

# 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 CO<sub>2</sub>-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  |
| $R$                | $\Omega$                   | elektrischer Widerstand  |
| $R_{20}$           | $\Omega$                   | elektrischer Widerstand bei +20 °C, Ph zu Ph                             |
| $s$                | m                          | Weg oder Position  |
| $s_{acc}$          | m                          | Beschleunigungsweg   |
| $s_{dec}$          | m                          | Bremsweg   |
| $S_{Facc}$         | -                          | Sicherheitsfaktor für Spitzenkraftbewertung                              |
| $S_{Feff}$         | -                          | 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 $U_{DCL} = 300\text{ V}$  |
| $v_{Ip\ 600}$      | m/s                        | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\text{eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$  |
| $v_{Iw}$           | m/s                        | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{eff}}$ und $U_{DCL}$                |
| $v_{Iw\ 300}$      | m/s                        | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{eff}}$ und $U_{DCL} = 300\text{ V}$ |
| $v_{Iw\ 600}$      | m/s                        | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\text{eff}}$ und $U_{DCL} = 600\text{ V}$ |
| $v_{work}$         | m/s                        | Bearbeitungsgeschwindigkeit  |
| $\Delta p$         | bar                        | Druckdifferenz   |
| $\Delta p_{CP}$    | bar/m                      | Druckdifferenz des Kühlprofils   |
| $\Delta p_{EP}$    | bar                        | Druckdifferenz des Endstücks   |
| $\Delta p_F$       | bar                        | Druckdifferenz Fittings  |
| $\Delta p_H$       | bar                        | Druckdifferenz Zuleitung und Ableitung                                   |
| $\Delta p_P$       | bar                        | Druckdifferenz Primärteilkühlung   |
| $\Delta p_S$       | bar                        | Druckdifferenz Sekundärteilkühlung                                       |
| $\Delta p_{tot}$   | bar                        | Druckdifferenz der gesamten Kühlung                                      |
| $\Delta \vartheta$ | K                          | Temperaturdifferenz des Kühlmediums                                      |
| $\Delta \vartheta$ | K                          | Temperaturdifferenz des Kühlwassers                                      |
| $\eta$             | $\text{Pa} \cdot \text{s}$ | dynamische Viskosität  |
| $\vartheta$        | °C                         | Temperatur   |
| $\vartheta_f$      | °C                         | aktuelle Vorlauftemperatur   |
| $\vartheta_{max}$  | °C                         | max. zulässige Wicklungstemperatur                                       |
| $\vartheta_n$      | °C                         | Nenn-Ansprechtemperatur  |
| $\vartheta_{nf}$   | °C                         | Nenn-Vorlauftemperatur   |
| $\vartheta_{PTC}$  | °C                         | Abschaltschwelle der Motortemperatur                                     |
| $\nu$              | $\text{mm}^2/\text{s}$     | kinematische Viskosität  |
| $\rho$             | $\text{kg}/\text{m}^3$     | Dichte   |
| $\Phi$             | 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 marktbekanntesten 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 CO<sub>2</sub>-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.

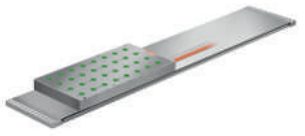
### 3 Charakteristik von Linearmotoren

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"> <li>• <math>F_p</math> bis 24000 N</li> <li>• <math>F_{cw}</math> bis 11000 N</li> <li>• Baulängen: 350 mm, 500 mm und 650 mm</li> <li>• Baubreiten: 100 mm, 150 mm, 200 mm und 300 mm</li> </ul> |  |

## 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.

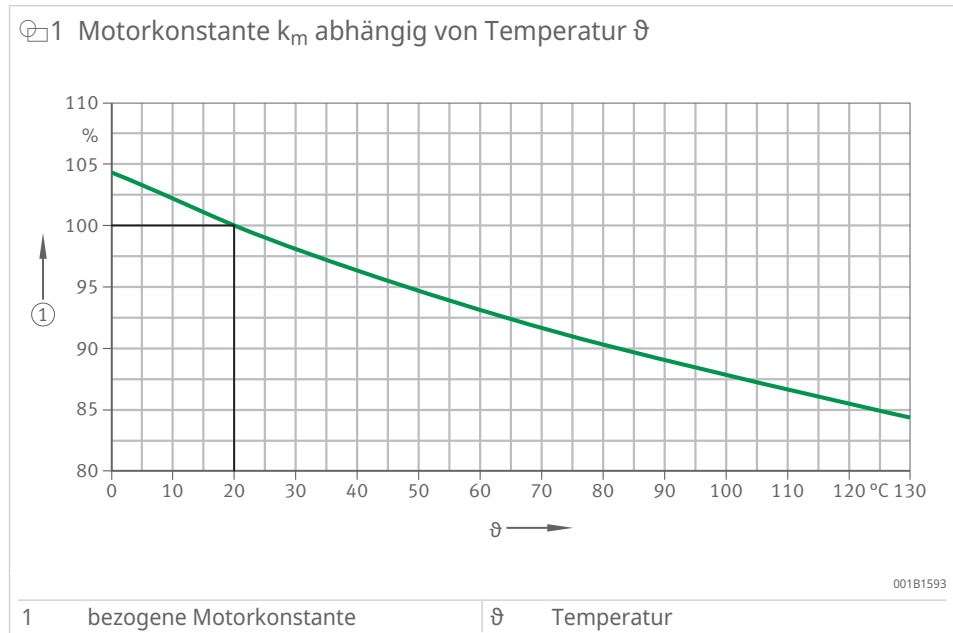
f1

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

|       |      |                              |
|-------|------|------------------------------|
| F     | N    | Kraft                        |
| $k_m$ | N/√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

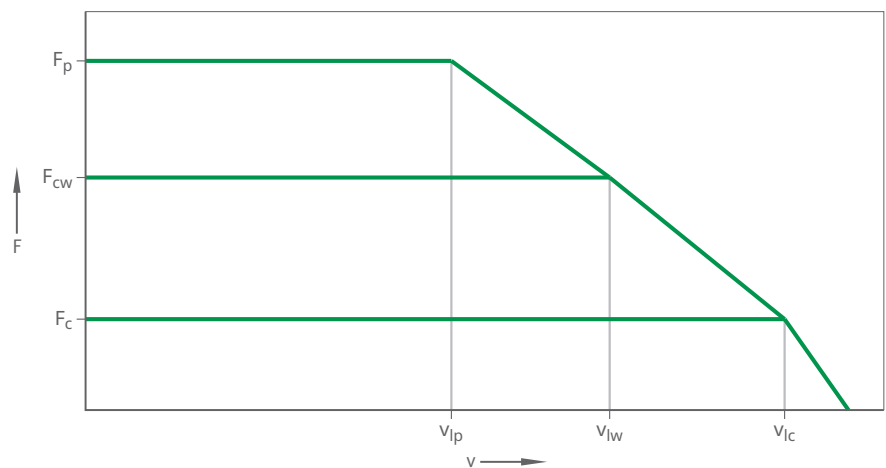
Eine Kraft-Geschwindigkeits-Kennlinie zeigt die wicklungsspezifischen Geschwindigkeitslimits in Abhängigkeit der Kraft bei konstanter Zwischenkreis-spannung ohne Feldschwächung in verschiedenen Arbeitspunkten.

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         | $v_{lp}$ | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\ eff}$  |
| $F_{cw}$ | Nennkraft, gekühlt   | $v_{lw}$ | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\ eff}$ |
| $F_c$    | Nennkraft, ungekühlt | $v_{lc}$ | 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 Grenzggeschwindigkeit  $v_{lc}$  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

