubehör: Endstücke

L7----- N- N--- 100 N---- N N MC N N.N END- N-- Y

Kurzbezeichnung Motor
L7 Linearmotoren-Baureihe

Leerstelle

Leerstelle

Baubreite

- 100 100 mm
- 150 150 mm
- 200 200 mm
- 300 300 mm

Leerstelle

Leerstelle

Leerstelle

Ausführungsvariante

- MC Nur für die Befestigung eines durchgehenden Abdeckbands
- KM Nur für den Anschluss von Kühlprofilen
- KC Für den Anschluss von Kühlprofilen und für die Befestigung eines durchgehenden Abdeckbands

Leerstelle

Leerstelle

Bauteil

- END Endstück

Leerstelle

Standardartikel (wird von Schaeffler Industrial Drives bestimmt)

- Y Zeichnung ist Standard
- N Kein Standard

11

11.1 Länge des Abdeckbands

Mit der folgenden Formel wird die Länge des benötigten Abdeckbands errechnet:

$$f_{46}$$

$$L_{CS} = (N_S \cdot 184) + 120$$

L_{CS}	mm	Länge des Abdeckbands
N_S	-	Anzahl der Sekundärteile

118 Länge des Abdeckbands

Anzahl Sekundärteile N_S	Länge des Abdeckbands	Produktschlüssel
-	mm	-
1	304	0304
2	488	0488
3	672	0672
4	856	0856
5	1040	1040
6	1224	1224
7	1408	1408
8	1592	1592
9	1776	1776
10	1960	1960
11	2144	2144
12	2328	2328
13	2512	2512
14	2696	2696
15	2880	2880
16	3064	3064
17	3248	3248
18	3432	3432
19	3616	3616
20	3800	3800
21	3984	3984
22	4168	4168
23	4352	4352
24	4536	4536
25	4720	4720
26	4904	4904
x ¹⁾	5000	5000

1) x: Standardrolle zum Selbstablängen, Vorzugsprodukt

11.2 Kühlprofillänge

Mit der folgenden Formel wird die Länge der Kühlprofile errechnet:

f147

$$L_{CP} = (N_S \cdot 184) - 20$$

L_{CP}	mm	Länge der Kühlprofile
N_S	-	Anzahl der Sekundärteile

19 Kühlprofillänge

Anzahl Sekundärteile N_S	Benötigte Kühlprofillänge	Produktschlüssel
-	mm	-
1	164	0164
2	348	0348
3	532	0532
4	716	0716
5	900	0900
6	1084	1084
7	1268	1268
8	1452	1452
9	1636	1636
10	1820	1820
11	2004	2004
12	2188	2188
13	2372	2372
14	2556	2556
15	2740	2740
16	2924	2924
x ¹⁾	3000	3000

¹⁾ x: Standardprofile zum Selbstablängen, Vorzugsprodukt

12 Technische Daten

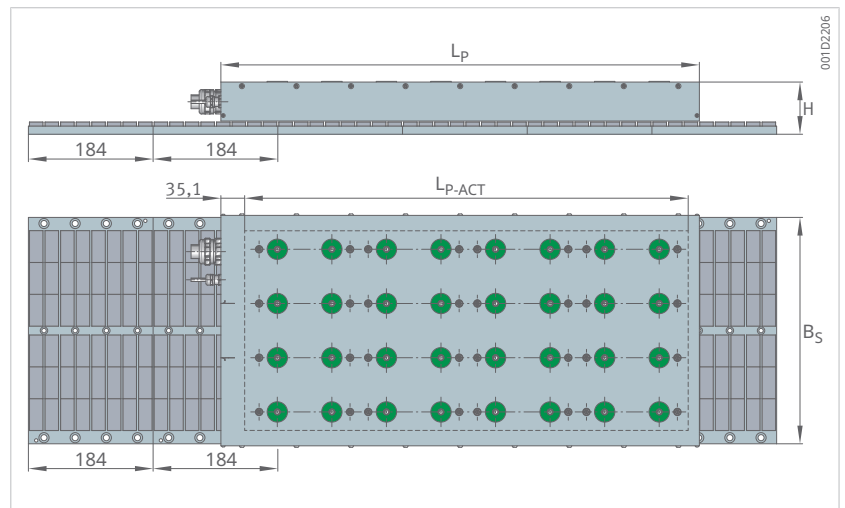
12.1 Erläuterungen

$2\tau_p$	-	Polpaarweite
B_S	mm	Breite des Sekundärteils
dV/dt	l/min	Volumenstrom
F_a	N	Anziehungskraft
F_c	N	Nennkraft, auch Dauerkraft genannt, ungekühlt
F_{cog}	N	Rastkraft bei $I = 0$
F_{cw}	N	Nennkraft, gekühlt
F_p	N	Spitzenkraft
F_{sw}	N	Stillstandskraft, gekühlt
F_u	N	Grenzkraft
H	mm	Höhe, ohne Sekundärteilkühlung
$I_{c\ eff}$	A	effektiver Nennstrom, ungekühlt
$I_{cw\ eff}$	A	effektiver Nennstrom, gekühlt
$I_{p\ eff}$	A	effektiver Spitzenstrom
$I_{sw\ eff}$	A	effektiver Stillstandsstrom, gekühlt
$I_{u\ eff}$	A	effektiver Grenzstrom
k_f	N/A	Kraftkonstante
k_m	N/ \sqrt{W}	Motorkonstante Linearmotoren
$k_{\dot{u}}$	V/(m/s)	Gegenspannungskonstante, Ph zu Ph
L	mH	Induktivität, Ph zu Ph
L_{CP}	mm	Länge der Kühlprofile
L_P	mm	Länge des Primärteils
L_{P-ACT}	mm	magnetisch aktive Länge
m_{EP1}	kg	Masse des Sekundärteils mit Kühlung und Abdeckband
m_{EP2}	kg	Masse des Sekundärteils, nur mit Abdeckband
m_{EP3}	kg	Masse des Sekundärteils, nur mit Kühlung (kg)
m_P	kg	Masse des Primärteils
m_S	kg	Masse des Sekundärteils, Ausführung M
m_{SP}	kg	Masse des Sekundärteils, Ausführung P
n_{CP}	-	Anzahl der Bohrungsabstände im Kühlprofil
N_S	-	Anzahl der Sekundärteile
P_{Ic}	W	Verlustleistung bei F_c
P_{Ip}	W	Verlustleistung bei F_p
P_{Iw}	W	Verlustleistung bei F_{cw}
R_{20}	Ω	elektrischer Widerstand bei +20 °C, Ph zu Ph
U_{DCL}	V	Zwischenkreisspannung
$v_{Ip\ 300}$	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\ eff}$ und $U_{DCL} = 300\ V$
$v_{Ip\ 600}$	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\ eff}$ und $U_{DCL} = 600\ V$
$v_{Iw\ 300}$	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\ eff}$ und $U_{DCL} = 300\ V$
$v_{Iw\ 600}$	m/s	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\ eff}$ und $U_{DCL} = 600\ V$
Δp	bar	Druckdifferenz
$\Delta\vartheta$	K	Temperaturdifferenz des Kühlwassers
ϑ_{nf}	°C	Nenn-Vorlauftemperatur
ϑ_{PTC}	°C	Abschaltsschwelle der Motortemperatur

Toleranzbereich der Werte: $\pm 10\ \%$.

Verbindliche Daten und Zeichnungen werden auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Für die Motorauslegung empfehlen wir die Unterstützung unserer Ingenieure.