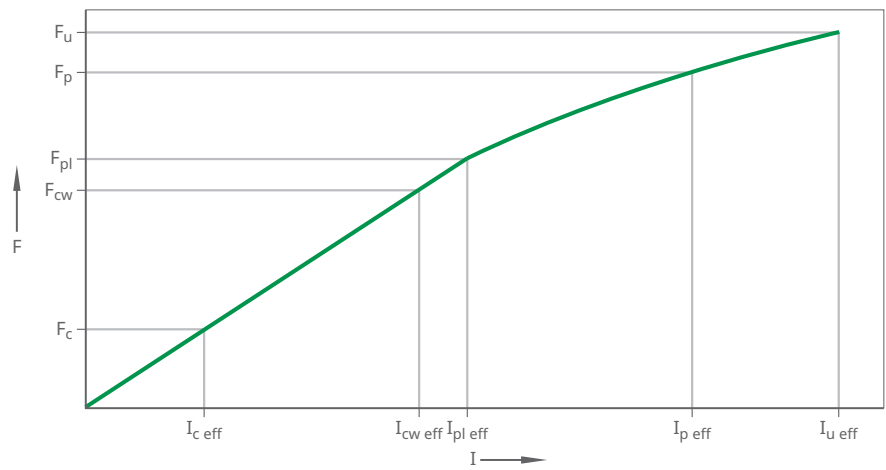
### Linearer Bereich

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

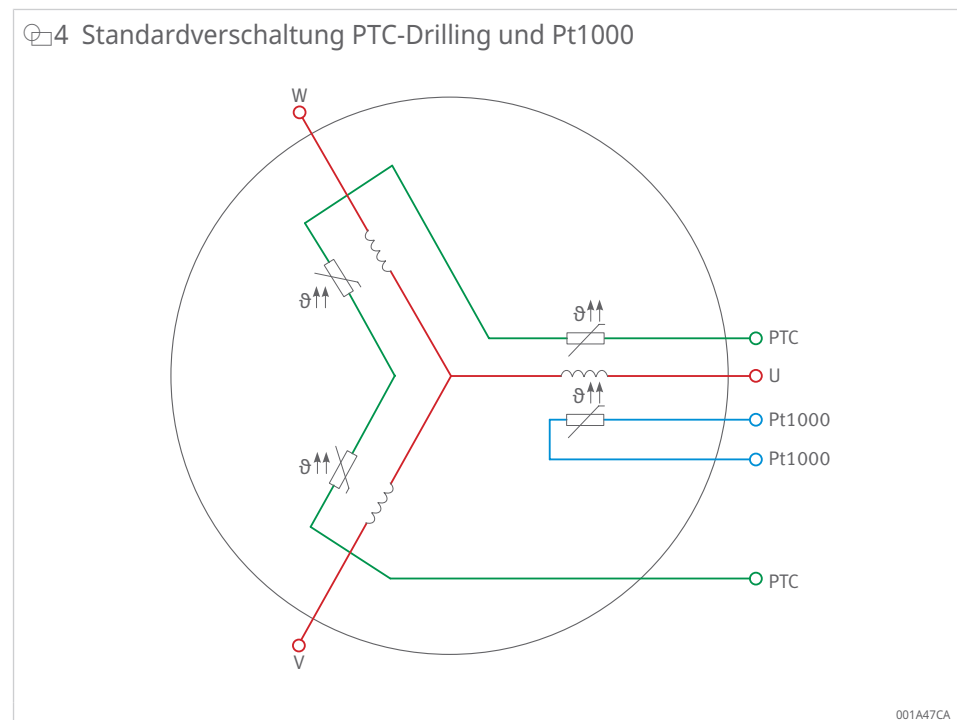
| F        | Kraft                          | I                    | Motorstrom                                |
|----------|--------------------------------|----------------------|---|
| $F_u$    | Grenzkraft                     | $I_{u \text{ eff}}$  | effektiver Grenzstrom                     |
| $F_p$    | 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.

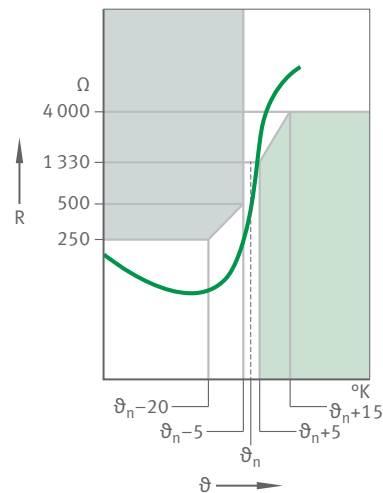
### 5.2 Überwachungskreis I

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  $\vartheta_n$  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  $\vartheta_n$  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 $\Omega$  und 3,5 k $\Omega$  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              | $\vartheta$ | Temperatur |
| $\vartheta_n$ | Nenn-Ansprechtemperatur |             |            |

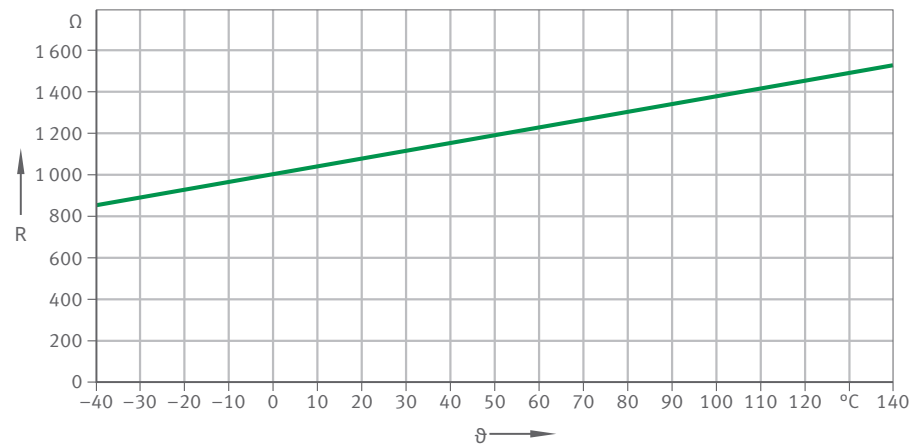
Das Thermistor-Motorschutzrelais reagiert auch auf einen zu geringen Widerstand im PTC-Kreis. Der zu geringe Widerstand kann einen Defekt im Überwachungskreis anzeigen. Das Thermistor-Motorschutzrelais bewirkt eine sichere galvanische Trennung der Steuerung von den PTC-Sensoren im Motor. Das Thermistor-Motorschutzrelais 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 Servomrichter 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



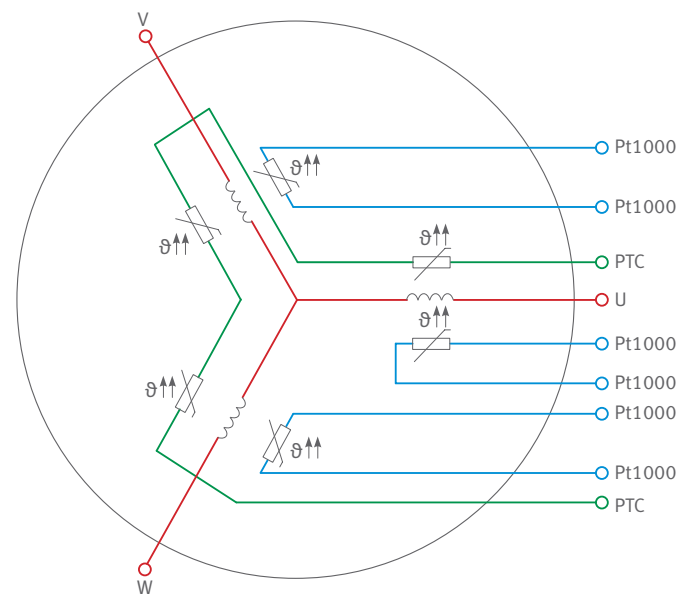
001A492C

R Widerstand       $\theta$  Temperatur

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



001B15A3

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

<sup>1)</sup> P = 1 Pt1000 + 3 PTC ▶54 | 11

<sup>2)</sup> 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

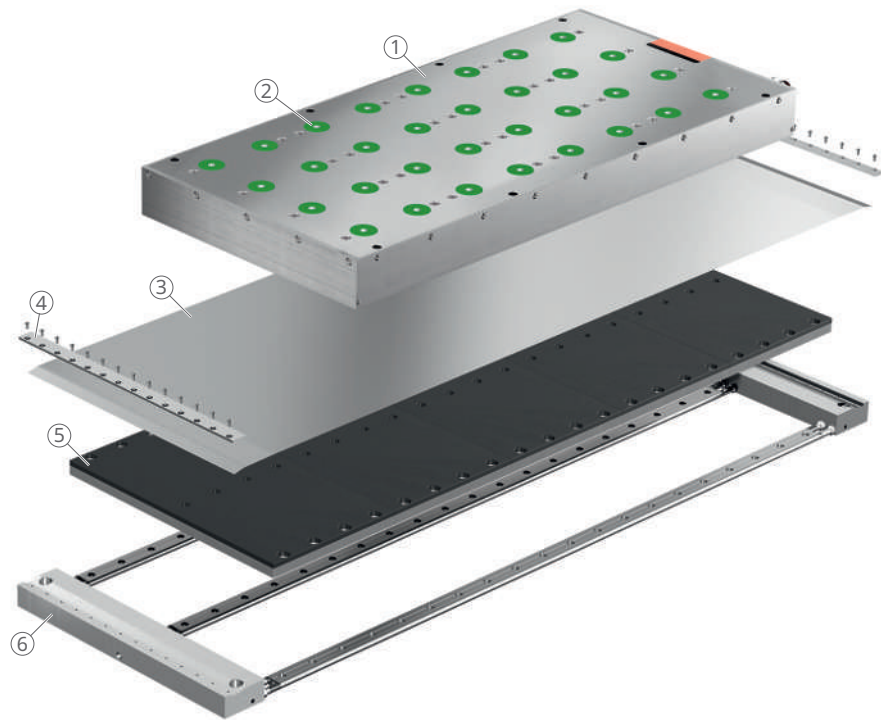
Bei einer Zwischenkreisspannung von 600 V bis 720 V darf zwischen den Motorphasen die Überschwingweite max. 1370 V betragen. Zwischen den Motorphasen darf das Peak-zu-Peak-Band max. 2800 V betragen.

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.

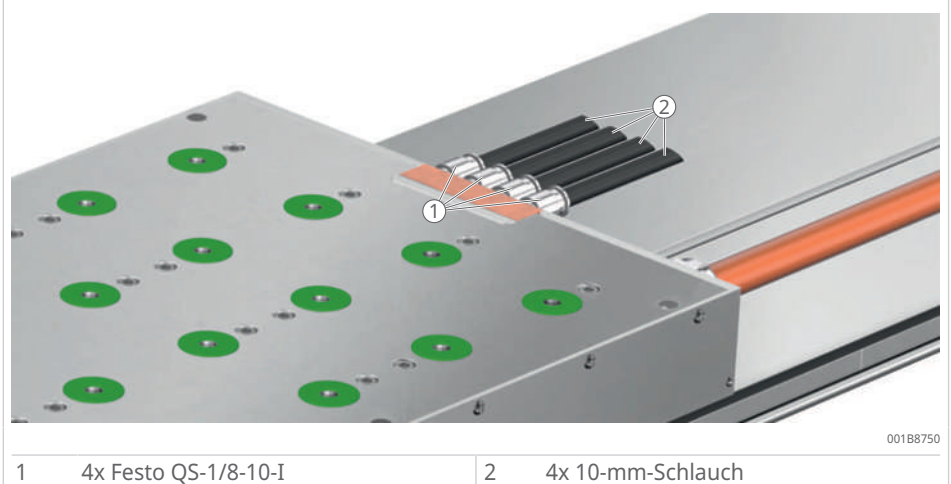
Ein L7-Linearmotor unterstützt die Maßnahmen vollumfänglich.

## 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  $\pm 1$  °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

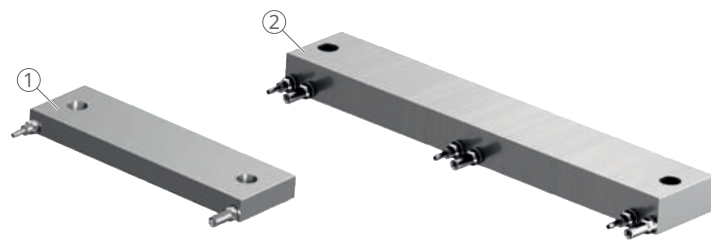
☐12 Kühlprofil für Sekundärteilkühlung



001B87B0

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

☐ 13 Endstücke für Sekundärteilkühlung



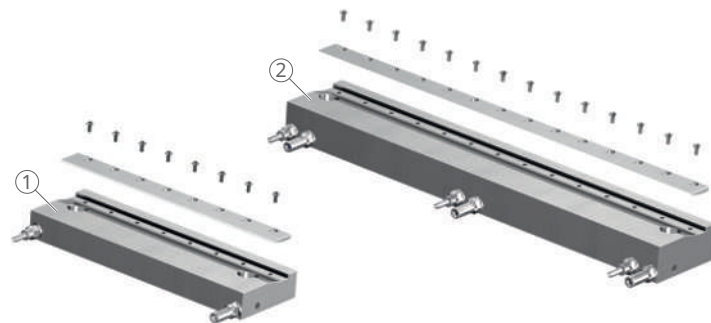
001B87D7

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

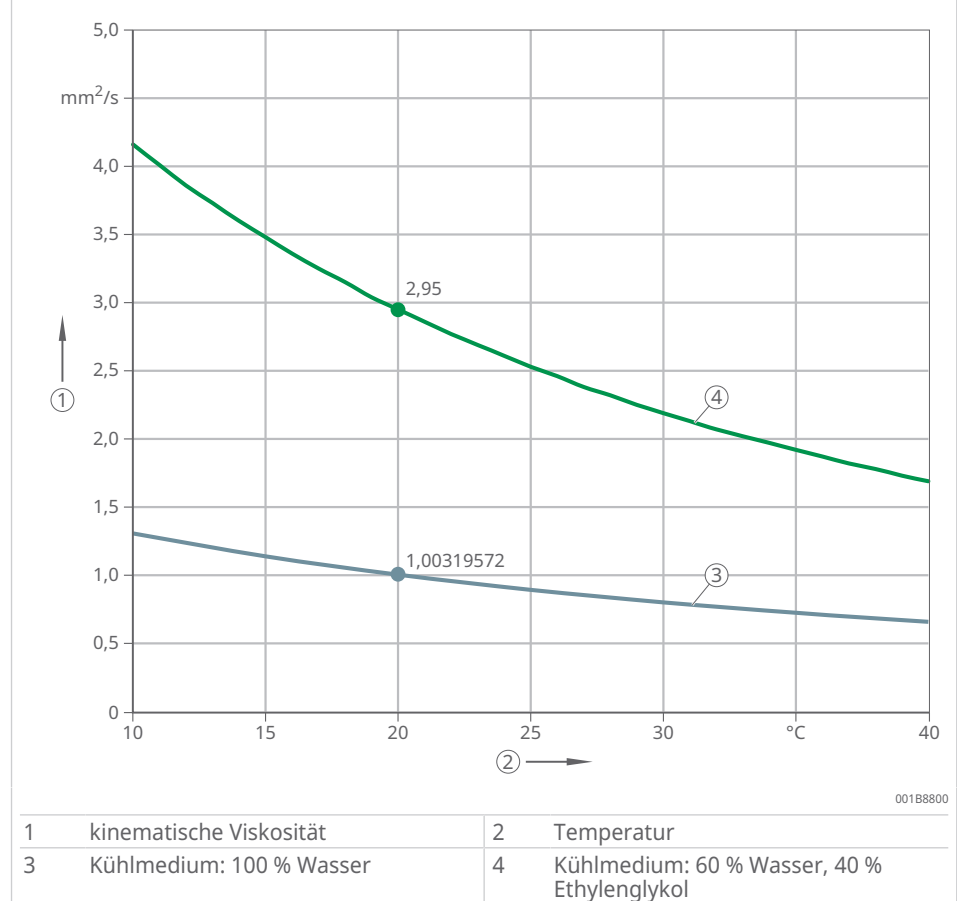
| Temperatur        | Dichte <sup>1)</sup> | spezifische Wärmekapazität | dynamische Viskosität | kinematische Viskosität |
|-------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| °C                | kg/m <sup>3</sup>    | kJ/kg · K                  | Pa · s                | mm <sup>2</sup> /s      |
| +20 <sup>2)</sup> | 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<sub>n</sub> = 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



Beispiel:

Eine Mischung aus 40 % Ethylenglykol, z. B. Antifrogen N, und 60 % Wasser hat einen Gefrierpunkt von  $-25\text{ °C}$  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  $I_{cw\text{ eff}}$  bezieht sich auf die Nenn-Vorlauftemperatur  $\vartheta_{nf}$  des Kühlmediums und wird in den Leistungsdaten angegeben ▶62|12.

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

#### f)2 Reduzierter Nennstrom

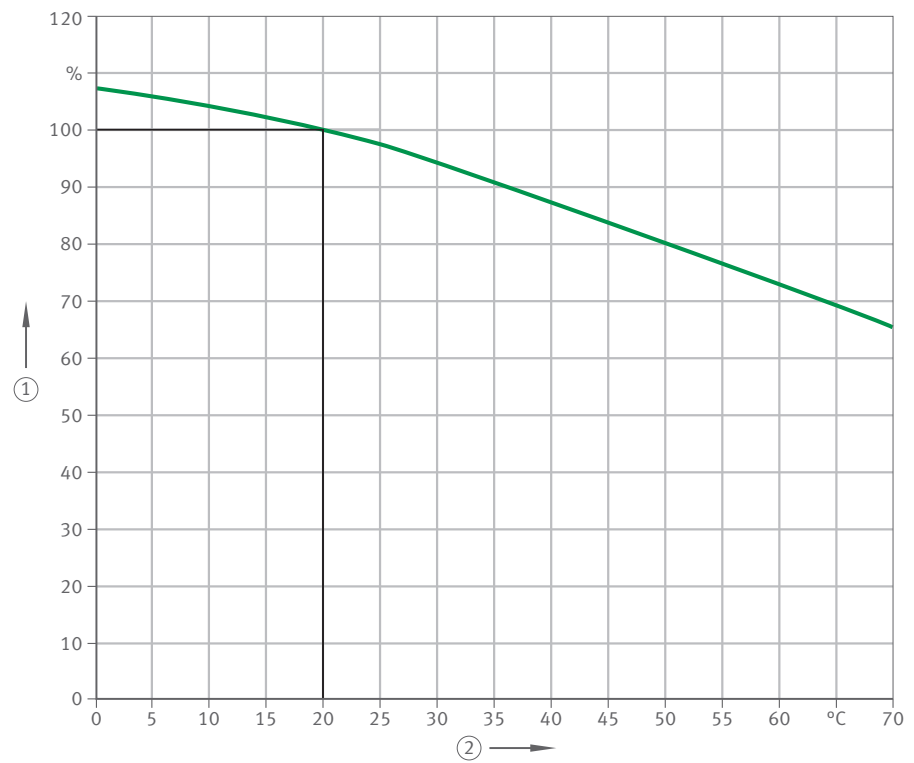
$$\frac{I_{c\text{ red}}}{I_{cw\text{ eff}}} = \sqrt{\frac{\vartheta_{\max} - \vartheta_f}{\vartheta_{\max} - \vartheta_{nf}}}$$