12.2 Vorauswahl



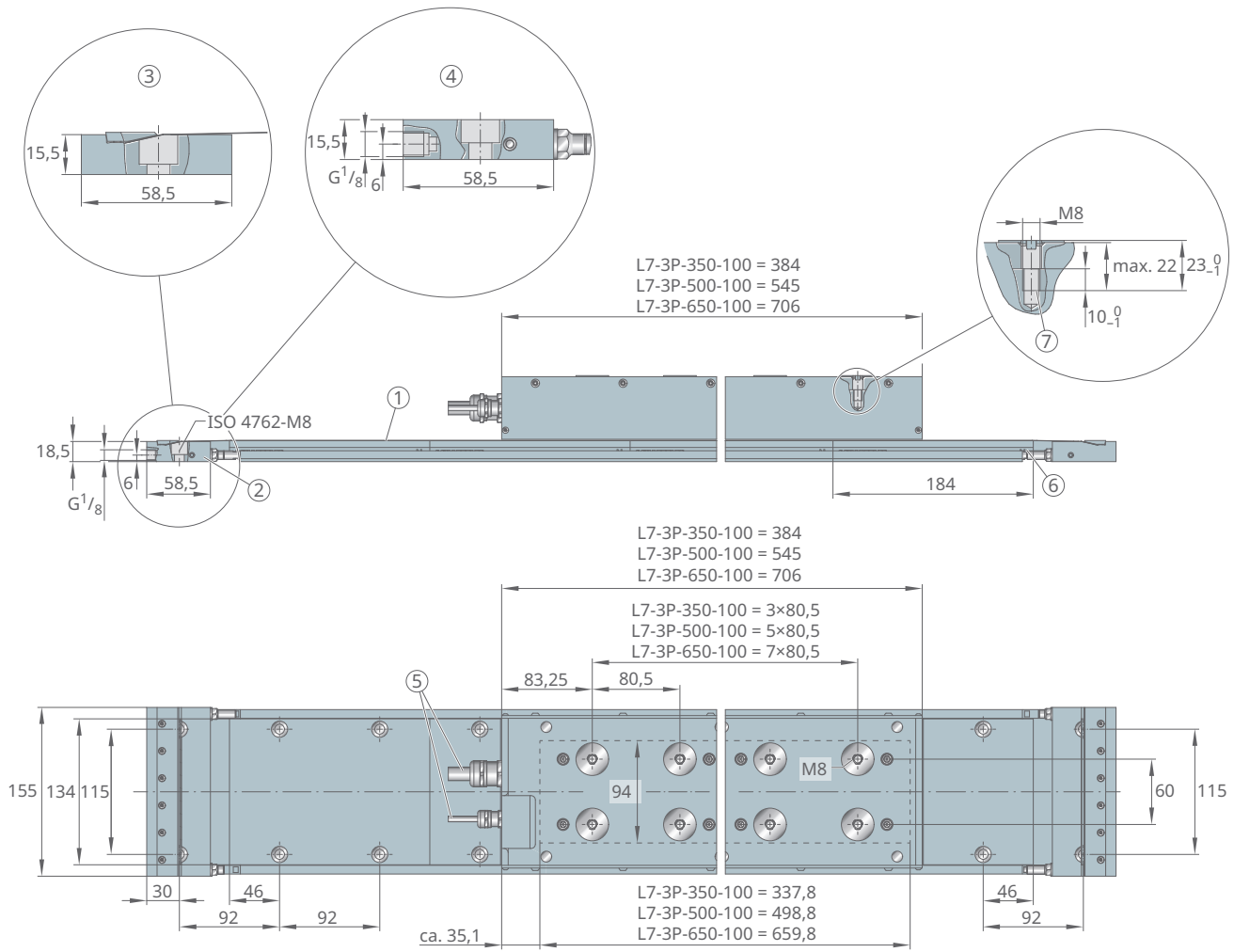
Abmessungen

20 Daten für Vorauswahl

Baugröße	Wicklung	F _p	F _{cw}	V _{ip600}	V _{ip300}	I _{p eff}	I _{cw eff}	L _p	B _s	H	L _{p-ACT}	m _p
-	-	N	N	m/s	m/s	A	A	mm	mm	mm	mm	kg
350-100	Z1.9H	4052	1813	1,95	0,82	52,5	17,3	384	134	76	337,8	15
500-100	Z2.8H	6078	2700	1,90	0,80	78,7	25,7	545	134	76	498,8	21
650-100	Z2.7H	8104	3638	1,40	0,54	79,7	26,3	706	134	76	659,8	27
350-150	Z1.9H	6078	2760	1,36	0,51	52,5	17,5	384	180	78	337,8	21
500-150	Z2.8H	9117	4111	1,36	0,51	78,7	26,1	545	180	78	498,8	30
650-150	Z2.7H	12157	5539	0,98	0,30	79,7	26,7	706	180	78	659,8	39
350-200	Z2.8H	8104	3727	1,36	0,53	72,7	24,6	384	240	76	337,8	28
500-200	Z2.8H	12157	5535	0,92	0,28	78,7	26,3	545	240	76	498,8	41
650-200	Z3.8H	16209	7385	1,20	0,44	130,5	43,7	706	240	76	659,8	53
350-300	Z2.8H	12157	5667	0,88	0,27	72,7	24,9	384	334	78	337,8	40
500-300	Z2.8H	18235	8415	0,56	0,03	78,7	26,7	545	334	78	498,8	57
650-300	Z3.8H	24313	11229	0,76	0,20	130,5	44,3	706	334	78	659,8	76

12.3 L7-3P-...-100 Geometrische Daten

39 Geometrische Daten

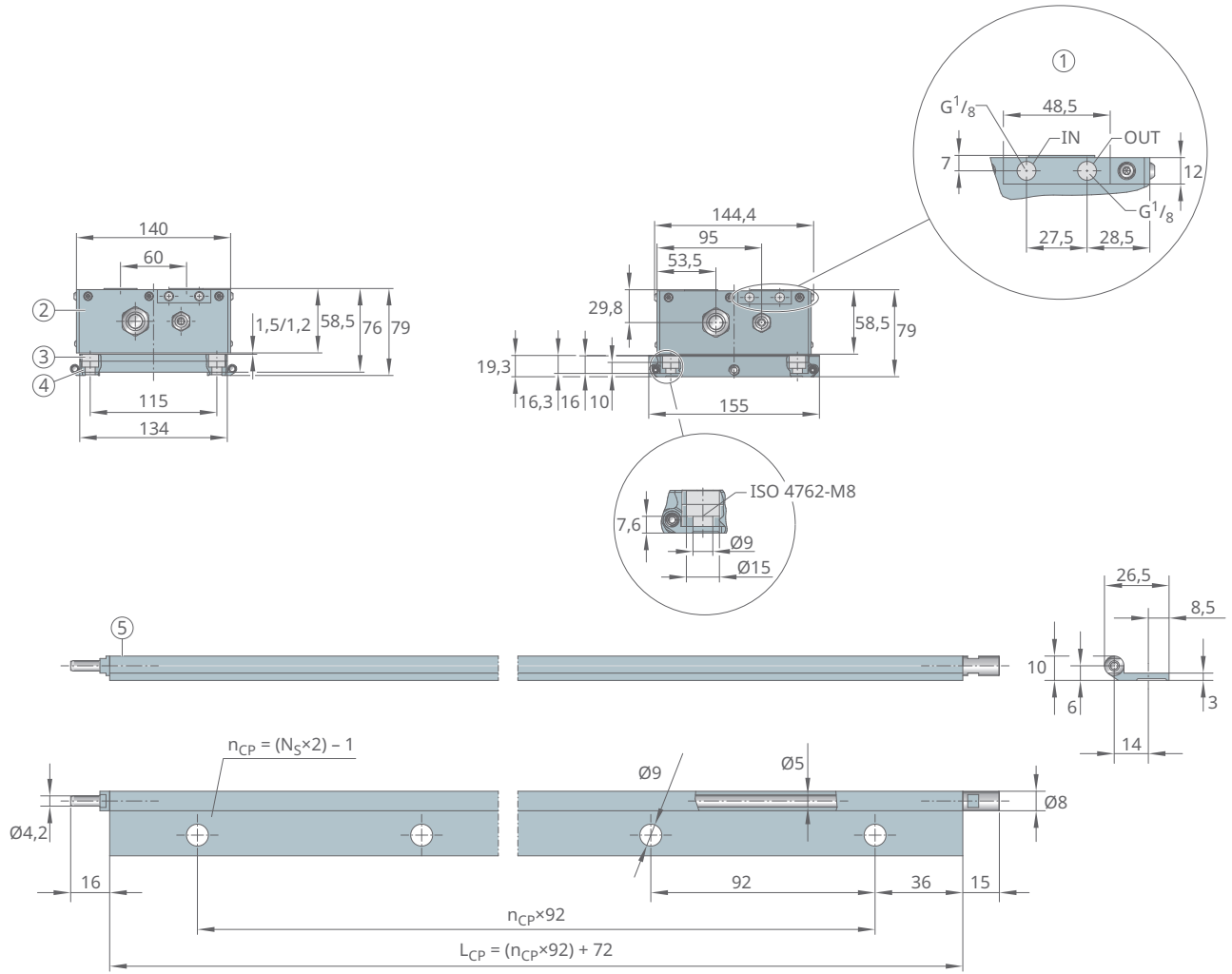


001DC0D2

1	optional: Sekundärteil mit Abdeckband	2	optional: Endstück, mit Kühlung und Abdeckband
3	optional: Endstück, nur mit Abdeckband	4	optional: Endstück, nur mit Kühlung
5	elektrischer Anschluss	6	Lage der Markierung N beachten
7	Primärteil, Einschraubtiefe		

Baugröße				L7-3P-350-100	L7-3P-500-100	L7-3P-650-100
Primärteil		m _P	kg	15	21	27
Sekundärteil	Ausführung M	m _S	kg	2,56	2,56	2,56
	Ausführung P	m _{SP}	kg	2,64	2,64	2,64
Endstücke	mit Kühlung und Abdeckband	m _{EP1}	kg	0,45	0,45	0,45
	nur mit Abdeckband	m _{EP2}	kg	0,372	0,372	0,372
	nur mit Kühlung	m _{EP3}	kg	0,375	0,375	0,375

40 Geometrische Daten



12

001DC0E2

1	Anschlüsse für Wasserkühlung, Eingang und Ausgang	2	Primärteil
3	Sekundärteil	4	optional: Kühlprofil mit Verbinder
5	Kühlprofile sind in einer Länge L_{CP} bis max. 2924 mm als Einzelprofil verfügbar		
L_{CP}	mm	Länge der Kühlprofile	
n_{CP}	-	Anzahl der Bohrungsabstände im Kühlprofil	
N_S	-	Anzahl der Sekundärteile	