|                     |    |                                    |
|---------------------|----|------------------------------------|
| $I_{c\text{ red}}$  | A  | reduzierter Nennstrom              |
| $I_{cw\text{ eff}}$ | A  | effektiver Nennstrom, gekühlt      |
| $\vartheta_{\max}$  | °C | max. zulässige Wicklungstemperatur |
| $\vartheta_{nf}$    | °C | Nenn-Vorlauftemperatur             |
| $\vartheta_f$       | °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  $\vartheta_f$   
 ( $\vartheta_{nf} = +20\ ^\circ C$ )



001B15B3

|               |   |                  |  |
|---------------|---|------------------|--|
| 1             | relativer Nennstrom $I_{C\ red} / I_{Cw\ eff}$ in % | 2                | aktuelle Vorlauftemperatur $\vartheta_f$ |
| $I_{C\ red}$  | reduzierter Nennstrom                               | $\vartheta_{nf}$ | 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. Eine anderes Kühlmedium als Wasser muss geprüft werden.

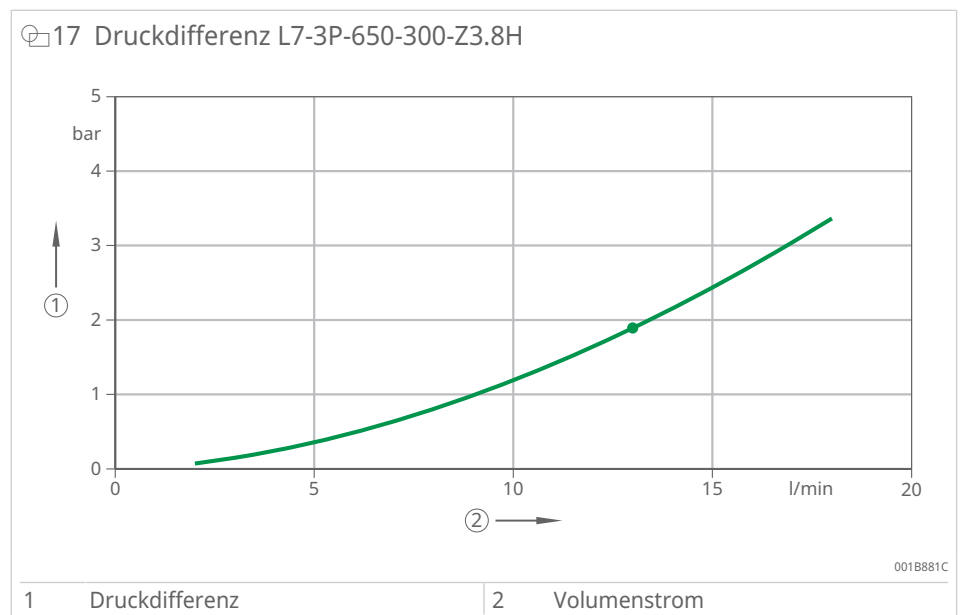
### 8.1 Schritt 1, Anforderungen

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 <sup>1)</sup> |
| Druckdifferenz $\Delta p$ , entspricht $\Delta p_p$ | 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  $\Delta p_H$  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  $\Phi$  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 |
| $\rho$            | kg/m <sup>3</sup> | 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 $\Delta p_p$

Die Druckdifferenz  $\Delta p_p$ , entspricht  $\Delta p$  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  $\Delta p$  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  $\Delta p_p$  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<br>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  $\Phi$  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 <sub>lw</sub> | W                 | Verlustleistung bei F <sub>cw</sub> |
| Δϑ              | K                 | Temperaturdifferenz des Kühlmediums |
| ρ               | kg/m <sup>3</sup> | 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.

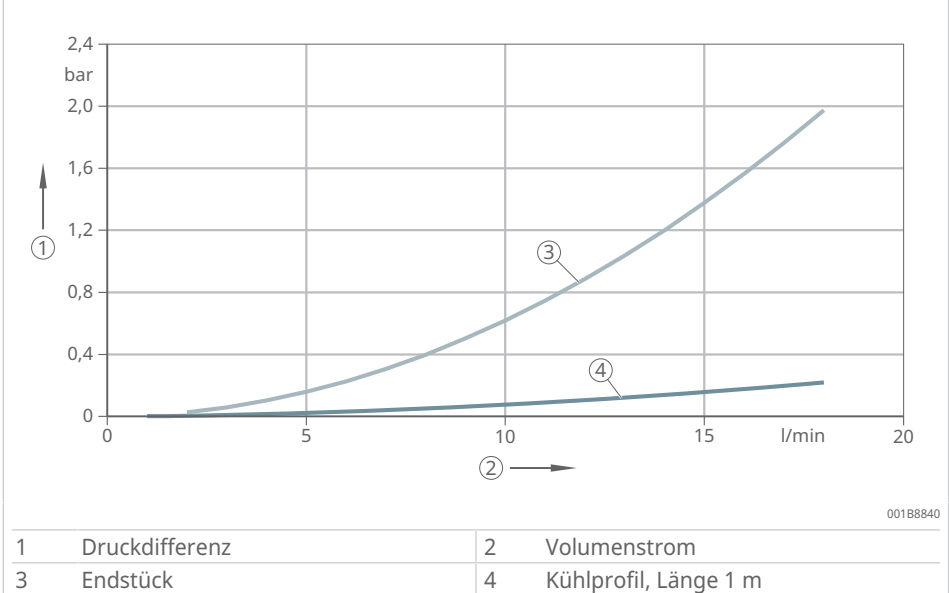
11 Wirbelstromverluste

| 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 $\Delta p_s$

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



Bei einem Volumenstrom von ca. 13 l/min ergibt sich für das Endstück eine Druckdifferenz  $\Delta p_{EP}$  von 1,05 bar und für das Kühlprofil eine Druckdifferenz  $\Delta p_{CP}$  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

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

|                 |       |                                    |
|-----------------|-------|------------------------------------|
| $\Delta p_{CP}$ | bar/m | Druckdifferenz des Kühlprofils     |
| $\Delta p_{EP}$ | bar   | Druckdifferenz des Endstücks       |
| $\Delta p_s$    | 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  $\Delta p_F$  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  $\Delta p_H$  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

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

|                         |     |  |
|-------------------------|-----|--|
| $\Delta p_F$            | bar | Druckdifferenz Fittings                |
| $\Delta p_P$            | bar | Druckdifferenz Primärteilkühlung       |
| $\Delta p_S$            | bar | Druckdifferenz Sekundärteilkühlung     |
| $\Delta p_H$            | bar | Druckdifferenz Zuleitung und Ableitung |
| $\Delta p_{\text{tot}}$ | bar | Druckdifferenz der gesamten Kühlung    |

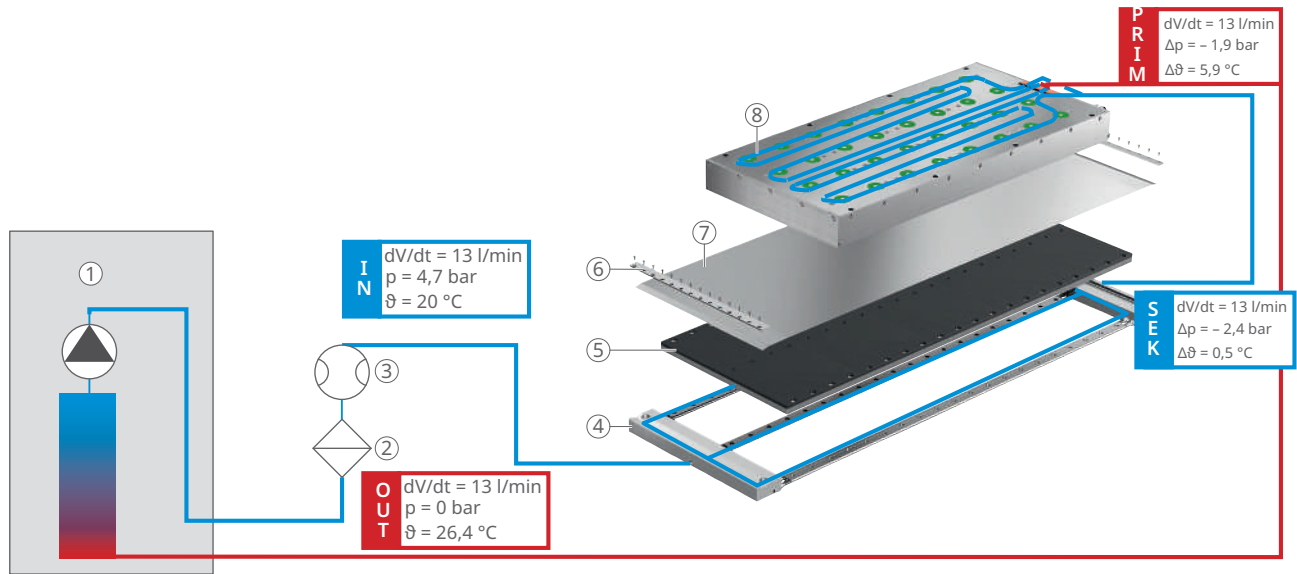
f14

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

## Verschaltung: Reihenschaltung

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

19 Reihenschaltung der Kühlkomponenten



001B8860

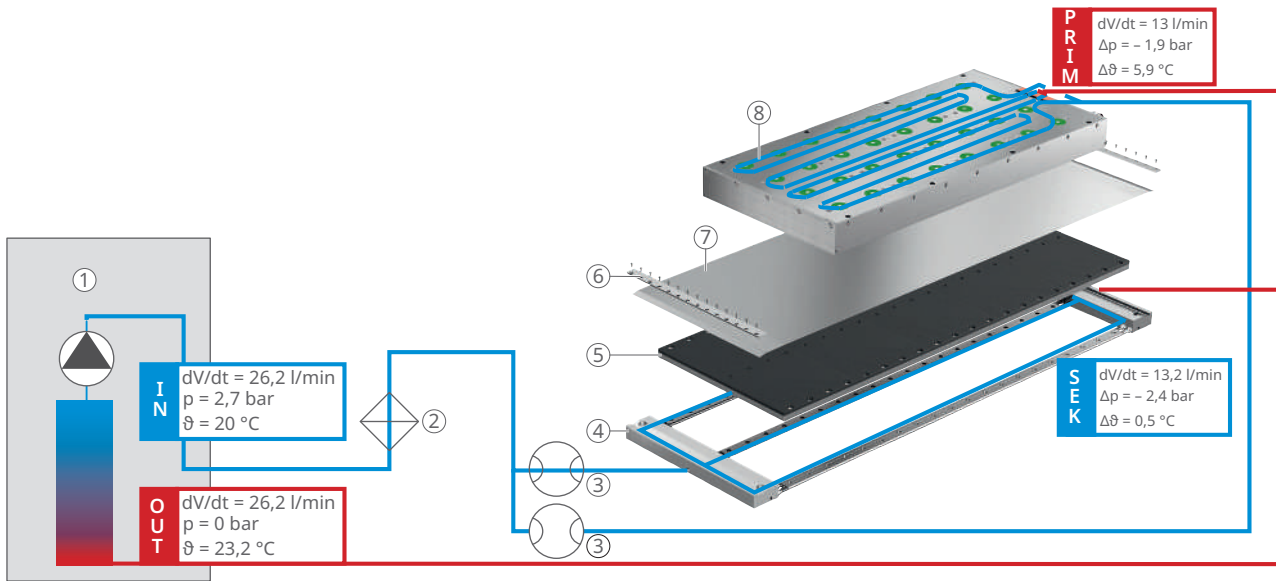
|      |                                  |     |                                  |
|------|----------------------------------|-----|----------------------------------|
| 1    | Rückkühler                       | 2   | Filter                           |
| 3    | Flowmeter                        | 4   | 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  $\Delta p_{tot} \approx 4,7$  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  $\Delta p$ , 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. Störsammelmeldungen und Strömungswächter sind grundsätzlich empfohlen.

8

## 8.5 Schritt 5, Rückkühler

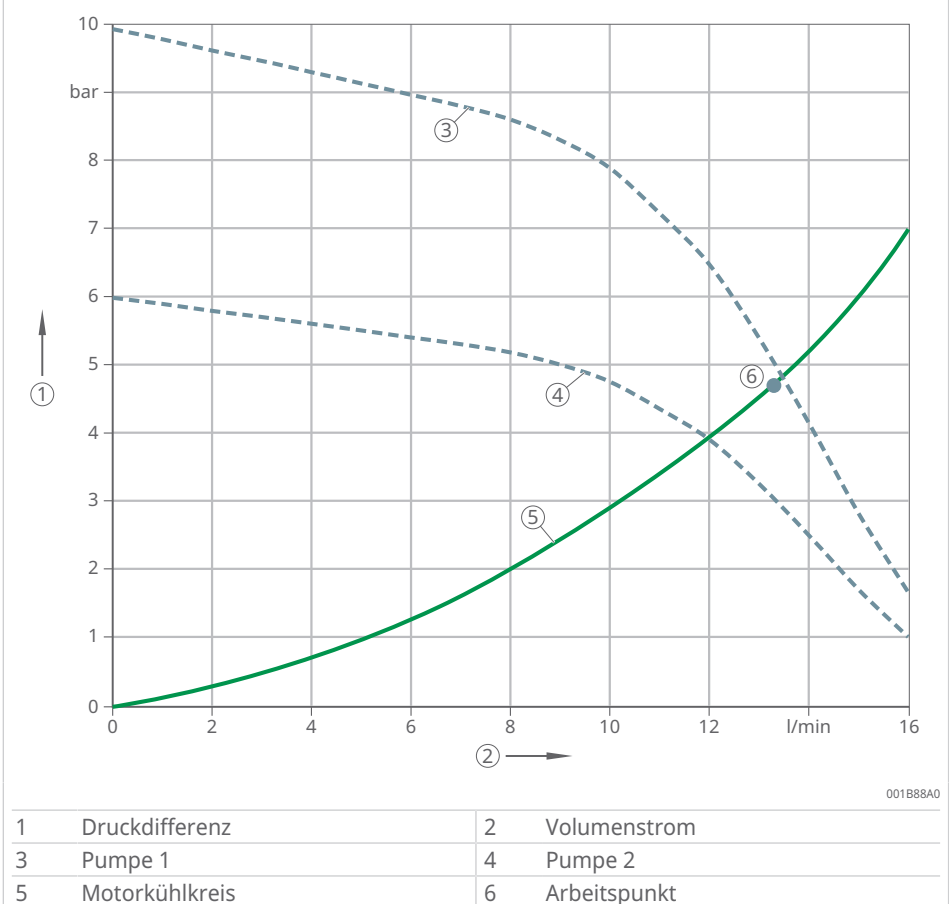
Basierend auf den berechneten Daten und Anforderungen ergeben sich im Beispiel folgende Eckpunkte für einen Kühler:

- 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.