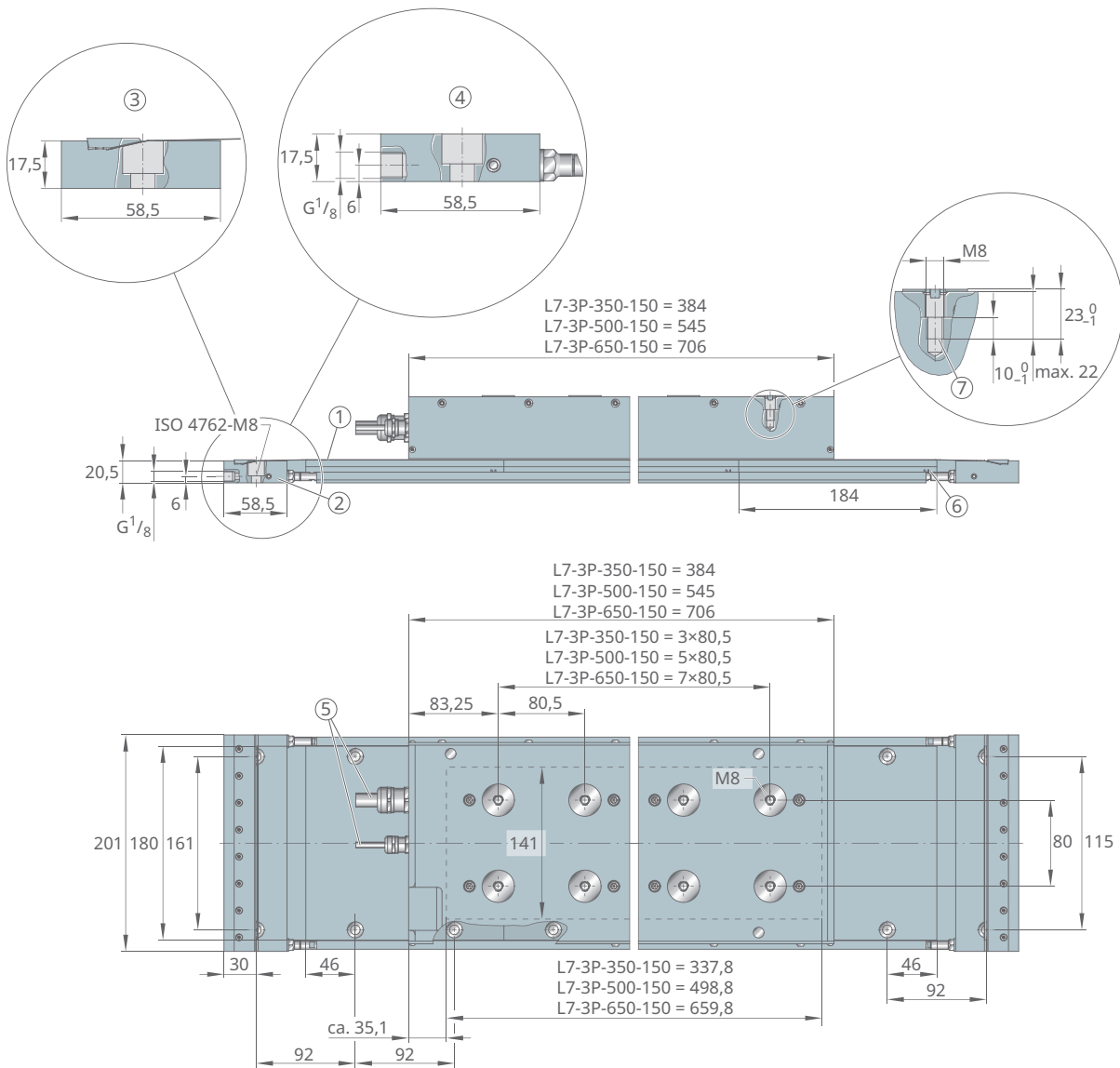
12.4 L7-3P-...-100 Leistungsdaten

Baugröße				350-100
Wicklungsausführung				Z1.9H
Kräfte	Grenzkraft bei $I_{u\text{ eff}}$	F_u	N	4432
	Spitzenkraft bei $I_{p\text{ eff}}$	F_p	N	4052
	Nennkraft, gekühlt bei $I_{cw\text{ eff}}$	F_{cw}	N	1813
	Nennkraft, ungekühlt bei $I_{c\text{ eff}}$	F_c	N	661
	Stillstandskraft, gekühlt bei $I_{sw\text{ eff}}$	F_{sw}	N	1288
	Rastkraft bei $I = 0$	F_{cog}	N	8,10
Geschwindigkeiten	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$	v_{lp600}	m/s	1,95
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$	v_{lw600}	m/s	4,53
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$	v_{lp300}	m/s	0,82
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$	v_{lw300}	m/s	2,08
Ströme	effektiver Grenzstrom	$I_{u\text{ eff}}$	A	65,6
	effektiver Spitzenstrom	$I_{p\text{ eff}}$	A	52,5
	effektiver Nennstrom, gekühlt	$I_{cw\text{ eff}}$	A	17,3
	effektiver Nennstrom, ungekühlt	$I_{c\text{ eff}}$	A	6,17
	effektiver Stillstandsstrom, gekühlt	$I_{sw\text{ eff}}$	A	12,2
Verlustleistungen	Verlustleistung bei F_p	P_{lp}	W	7267
	Verlustleistung bei F_{cw}	P_{lw}	W	1052
	Verlustleistung bei F_c	P_{lc}	W	134
elektrische Kennwerte	Zwischenkreisspannung	U_{DCL}	V	800
	elektrischer Widerstand, Ph zu Ph	R_{20}	Ω	1,76
	Induktivität, Ph zu Ph	L	mH	29,69
	Gegenspannungskonstante, Ph zu Ph	$k_{\dot{u}}$	V/(m/s)	87,7
allgemeine Kennwerte	Polpaarweite	$2\tau_p$	-	46
	Motorkonstante bei +20 °C	k_m	N/ \sqrt{W}	66,1
	Kraftkonstante	k_f	N/A	107,2
	Abschaltschwelle der Motortemperatur	ϑ_{PTC}	°C	110
	Anziehungskraft	F_a	N	6205
Kühlbedingungen	Kühlwasserdurchfluss	dV/dt	l/min	4,0
	Nenn-Vorlauftemperatur des Kühlwassers	ϑ_{nf}	°C	20
	Temperaturdifferenz des Kühlwassers	$\Delta\vartheta$	K	3,8
	Druckdifferenz	Δp	bar	0,3

500-100	650-100
Z2.8H	Z2.7H
6648	8864
6078	8104
2700	3638
951	1258
1918	2584
12,16	16,21
1,90	1,40
4,48	3,34
0,80	0,54
2,06	1,51
98,4	99,7
78,7	79,7
25,7	26,3
8,87	8,91
18,2	18,6
10900	14128
1556	2059
185	236
800	800
1,17	1,48
20,39	26,51
87,7	115,5
46	46
81,0	94,9
107,2	141,2
110	110
9307	12410
4,5	5,0
20	20
5,0	5,9
0,4	0,6

12.5 L7-3P-...-150 Geometrische Daten

41 Geometrische Daten



001DC2D2

1	optional: Sekundärteil mit Abdeckband	2	optional: Endstück, mit Kühlung und Abdeckband
3	optional: Endstück, nur mit Abdeckband	4	optional: Endstück, nur mit Kühlung
5	elektrischer Anschluss	6	Lage der Markierung N beachten
7	Primärteil, Einschraubtiefe		

Baugröße				L7-3P-350-150	L7-3P-500-150	L7-3P-650-150
Primärteil		m _P	kg	21	30	39
Sekundärteil	Ausführung M	m _S	kg	4,07	4,07	4,07
	Ausführung P	m _{SP}	kg	4,16	4,16	4,16
Endstücke	mit Kühlung und Abdeckband	m _{EP1}	kg	0,645	0,645	0,645
	nur mit Abdeckband	m _{EP2}	kg	0,548	0,548	0,548
	nur mit Kühlung	m _{EP3}	kg	0,546	0,546	0,546