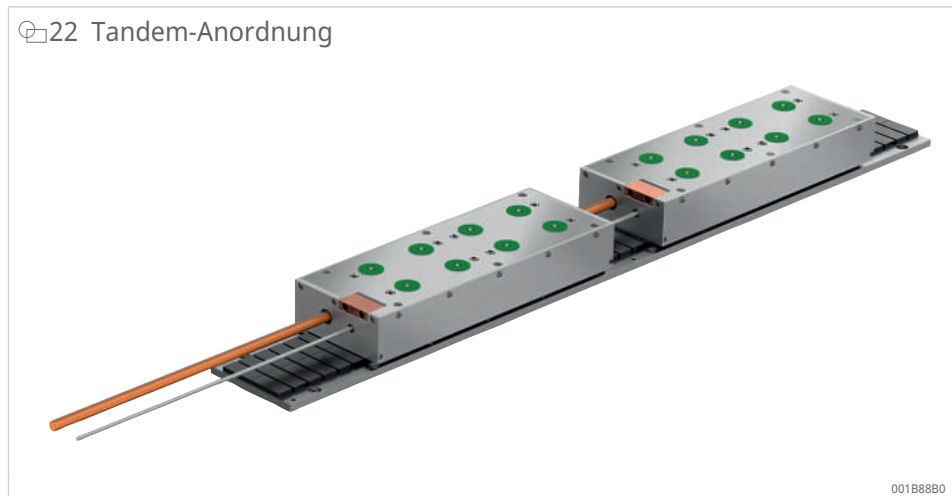
### 9.2 Primärteilausrichtung

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

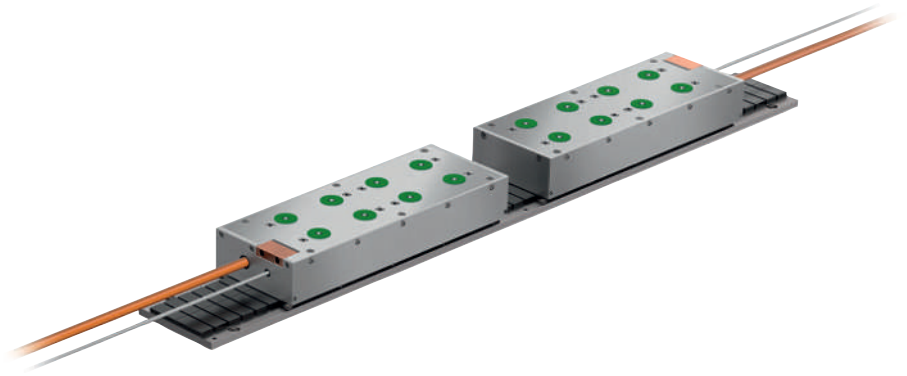
Der erste Motor bei der Verwendung von mehreren Motoren auf einer Achse wird als **Master** bezeichnet. Dieser Motor gibt die positive Verfahrrichtung der Achse vor. Jeder weitere Motor wird als **Slave** bezeichnet. Folgende mechanische Konfigurationen können aufgrund dieser Festlegung realisiert werden:

22 Tandem-Anordnung



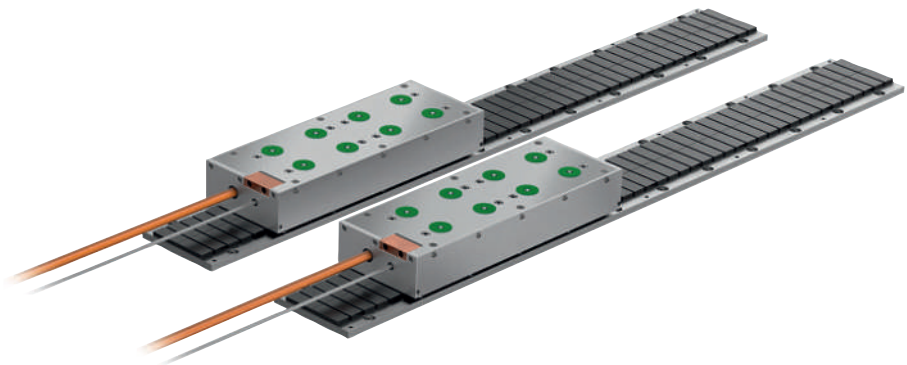
00188880

23 Janus-Anordnung



001B88D0

24 Parallel-Anordnung



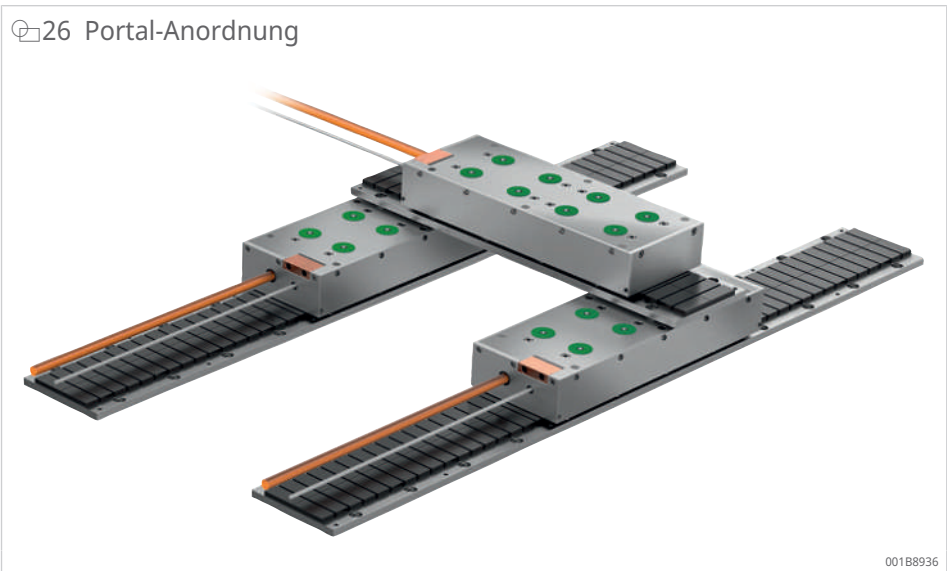
001B88F0

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 CO<sub>2</sub>-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  $v_{\text{work}}$ .

Schritt 2, (work):

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

Schritt 3, (dec):

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

### 12 Eckdaten für Beispiel

| Bezeichnung                 | Symbol            | Wert     | Bemerkung |
|-----------------------------|-------------------|----------|-----------|
| Arbeitshub                  | $s_{\text{work}}$ | 0,1 m    | -         |
| Bearbeitungsgeschwindigkeit | $v_{\text{work}}$ | 1,66 m/s | -         |
| Pausenzeit                  | $t_{\text{stop}}$ | 0,06 s   | -         |
| Zykluszeit                  | $t_{\text{tot}}$  | 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

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

|                   |     |                             |
|-------------------|-----|-----------------------------|
| $s_{\text{work}}$ | m   | Arbeitshub                  |
| $t_{\text{work}}$ | s   | Bearbeitungszeit            |
| $v_{\text{work}}$ | m/s | Bearbeitungsgeschwindigkeit |

f16

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

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

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

|                   |   |                         |
|-------------------|---|-------------------------|
| $t_{\text{acc}}$  | s | Zeit für Beschleunigung |
| $t_{\text{dec}}$  | s | Zeit für Abbremsen      |
| $t_{\text{stop}}$ | s | Pausenzeit              |
| $t_{\text{tot}}$  | s | Zykluszeit              |
| $t_{\text{work}}$ | s | Bearbeitungszeit        |

f18

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

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               |
| $\Delta t$ | s       | -               | 0,14 <sup>1)</sup> | -                | 0,06 <sup>2)</sup> | -               | 0,14 <sup>3)</sup> | -                | 0,06 <sup>4)</sup> |
| 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

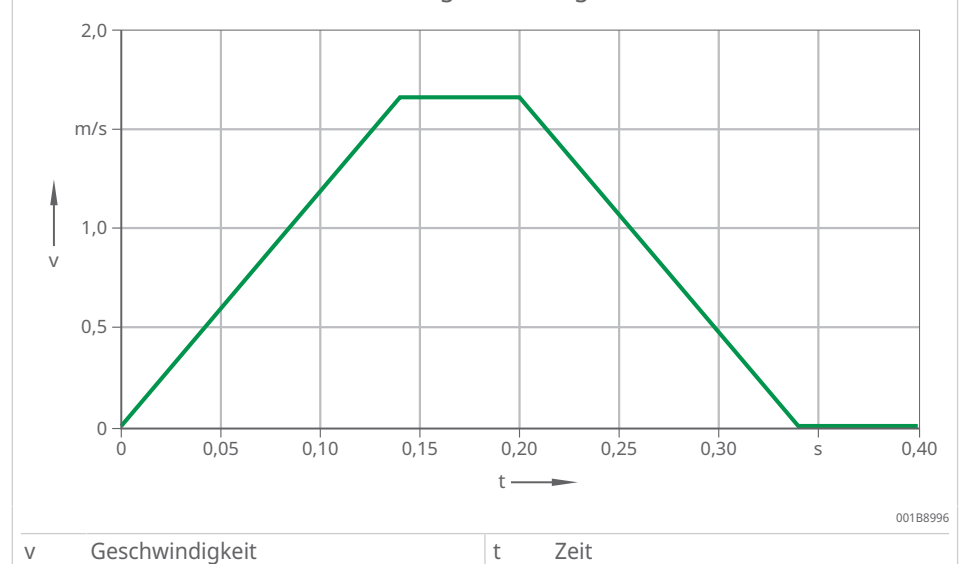
2)  $t_{work}$ : Bearbeitungszeit

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 <sup>2</sup> | Beschleunigung              |
| $t_{acc}$  | s                | Zeit für Beschleunigung     |
| $v_{work}$ | m/s              | Bearbeitungsgeschwindigkeit |