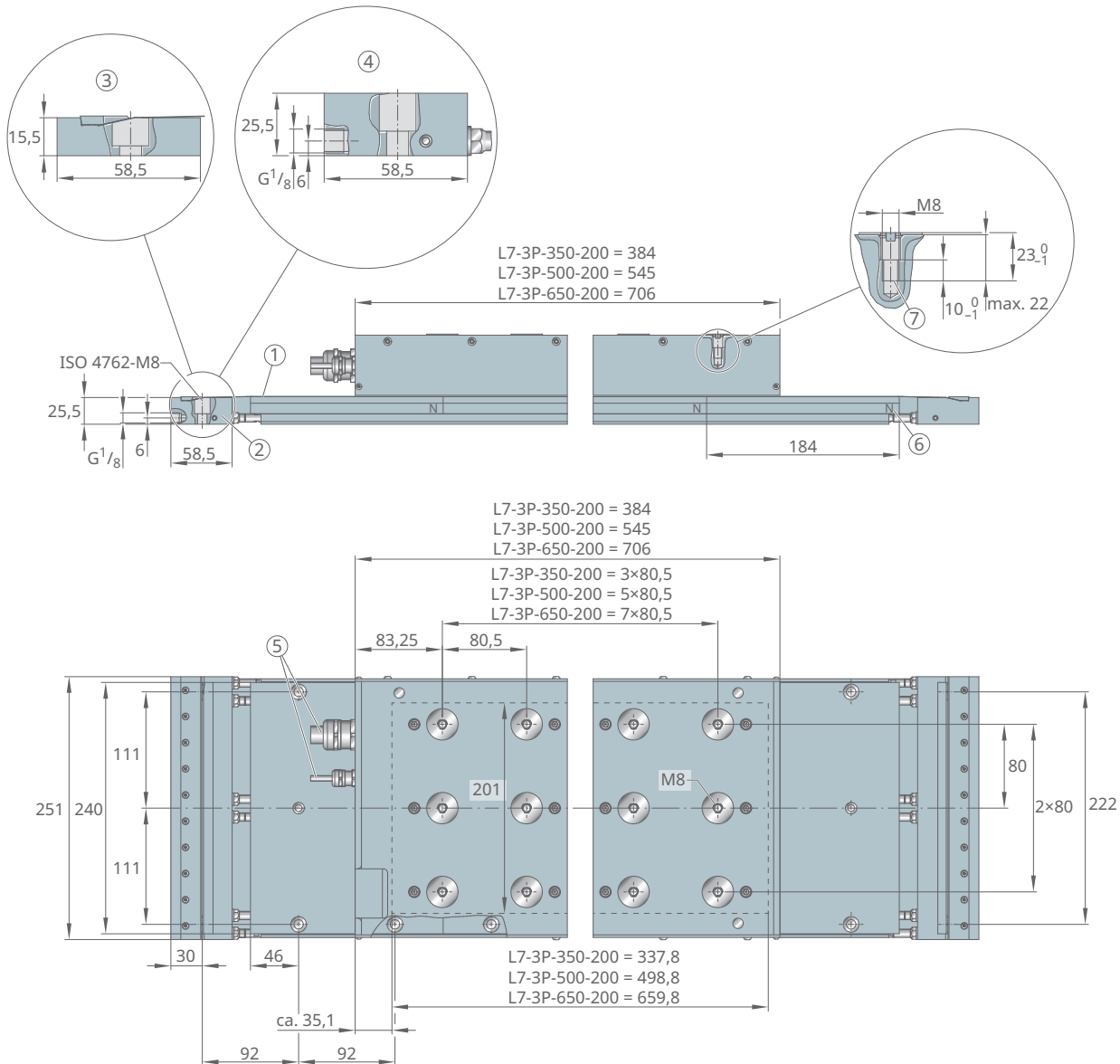
12.6 L7-3P-...-150 Leistungsdaten

Baugröße				350-150
Wicklungsausführung				Z1.9H
Kräfte	Grenzkraft bei $I_{u\text{ eff}}$	F_u	N	6648
	Spitzenkraft bei $I_{p\text{ eff}}$	F_p	N	6078
	Nennkraft, gekühlt bei $I_{cw\text{ eff}}$	F_{cw}	N	2760
	Nennkraft, ungekühlt bei $I_{c\text{ eff}}$	F_c	N	961
	Stillstandskraft, gekühlt bei $I_{sw\text{ eff}}$	F_{sw}	N	1832
	Rastkraft bei $I = 0$	F_{cog}	N	12,16
Geschwindigkeiten	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$	v_{lp600}	m/s	1,36
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$	v_{lw600}	m/s	3,08
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$	v_{lp300}	m/s	0,51
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$	v_{lw300}	m/s	1,38
Ströme	effektiver Grenzstrom	$I_{u\text{ eff}}$	A	65,6
	effektiver Spitzenstrom	$I_{p\text{ eff}}$	A	52,5
	effektiver Nennstrom, gekühlt	$I_{cw\text{ eff}}$	A	17,5
	effektiver Nennstrom, ungekühlt	$I_{c\text{ eff}}$	A	5,97
	effektiver Stillstandsstrom, gekühlt	$I_{sw\text{ eff}}$	A	11,6
Verlustleistungen	Verlustleistung bei F_p	P_{lp}	W	9663
	Verlustleistung bei F_{cw}	P_{lw}	W	1442
	Verlustleistung bei F_c	P_{lc}	W	168
elektrische Kennwerte	Zwischenkreisspannung	U_{DCL}	V	800
	elektrischer Widerstand, Ph zu Ph	R_{20}	Ω	2,34
	Induktivität, Ph zu Ph	L	mH	40,38
	Gegenspannungskonstante, Ph zu Ph	k_u	V/(m/s)	131,5
allgemeine Kennwerte	Polpaarweite	$2\tau_p$	-	46
	Motorkonstante bei +20 °C	k_m	N/ \sqrt{W}	86,0
	Kraftkonstante	k_f	N/A	160,8
	Abschaltschwelle der Motortemperatur	ϑ_{PTC}	°C	110
	Anziehungskraft	F_a	N	9307
Kühlbedingungen	Kühlwasserdurchfluss	dV/dt	l/min	4,0
	Nenn-Vorlauftemperatur des Kühlwassers	ϑ_{nf}	°C	20
	Temperaturdifferenz des Kühlwassers	$\Delta\vartheta$	K	5,2
	Druckdifferenz	Δp	bar	0,5

500-150	650-150
Z2.8H	Z2.7H
9972	13296
9117	12157
4111	5539
1380	1824
2727	3674
18,23	24,31
1,36	0,98
3,09	2,29
0,51	0,30
1,38	0,99
98,4	99,7
78,7	79,7
26,1	26,7
8,58	8,61
17,2	17,6
14495	18788
2131	2821
231	294
800	800
1,56	1,97
26,92	35,00
131,5	173,2
46	46
105,4	123,4
160,8	211,7
110	110
13961	18615
4,5	5,0
20	20
6,8	8,1
0,8	1,2

12.7 L7-3P-...-200 Geometrische Daten

43 Geometrische Daten

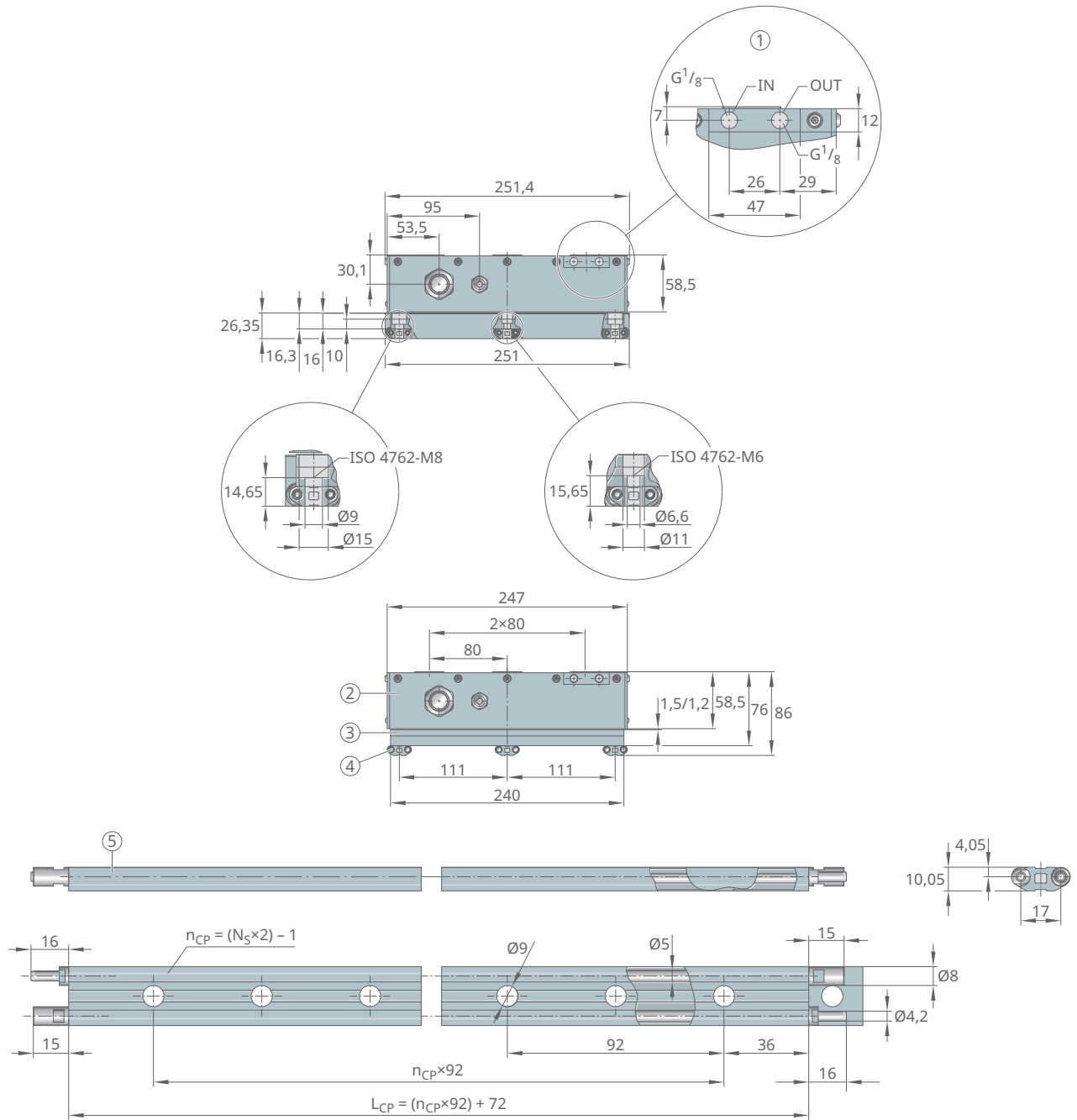


001DC344

1	optional: Sekundärteil mit Abdeckband	2	optional: Endstück, mit Kühlung und Abdeckband
3	optional: Endstück, nur mit Abdeckband	4	optional: Endstück, nur mit Kühlung
5	elektrischer Anschluss	6	Lage der Markierung N beachten
7	Primärteil, Einschraubtiefe		

Baugröße				L7-3P-350-200	L7-3P-500-200	L7-3P-650-200
Primärteil		mp	kg	28	41	53
Sekundärteil	Ausführung M	ms	kg	4,66	4,66	4,66
	Ausführung P	m _{SP}	kg	4,85	4,85	4,85
Endstücke	mit Kühlung und Abdeckband	m _{EP1}	kg	1,033	1,033	1,033
	nur mit Abdeckband	m _{EP2}	kg	0,609	0,609	0,609
	nur mit Kühlung	m _{EP3}	kg	1,026	1,026	1,026

44 Geometrische Daten



001DC348

1	Anschlüsse für Wasserkühlung, Eingang und Ausgang	2	Primärteil
3	Sekundärteil	4	optional: Kühlprofil mit Verbinder
5	Kühlprofile sind in einer Länge L_{CP} bis max. 2924 mm als Einzelprofil verfügbar		

L_{CP}	mm	Länge der Kühlprofile
n_{CP}	-	Anzahl der Bohrungsabstände im Kühlprofil
N_S	-	Anzahl der Sekundärteile