f121

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

10

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               |
| $\Delta t$ | s                | -               | 0,14 <sup>1)</sup> | -                | 0,06 <sup>2)</sup> | -               | 0,14 <sup>3)</sup> | -                | 0,06 <sup>4)</sup> |
| 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 <sup>2</sup> | 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 <sup>2</sup> | Beschleunigung          |
| $s_{acc}$ | m                | Beschleunigungsweg      |
| $t_{acc}$ | s                | Zeit für Beschleunigung |

f123

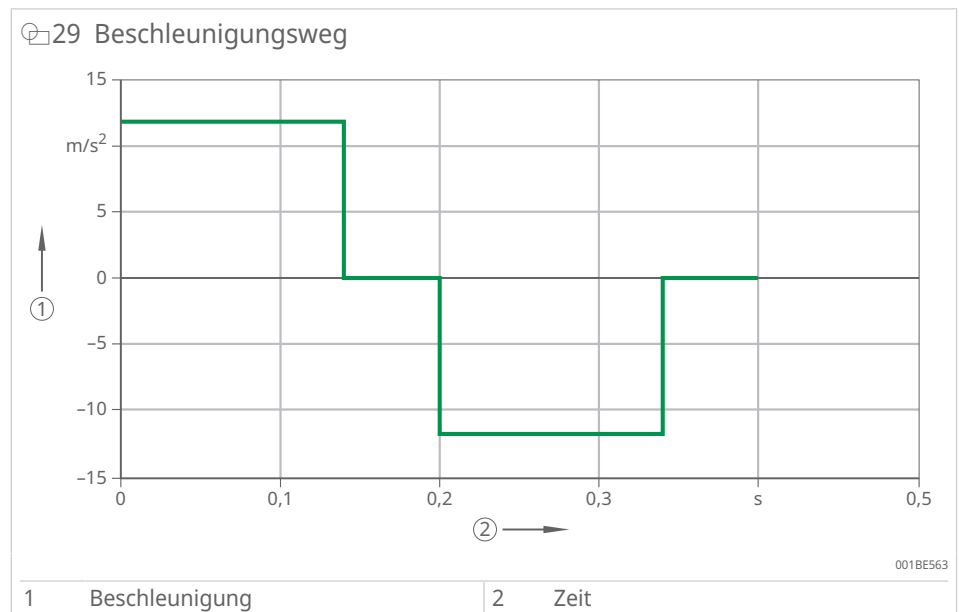
$$s_{acc} = \frac{1}{2} \cdot 11,86 \cdot 0,14^2 = 0,116 \text{ m}$$

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               |
| $\Delta t$ | s                | -               | 0,14 <sup>1)</sup> | -                | 0,06 <sup>2)</sup> | -               | 0,14 <sup>3)</sup> | -                | 0,06 <sup>4)</sup> |
| 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 <sup>2</sup> | 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

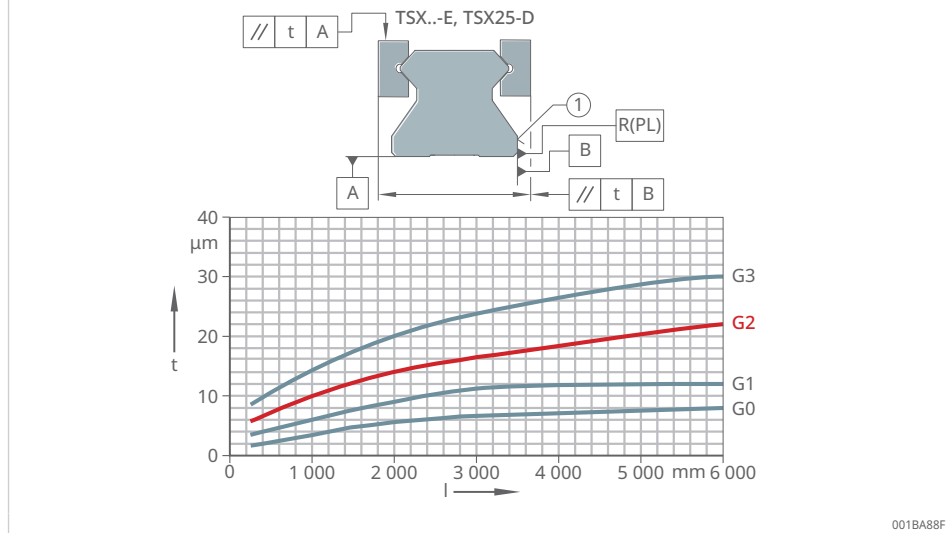


### 10.5 Führung, Masse und Reibung

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 ( $s_{acc} + s_{work} + s_{dec}$ ) 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  $F_{ca} = 13$  N je Führungswagen angenommen:

f124

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

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

f125

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

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  $F_{\text{acc}}$ , der Schlittenverschiebekraft  $F_{\text{RV}}$  und der Losbrechkraft  $F_{\text{L}}$ :

f132

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

|                      |   |                                     |
|----------------------|---|-------------------------------------|
| $F_{\text{acc}}$     | N | Beschleunigungskraft, ohne Reibung  |
| $F_{\text{acc tot}}$ | N | Beschleunigungskraft, inkl. Reibung |
| $F_{\text{L}}$       | N | Losbrechkraft                       |
| $F_{\text{RV}}$      | 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  $0 \text{ m/s}^2$ . Bei diesem Arbeitsschritt muss für die Beschleunigung keine Kraft aufgewendet werden. Es wirken lediglich die Schlittenverschiebekraft  $F_{\text{RV}}$  sowie die Bearbeitungskraft  $F_{\text{grind}}$ .

f134

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

|                    |   |                                      |
|--------------------|---|--------------------------------------|
| $F_{\text{grind}}$ | N | Bearbeitungskraft                    |
| $F_{\text{RV}}$    | N | Schlittenverschiebekraft             |
| $F_{\text{work}}$  | 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  $F_{\text{dec}}$  setzt sich aus der Beschleunigungskraft  $F_{\text{acc}}$  und der Schlittenverschiebekraft  $F_{\text{RV}}$  zusammen. Die Reibungskraft unterstützt die Verzögerung.

f136

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

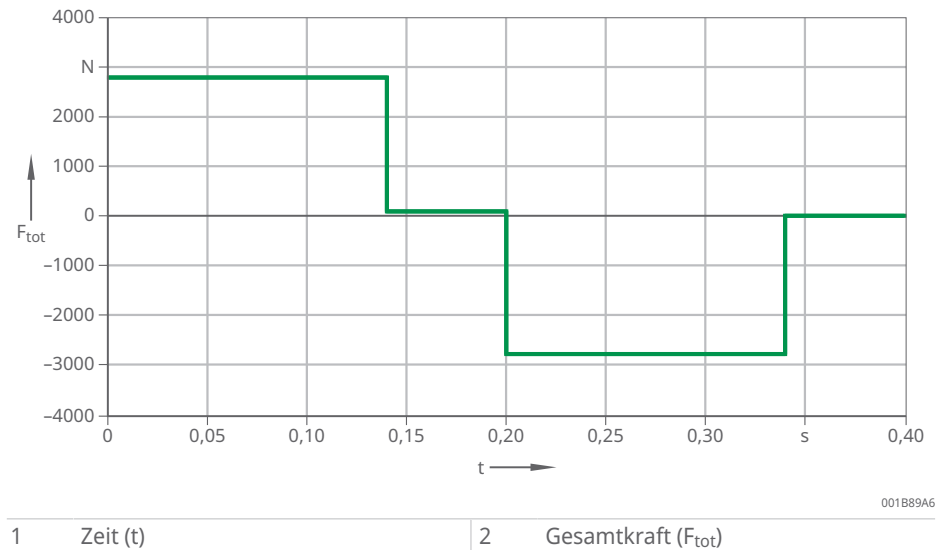
|                  |   |                                    |
|------------------|---|------------------------------------|
| $F_{\text{acc}}$ | N | Beschleunigungskraft, ohne Reibung |
| $F_{\text{dec}}$ | N | Bremskraft                         |
| $F_{\text{RV}}$  | N | Schlittenverschiebekraft           |

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 <sup>1)</sup> | -                | 0,06 <sup>2)</sup> | -               | 0,14 <sup>3)</sup> | -                | 0,06 <sup>4)</sup> |
| 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 <sup>2</sup> | 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 <sub>tot</sub> | N                | 2682            | 2682               | 72               | 72                 | -2557           | -2557              | 0                | 0                  |

- 1) t<sub>acc</sub>: Zeit für Beschleunigung
- 2) t<sub>work</sub>: Bearbeitungszeit
- 3) t<sub>dec</sub>: Zeit für Abbremsen
- 4) t<sub>stop</sub>: 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<sub>eff</sub> = 1,25 genutzt.