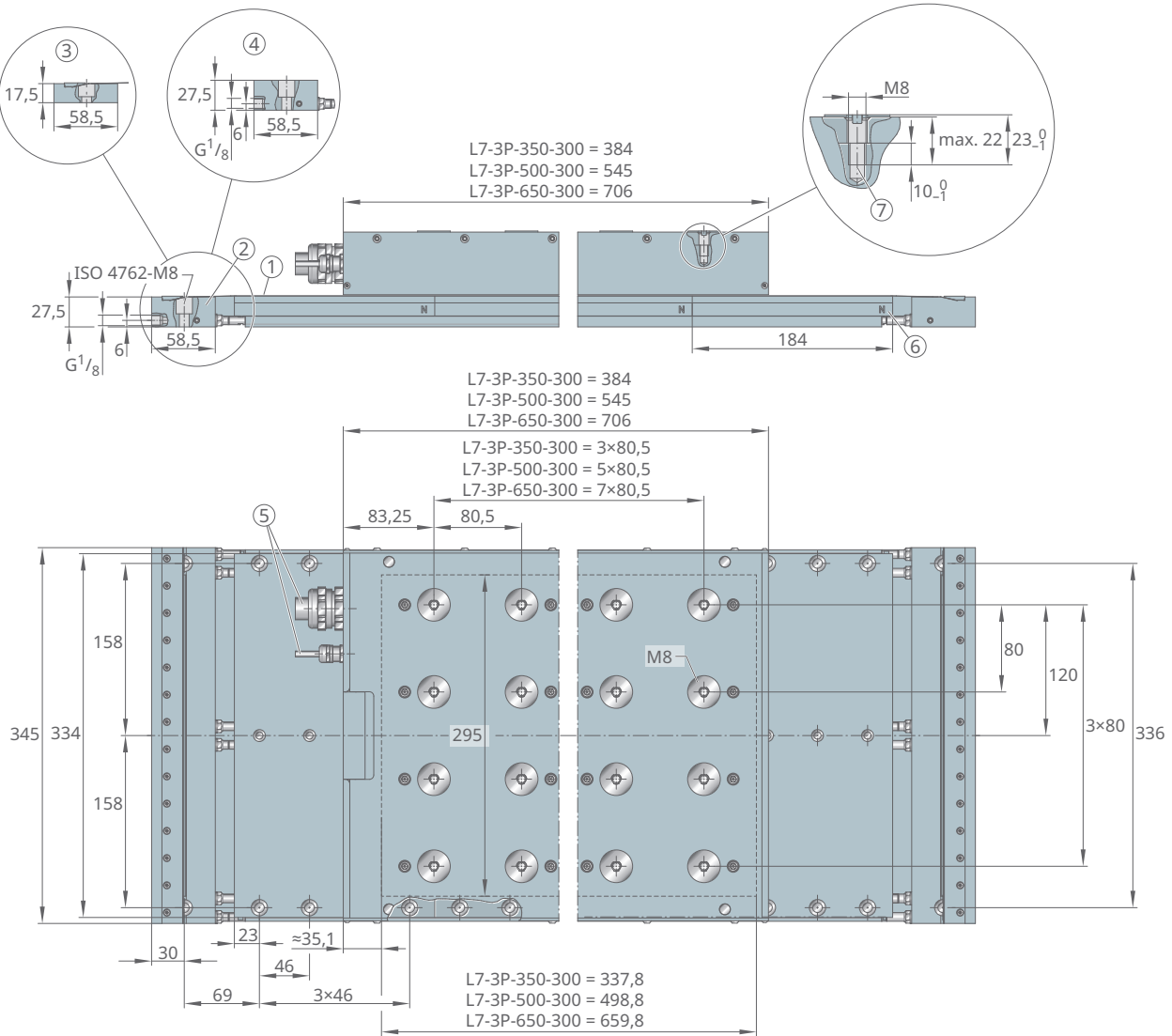
12.8 L7-3P-...-200 Leistungsdaten

Baugröße				350-200
Wicklungsausführung				Z2.8H
Kräfte	Grenzkraft bei $I_{u\text{ eff}}$	F_u	N	8864
	Spitzenkraft bei $I_{p\text{ eff}}$	F_p	N	8104
	Nennkraft, gekühlt bei $I_{cw\text{ eff}}$	F_{cw}	N	3727
	Nennkraft, ungekühlt bei $I_{c\text{ eff}}$	F_c	N	1253
	Stillstandskraft, gekühlt bei $I_{sw\text{ eff}}$	F_{sw}	N	2473
	Rastkraft bei $I = 0$	F_{cog}	N	16,21
Geschwindigkeiten	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$	v_{lp600}	m/s	1,36
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$	v_{lw600}	m/s	3,11
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$	v_{lp300}	m/s	0,53
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$	v_{lw300}	m/s	1,40
Ströme	effektiver Grenzstrom	$I_{u\text{ eff}}$	A	90,8
	effektiver Spitzenstrom	$I_{p\text{ eff}}$	A	72,7
	effektiver Nennstrom, gekühlt	$I_{cw\text{ eff}}$	A	24,6
	effektiver Nennstrom, ungekühlt	$I_{c\text{ eff}}$	A	8,09
	effektiver Stillstandsstrom, gekühlt	$I_{sw\text{ eff}}$	A	16,2
Verlustleistungen	Verlustleistung bei F_p	P_{lp}	W	12648
	Verlustleistung bei F_{cw}	P_{lw}	W	1935
	Verlustleistung bei F_c	P_{lc}	W	210
elektrische Kennwerte	Zwischenkreisspannung	U_{DCL}	V	800
	elektrischer Widerstand, Ph zu Ph	R_{20}	Ω	1,60
	Induktivität, Ph zu Ph	L	mH	29,62
	Gegenspannungskonstante, Ph zu Ph	k_u	V/(m/s)	126,7
allgemeine Kennwerte	Polpaarweite	$2\tau_p$	-	46
	Motorkonstante bei +20 °C	k_m	N/ \sqrt{W}	100,3
	Kraftkonstante	k_f	N/A	154,9
	Abschaltschwelle der Motortemperatur	ϑ_{PTC}	°C	110
	Anziehungskraft	F_a	N	12410
Kühlbedingungen	Kühlwasserdurchfluss	dV/dt	l/min	4,5
	Nenn-Vorlauftemperatur des Kühlwassers	ϑ_{nf}	°C	20
	Temperaturdifferenz des Kühlwassers	$\Delta\vartheta$	K	6,2
	Druckdifferenz	Δp	bar	0,7

500-200	650-200
Z2.8H	Z3.8H
13296	17728
12157	16209
5535	7385
1794	2346
4000	5336
24,31	32,42
0,92	1,20
2,20	2,79
0,28	0,44
0,95	1,24
98,4	163,2
78,7	130,5
26,3	43,7
8,37	13,61
19,0	31,5
19085	25222
2861	3787
289	367
800	800
2,05	0,99
37,84	18,36
175,4	141,1
46	46
122,4	142,0
214,4	172,4
110	110
18615	24820
5,5	6,0
20	20
7,5	9,1
1,4	2,0

12.9 L7-3P-...-300 Geometrische Daten

45 Geometrische Daten

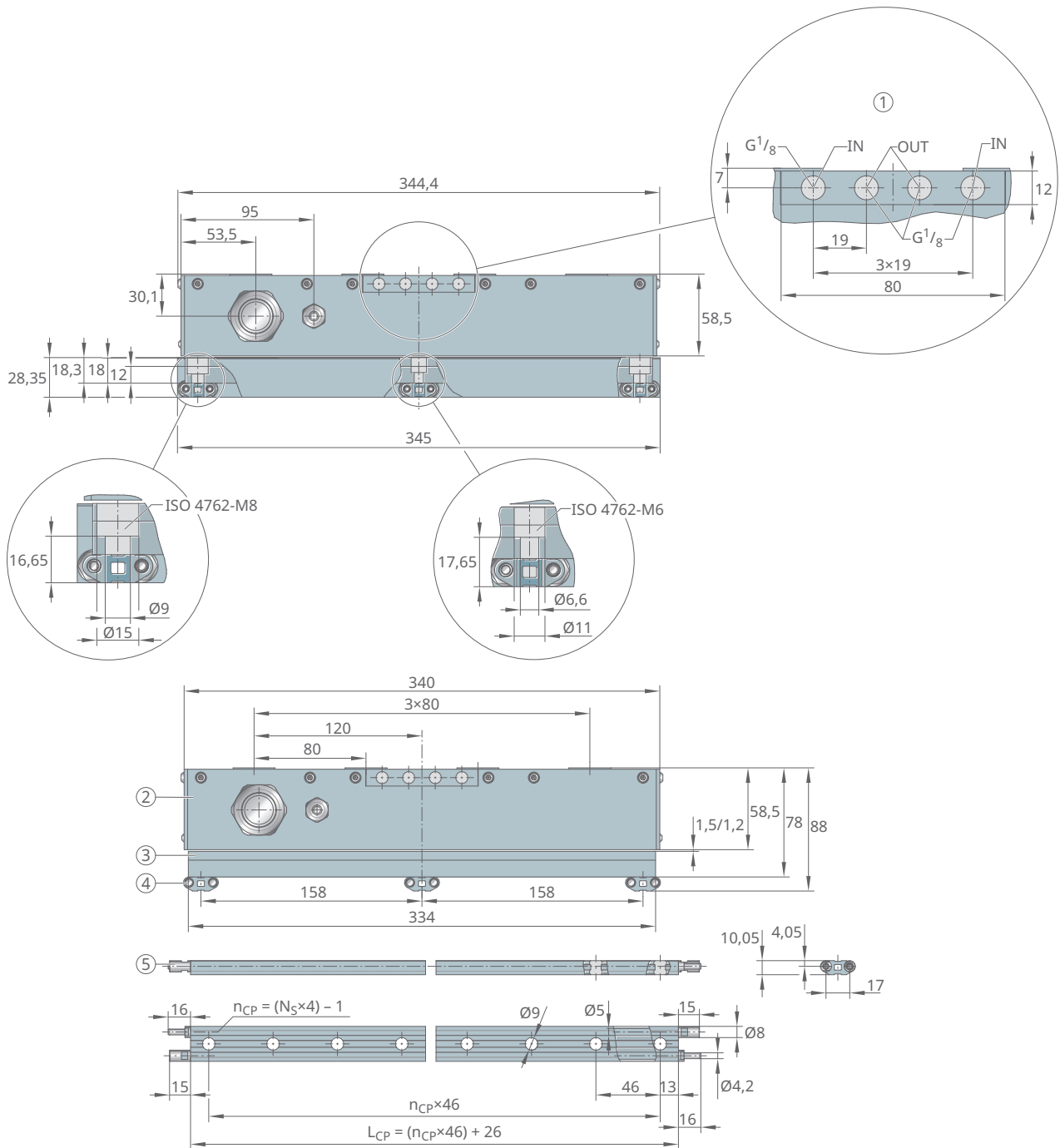


001D6927

1	optional: Sekundärteil mit Abdeckband	2	optional: Endstück, mit Kühlung und Abdeckband
3	optional: Endstück, nur mit Abdeckband	4	optional: Endstück, nur mit Kühlung
5	elektrischer Anschluss	6	Lage der Markierung N beachten
7	Primärteil, Einschraubtiefe		

Baugröße				L7-3P-350-300	L7-3P-500-300	L7-3P-650-300
Primärteil		m _P	kg	40	57	76
Sekundärteil	Ausführung M	m _S	kg	7,5	7,5	7,5
	Ausführung P	m _{SP}	kg	7,7	7,7	7,7
Endstücke	mit Kühlung und Abdeckband	m _{EP1}	kg	1,517	1,517	1,517
	nur mit Abdeckband	m _{EP2}	kg	0,95	0,95	0,95
	nur mit Kühlung	m _{EP3}	kg	1,508	1,508	1,508

46 Geometrische Daten



001D6937

1	Anschlüsse für Wasserkühlung, Eingang und Ausgang	2	Primärteil
3	Sekundärteil	4	optional: Kühlprofil mit Verbinder
5	Kühlprofile sind in einer Länge L_{CP} bis max. 2924 mm als Einzelprofil verfügbar		
L_{CP}	mm	Länge der Kühlprofile	
n_{CP}	-	Anzahl der Bohrungsabstände im Kühlprofil	
N_S	-	Anzahl der Sekundärteile	

12.10 L7-3P-...-300 Leistungsdaten

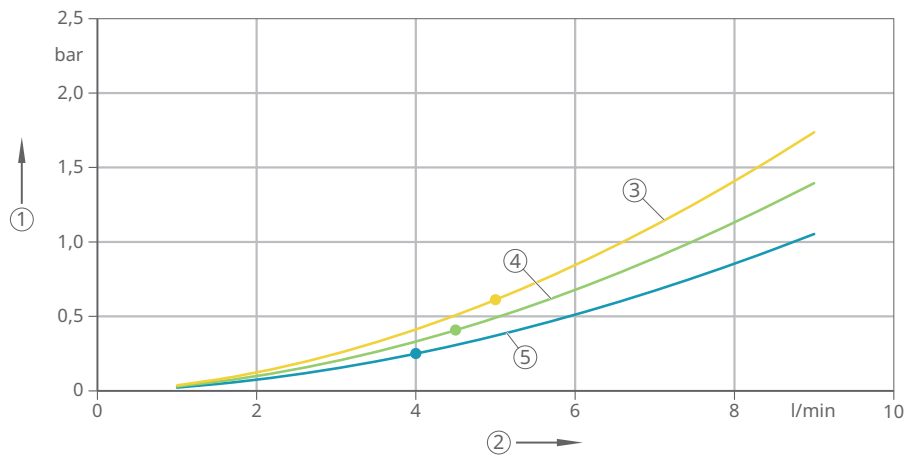
Baugröße				350-300
Wicklungsausführung				Z2.8H
Kräfte	Grenzkraft bei $I_{u\text{ eff}}$	F_u	N	13296
	Spitzenkraft bei $I_{p\text{ eff}}$	F_p	N	12157
	Nennkraft, gekühlt bei $I_{cw\text{ eff}}$	F_{cw}	N	5667
	Nennkraft, ungekühlt bei $I_{c\text{ eff}}$	F_c	N	1838
	Stillstandskraft, gekühlt bei $I_{sw\text{ eff}}$	F_{sw}	N	3759
	Rastkraft bei $I = 0$	F_{cog}	N	24,31
Geschwindigkeiten	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$	v_{lp600}	m/s	0,88
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$	v_{lw600}	m/s	2,04
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$	v_{lp300}	m/s	0,27
	Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$	v_{lw300}	m/s	0,88
Ströme	effektiver Grenzstrom	$I_{u\text{ eff}}$	A	90,8
	effektiver Spitzenstrom	$I_{p\text{ eff}}$	A	72,7
	effektiver Nennstrom, gekühlt	$I_{cw\text{ eff}}$	A	24,9
	effektiver Nennstrom, ungekühlt	$I_{c\text{ eff}}$	A	7,91
	effektiver Stillstandsstrom, gekühlt	$I_{sw\text{ eff}}$	A	16,4
Verlustleistungen	Verlustleistung bei F_p	P_{lp}	W	17414
	Verlustleistung bei F_{cw}	P_{lw}	W	2738
	Verlustleistung bei F_c	P_{lc}	W	277
elektrische Kennwerte	Zwischenkreisspannung	U_{DCL}	V	800
	elektrischer Widerstand, Ph zu Ph	R_{20}	Ω	2,20
	Induktivität, Ph zu Ph	L	mH	42,88
	Gegenspannungskonstante, Ph zu Ph	k_u	V/(m/s)	190,0
allgemeine Kennwerte	Polpaarweite	$2\tau_p$	-	46
	Motorkonstante bei +20 °C	k_m	N/ \sqrt{W}	128,2
	Kraftkonstante	k_f	N/A	232,3
	Abschaltschwelle der Motortemperatur	ϑ_{PTC}	°C	110
	Anziehungskraft	F_a	N	18615
Kühlbedingungen	Kühlwasserdurchfluss	dV/dt	l/min	11,0
	Nenn-Vorlauftemperatur des Kühlwassers	ϑ_{nf}	°C	20
	Temperaturdifferenz des Kühlwassers	$\Delta\vartheta$	K	3,6
	Druckdifferenz	Δp	bar	0,8

500-300	650-300
Z2.8H	Z3.8H
19944	26593
18235	24313
8415	11229
2629	3437
5580	7444
36,47	48,63
0,56	0,76
1,42	1,82
0,03	0,20
0,58	0,78
98,4	163,2
78,7	130,5
26,7	44,3
8,17	13,29
17,6	29,2
26275	34725
4047	5357
379	482
800	800
2,82	1,36
54,78	26,57
263,1	211,6
46	46
156,5	181,5
321,6	258,7
110	110
27922	37230
12,0	13,0
20	20
4,8	5,9
1,3	1,9

13 Volumenstrom und Druckdifferenz

L7-3P-...-100

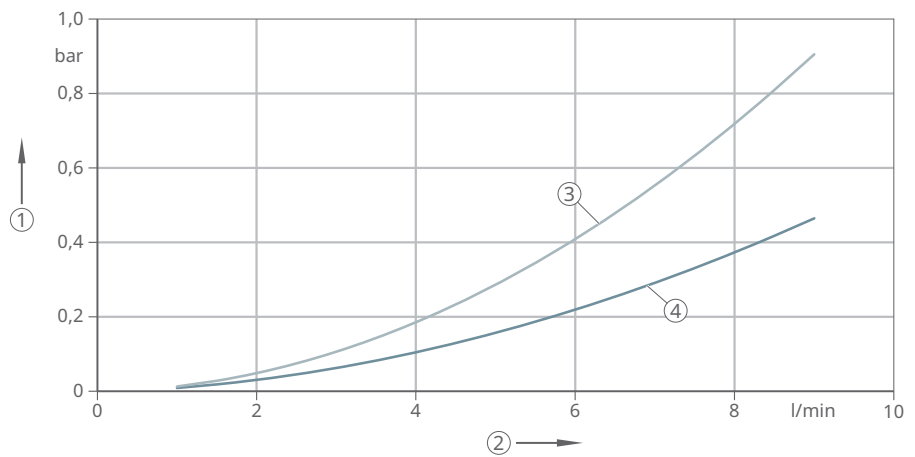
47 Druckdifferenz Primärteil



001DB46B

1	Druckdifferenz	2	Volumenstrom
3	L7-3P-650-100-PRIM	4	L7-3P-500-100-PRIM
5	L7-3P-350-100-PRIM		

48 Druckdifferenz Endstück und Kühlprofil

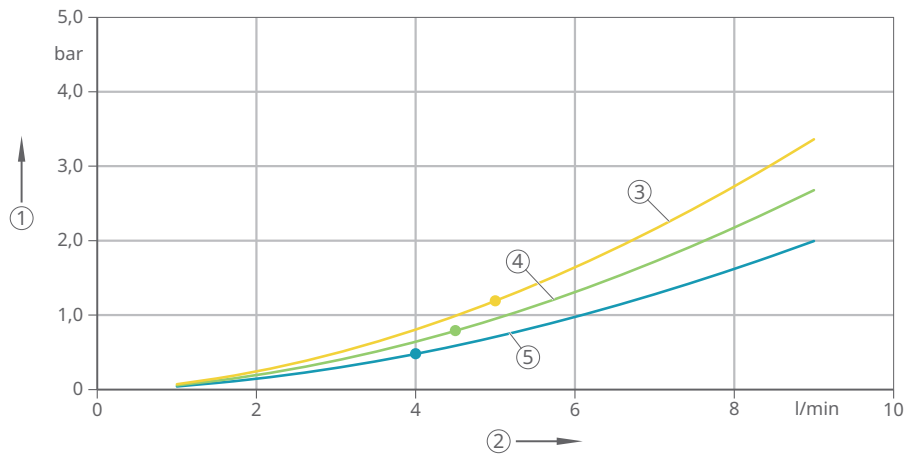


001DB47B

1	Druckdifferenz	2	Volumenstrom
3	Endstück	4	Kühlprofil

L7-3P-...-150

49 Druckdifferenz Primärteil

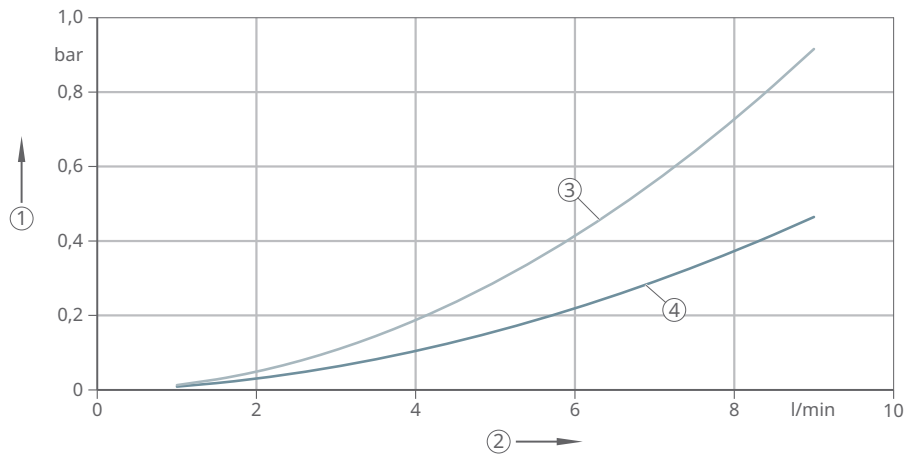


001DB4AB

1	Druckdifferenz	2	Volumenstrom
3	L7-3P-650-150-PRIM	4	L7-3P-500-150-PRIM
5	L7-3P-350-150-PRIM		

13

50 Druckdifferenz Endstück und Kühlprofil

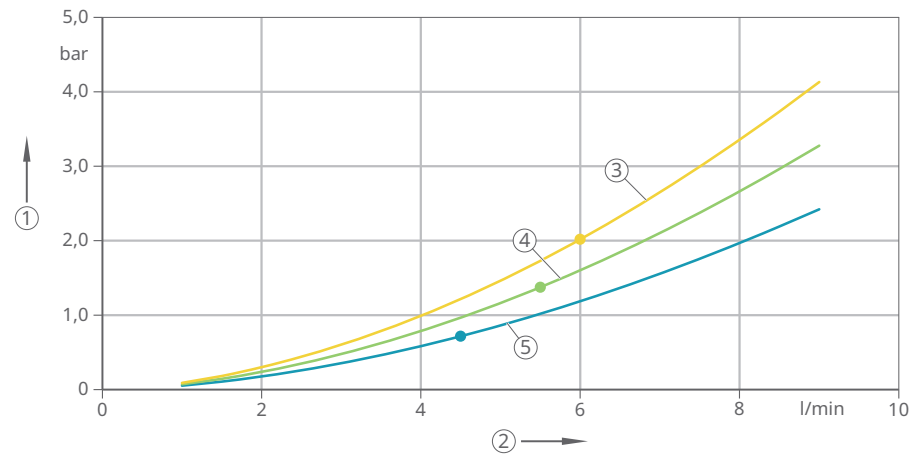


001DB4AF

1	Druckdifferenz	2	Volumenstrom
3	Endstück	4	Kühlprofil

L7-3P-...-200

51 Druckdifferenz Primärteil

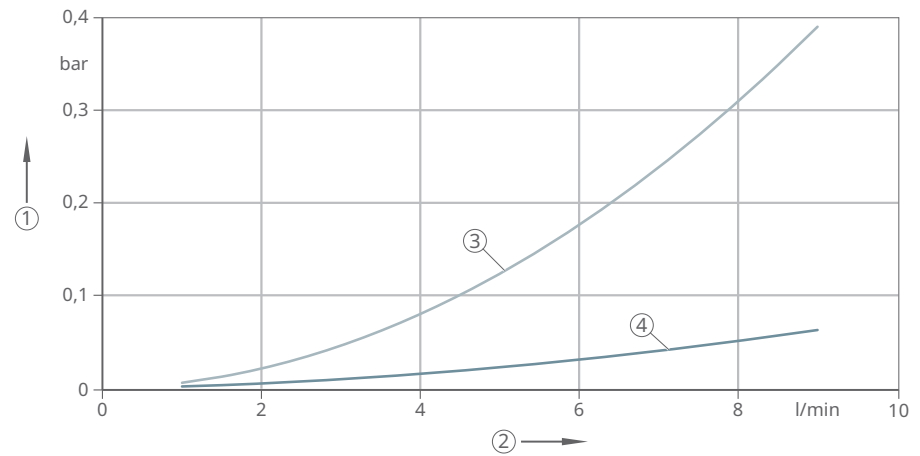


001DB4FD

1	Druckdifferenz	2	Volumenstrom
3	L7-3P-650-200-PRIM	4	L7-3P-500-200-PRIM
5	L7-3P-350-200-PRIM		

13

52 Druckdifferenz Endstück und Kühlprofil

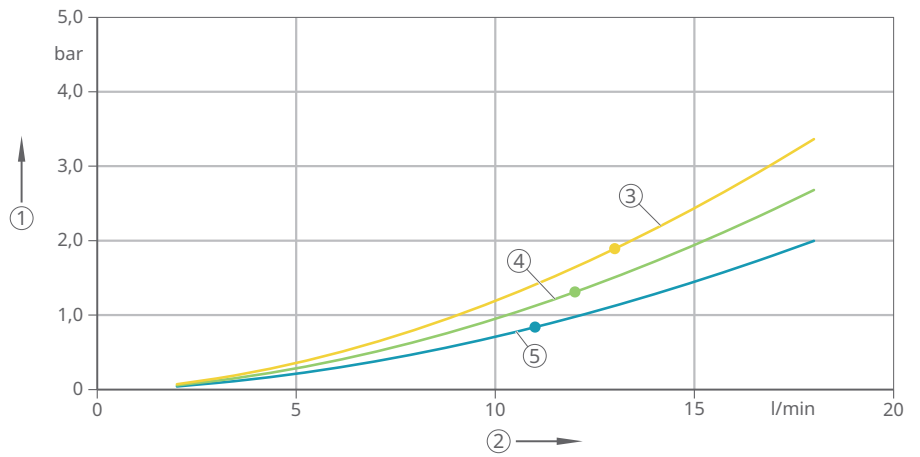


001DB501

1	Druckdifferenz	2	Volumenstrom
3	Endstück	4	Kühlprofil

L7-3P-...-300

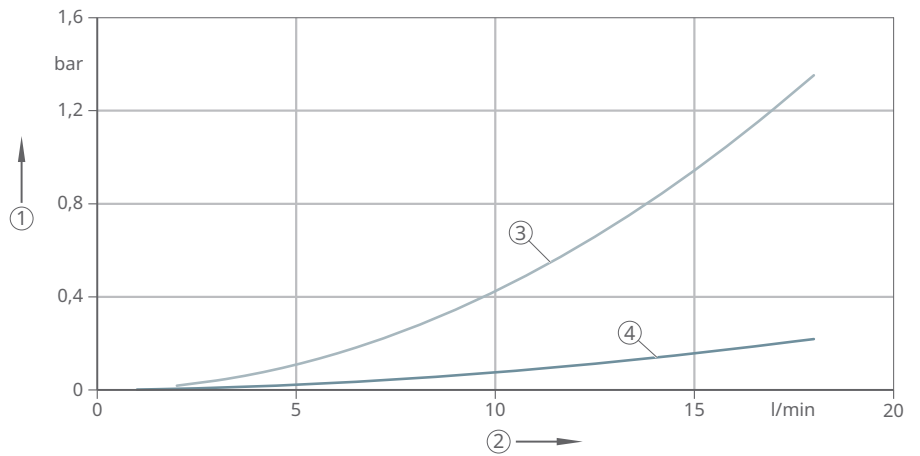
53 Druckdifferenz Primärteil



001DB53D

1	Druckdifferenz	2	Volumenstrom
3	L7-3P-650-300-PRIM	4	L7-3P-500-300-PRIM
5	L7-3P-350-300-PRIM		

54 Druckdifferenz Endstück und Kühlprofil



001DB54I

1	Druckdifferenz	2	Volumenstrom
3	Endstück	4	Kühlprofil

14 Glossar

$2\tau_p$, Polpaarweite

Weglänge eines Polpaares. τ_p ist dabei die Polbreite. Die Polbreite hat ein Magnetfeld, das laufend zwischen N (Nord) und S (Süd) wechselt. Die Polbreite wird auch Magnetbreite genannt.

dV/dt , Volumenstrom

Erforderliche Durchflussmenge pro Zeiteinheit, um bei abgegebener Verlustleistung P_{lc} die angegebene Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ des Kühlwassers zu erreichen.

F_a , Anziehungskraft

Magnetische Anziehungskraft zwischen Primärteil und Sekundärteil, die sich in Abhängigkeit vom Abstand zwischen beiden Teilen ändert. Der Wert gilt für den angegebenen Luftspalt.

F_c , Nennkraft, ungekühlt

Motorkraft bei $I_{c\text{eff}}$, bei der der Motor ohne Kühlung thermisch stabil betrieben werden kann, jedoch dabei erwärmt wird.

F_{cog} , Rastkraft

Spitzenwert der im stromlosen Zustand bei Bewegung pulsierenden Motor­kraft, auch Cogging Force genannt. Die Amplitude der Rastkraft ist abhängig von der Position des Primärteils.

F_{cw} , Nennkraft, gekühlt

Motorkraft bei $I_{cw\text{eff}}$, die im Nennbetrieb bei Wasserkühlung als Dauerkraft verfügbar ist. Bei dieser Kraft stellt sich ein Temperaturgefälle zwischen Wicklung und Kühlung von 90 K ein.

f_p (n), Polwechselfrequenz

Die Polwechselfrequenz errechnet sich aus dem Quotienten von Geschwindigkeit in mm/s und Polpaarweite. Die Einheit der Polwechselfrequenz ist Hz.

F_p , Spitzenkraft

Kraft bei $I_{p\text{eff}}$, die im Sättigungsbereich und bei allen Betriebstemperaturen sicher erreicht wird. Die Spitzenkraft kann max. 1 ... 3 s lang genutzt werden. Bei Magnettemperaturen bis +60 °C und im Impulsbetrieb kann F_p bis zum Wert von F_u gesteigert werden.

F_{sw} , Stillstandskraft, gekühlt

Motorkraft, die im Stand und bei Polwechselfrequenzen bis ca. 0,1 Hz dauerhaft abgerufen werden darf.

F_u , Grenzkraft

Max. zulässige Kraft bei starker Sättigung des Magnetkreises. Die Grenzkraft darf nur <1 s lang angefahren werden. Beim Anfahren der Grenzkraft die Maximaltemperatur von Primärteil und Magneten von +60 °C beachten. Bei höheren Temperaturen wird das Primärteil innerhalb kürzester Zeit zerstört und das Sekundärteil entmagnetisiert. Die Grenzkraft nicht als Dimensionierungsgröße verwenden, jedoch bei einer Kurzschlussbremsung beachten.

 $I_{c\text{ eff}}$, effektiver Nennstrom, ungekühlt

Strom, bei dem die zugehörige Verlustleistung je nach Größe der Anschraubbasis ohne Zwangskühlung zu einer relativ geringen Erwärmung des Motors führt.

 $I_{cW\text{ eff}}$, effektiver Nennstrom, gekühlt

Strom, der bei Wasserkühlung im Dauerbetrieb ab einer Polwechselfrequenz von 0,1 Hz bis zur Geschwindigkeit v_{W} bei entsprechender Zwischenkreisspannung zulässig ist.

 $I_{p\text{ eff}}$, effektiver Spitzenstrom

Strom, der im Bereich der Eisensättigung liegt. Wir empfehlen, diesen Strom als Dimensionierungsgröße zu verwenden, siehe auch F_p . $I_{p\text{ eff}}$ darf bis auf den Grenzwert $I_{u\text{ eff}}$ gesteigert werden, wenn die Magnettemperatur max. +60 °C beträgt und im Impulsbetrieb mit einer Impulsdauer von 1 s bis max. 3 s gearbeitet wird.

 $I_{sW\text{ eff}}$, effektiver Stillstandsstrom, gekühlt

Max. zulässiger Strom bei Wasserkühlung im Dauerbetrieb bei Polwechselfrequenzen von 0 Hz bis 0,1 Hz. Aufgrund der unterschiedlichen Stromverteilung in den Motorphasen muss zur Verhinderung von lokalen Überhitzungen der Motorstrom auf diesen Wert reduziert werden. Bei der Festlegung des effektiven Stillstandsstroms wird die thermisch ungünstigste Sekundärteillage betrachtet.

 $I_{u\text{ eff}}$, effektiver Grenzstrom

Strom, bei dem der Magnetkreis in starker Sättigung ist. Die max. Stromdichte in der Wicklung oder die beginnende Entmagnetisierungsgefahr bei einer Magnettemperatur von +60 °C bestimmt den effektiven Grenzstrom. Eine I^2t -Regelung kann die Überhitzung des Primärteils, nicht aber die Entmagnetisierung des Sekundärteils verhindern.

 k_f , Kraftkonstante

Wert, der im linearen Aussteuerbereich multipliziert mit dem Strom die entstehende Motorkraft ergibt: $F = I \cdot k_f$.

 k_m , Motorkonstante

Wert für die Effizienz eines Motors. Die Motorkonstante ist das Verhältnis von Kraft zu Verlustleistung.

Sie ist nur konstant, solange der Motor im statischen Betrieb und im linearen Aussteuerbereich ist. Ein Beispiel hierfür sind Positioniervorgänge mit geringen Geschwindigkeiten und Kräften.

Der Wert ändert sich abhängig von der Temperatur. Bei +130 °C Wicklungstemperatur geht die Motorkonstante auf den 0,84-fachen Wert zurück.

$k_{\hat{U}}$, Gegenspannungskonstante

Spannungskonstante für den generatorischen Betrieb. Der Scheitelwert der an den Motorklemmen entstehenden Ankergegenspannung errechnet sich durch die Multiplikation der Gegenspannungskonstante mit der Geschwindigkeit:

$$U_{EMF} = k_{\hat{U}} \cdot v.$$

L, Induktivität, Phase zu Phase

Induktivität zwischen 2 Motorphasen, gültig für den linearen Bereich zwischen Kraft und Strom.

P_I , Verlustleistung

Die in der Motorwicklung entstehende Wärmeleistung, die zu einer zeitabhängigen Temperaturerhöhung führt. Die Wärmezufuhr durch den Strom, der bei der jeweiligen Betriebsweise fließt, und die Wärmeabfuhr durch die Kühlung beeinflussen die Temperaturerhöhung.

Der Strom im oberen Aussteuerbereich, bei F_p , erzeugt eine hohe Verlustleistung P_I , da die Verlustleistung quadratisch zum Strom steigt. Der Nennstrom erwärmt die Motorwicklungen nur relativ gering.

P_I errechnet sich vereinfacht mit Hilfe der Motorkonstante k_m für einen Bewegungsabschnitt mit der erforderlichen Kraft F : $P_I = (F/k_m)^2$.

P_{Ic} , Verlustleistung

Ohmsche Verlustleistung bei $I_{c\text{ eff}}$.

P_{Ip} , Verlustleistung

Ohmsche Spitzenverlustleistung bei $I_{p\text{ eff}}$.

P_{Iw} , Verlustleistung

Ohmsche Verlustleistung bei $I_{cw\text{ eff}}$.

R_{20} , elektrischer Widerstand

Wicklungswiderstand zwischen 2 Motorphasen bei +20 °C. Bei +130 °C steigt der Wicklungswiderstand auf den 1,4-fachen Wert an.

U_{DCL} , Zwischenkreisspannung

Gleichspannung, die der Umrichter dem Wechselrichter zur Verfügung stellt. Der Wechselrichter stellt dann dem Motor, abzüglich der Verluste im Wechselrichter, die Zwischenkreisspannung zur Verfügung. Die Zwischenkreisspannung bestimmt die erreichbaren Geschwindigkeiten.

v_{Ip300} , Grenzggeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$

Wicklungsabhängige max. Geschwindigkeit des Motors ohne Berücksichtigung der dynamischen Wärmeverluste und ohne Feldschwächung bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$. Bei Erhöhung der Geschwindigkeit ohne Berücksichtigung der Feldschwächung fällt die verfügbare Kraft stark ab.

 v_{Iw300} , Grenzggeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$

Wicklungsabhängige max. Geschwindigkeit des Motors ohne Berücksichtigung der dynamischen Wärmeverluste und ohne Feldschwächung bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$. Bei Erhöhung der Geschwindigkeit ohne Berücksichtigung der Feldschwächung fällt die verfügbare Kraft stark ab.

 v_{Ip600} , Grenzggeschwindigkeit bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$

Wicklungsabhängige max. Geschwindigkeit des Motors ohne Berücksichtigung der dynamischen Wärmeverluste und ohne Feldschwächung bei $I_{p\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$. Bei Erhöhung der Geschwindigkeit ohne Berücksichtigung der Feldschwächung fällt die verfügbare Kraft stark ab.

 v_{Iw600} , Grenzggeschwindigkeit bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$

Wicklungsabhängige max. Geschwindigkeit des Motors ohne Berücksichtigung der dynamischen Wärmeverluste und ohne Feldschwächung bei $I_{cw\text{ eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$. Bei Erhöhung der Geschwindigkeit ohne Berücksichtigung der Feldschwächung fällt die verfügbare Kraft stark ab.

14

 Δp , Druckdifferenz des Kühlmediums

Druckdifferenz zwischen Einlass und Auslass des Kühlmediums.

 $\Delta\vartheta$, Temperaturdifferenz des Kühlwassers

Max. Temperaturdifferenz zwischen Einlass und Auslass des Kühlwassers.

 ϑ_{nf} , Nenn-Vorlauftemperatur

Erforderliche Kühlwassereintrittstemperatur, um unter Einhaltung der restlichen Kühlbedingungen ($\Delta\vartheta$ und dV/dt) $I_{cw\text{ eff}}$ oder $I_{sw\text{ eff}}$ dauerhaft zu nutzen. Bei Einhaltung dieser Kühlbedingungen stellt sich bei dauerhafter Nutzung von $I_{cw\text{ eff}}$ und $I_{sw\text{ eff}}$ bei der schlechtesten Phasenlage zwischen den Spulen eine Sensortemperatur knapp unterhalb ϑ_{PTC} ein.

 ϑ_{PTC} , Abschaltchwelle Motortemperatur

Temperatur, bei der der Servoregler abgeschaltet werden muss, um den Motor vor Überhitzung zu schützen. Diese Temperatur wird mit einem PTC-Sensor gemessen, der ein an den Servoregler angeschlossenes Thermistor-Motorschutzrelais triggert.

Bei Wasserkühlung, eingehaltenen Kühlbedingungen (dV/dt und $\Delta\vartheta$) und dauerhafter Nutzung von $I_{cw\text{ eff}}$ erwärmt sich der Motor bis knapp unterhalb der Abschalttemperatur.

Schaeffler Industrial Drives AG & Co. KG
Mittelbergstraße 2
98527 Suhl
Deutschland
www.schaeffler-industrial-drives.com
sales-sid@schaeffler.com
Telefon +49 3681 7574-0

Alle Angaben wurden von uns sorgfältig erstellt und geprüft, jedoch können wir keine vollständige Fehlerfreiheit garantieren. Korrekturen bleiben vorbehalten. Bitte prüfen Sie daher stets, ob aktuellere Informationen oder Änderungshinweise verfügbar sind. Diese Publikation ersetzt alle abweichenden Angaben aus älteren Publikationen. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.
© Schaeffler Technologies AG & Co. KG
TPI 290 / 01 / de-DE / 2026-04