f138

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

|                       |   |  |
|-----------------------|---|--|
| F <sub>cw</sub>       | N | Nennkraft, gekühlt                           |
| F <sub>eff</sub>      | N | Effektivkraft                                |
| F <sub>safe eff</sub> | N | Effektivkraft, inkl. Sicherheitsfaktor       |
| SF <sub>eff</sub>     | - | 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  |
| $F_{\text{dec}}$     | N | Bremskraft                           |
| $F_{\text{eff}}$     | N | Effektivkraft                        |
| $F_{\text{work}}$    | N | Kraft bei konstanter Geschwindigkeit |
| $t_{\text{acc}}$     | s | Zeit für Beschleunigung              |
| $t_{\text{dec}}$     | s | Zeit für Abbremsen                   |
| $t_{\text{tot}}$     | s | Zykluszeit                           |
| $t_{\text{work}}$    | 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  $SF_{\text{eff}}$  ►49 | f.38 errechnet sich die für die Auswahl des Motors erforderliche Kraft  $F_{\text{safe eff}}$ .

f.42

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

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

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

Fall 1:  $F_{\text{acc tot}} > F_{\text{CW}}$

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

Fall 2:  $F_{\text{acc tot}} < F_{\text{CW}}$

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

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

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

Folgende Motoren erfüllen die Anforderungen:

### 17 Motoren

| Motor               | Spitzenkraft $F_p$ <sup>1)</sup> | Nennkraft $F_{\text{CW}}$ <sup>2)</sup> | Verlustleistung $P_{\text{Iw}}$ <sup>3)</sup> | Motor-konstante $k_m$ | Grenzgeschwindigkeit $v_{\text{Ip600}}$ <sup>4)</sup> | Grenzgeschwindigkeit $v_{\text{Iw600}}$ |
|---------------------|----------------------------------|---|---|-----------------------|---|---|
|                     | 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  $I_{\text{p eff}}$

2) bei  $I_{\text{CW eff}}$

3) bei  $F_{\text{CW}}$

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

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

L7----- 3P 0184 100 N---- N N M N- N.N SEK- N-- Y

#### 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

11

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

### 37 L7-Baureihe, Sekundärteilzubehör: Sekundärteilabdeckung

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

### 18 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 <sup>1)</sup>            | 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 |
|----------------------------|---------------------------|------------------|
| -                          | <b>mm</b>                 | -                |
| 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 <sup>1)</sup>            | 3000                      | 3000             |

<sup>1)</sup> x: Standardprofile zum Selbstablängen, Vorzugsprodukt



## 12 Technische Daten

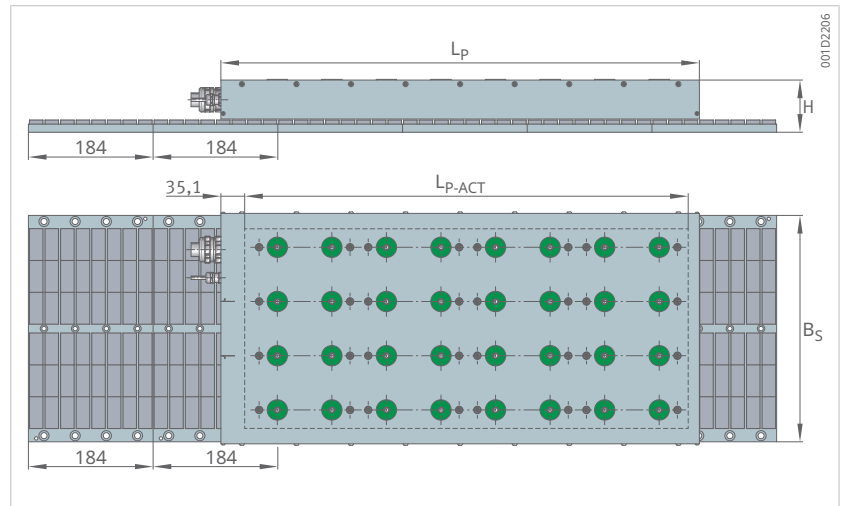
### 12.1 Erläuterungen

|                   |               |   |
|-------------------|---------------|---|
| $2\tau_p$         | -             | 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 $F_{cw}$                                  |
| $R_{20}$          | $\Omega$      | 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 $U_{DCL} = 600\ V$ |
| $\Delta p$        | bar           | Druckdifferenz  |
| $\Delta\vartheta$ | K             | Temperaturdifferenz des Kühlwassers                           |
| $\vartheta_{nf}$  | °C            | Nenn-Vorlauftemperatur  |
| $\vartheta_{PTC}$ | °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



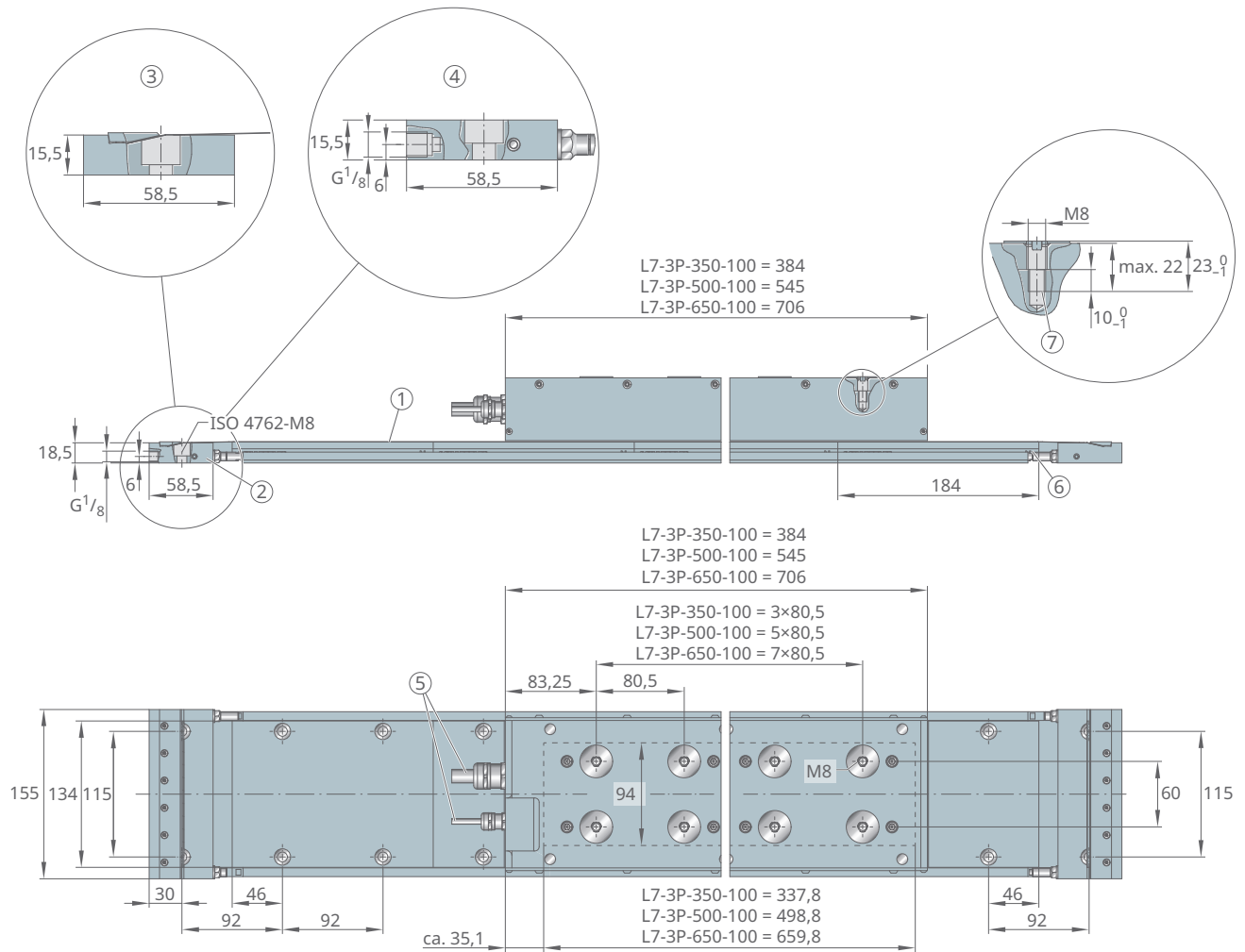
Abmessungen

### 20 Daten für Vorauswahl

| Baugröße | Wicklung | F <sub>p</sub> | F <sub>cw</sub> | V <sub>ip600</sub> | V <sub>ip300</sub> | I <sub>p eff</sub> | I <sub>cw eff</sub> | L <sub>p</sub> | B <sub>s</sub> | H  | L <sub>p-ACT</sub> | m <sub>p</sub> |
|----------|----------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------|----|--------------------|----------------|
| -        | -        | 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

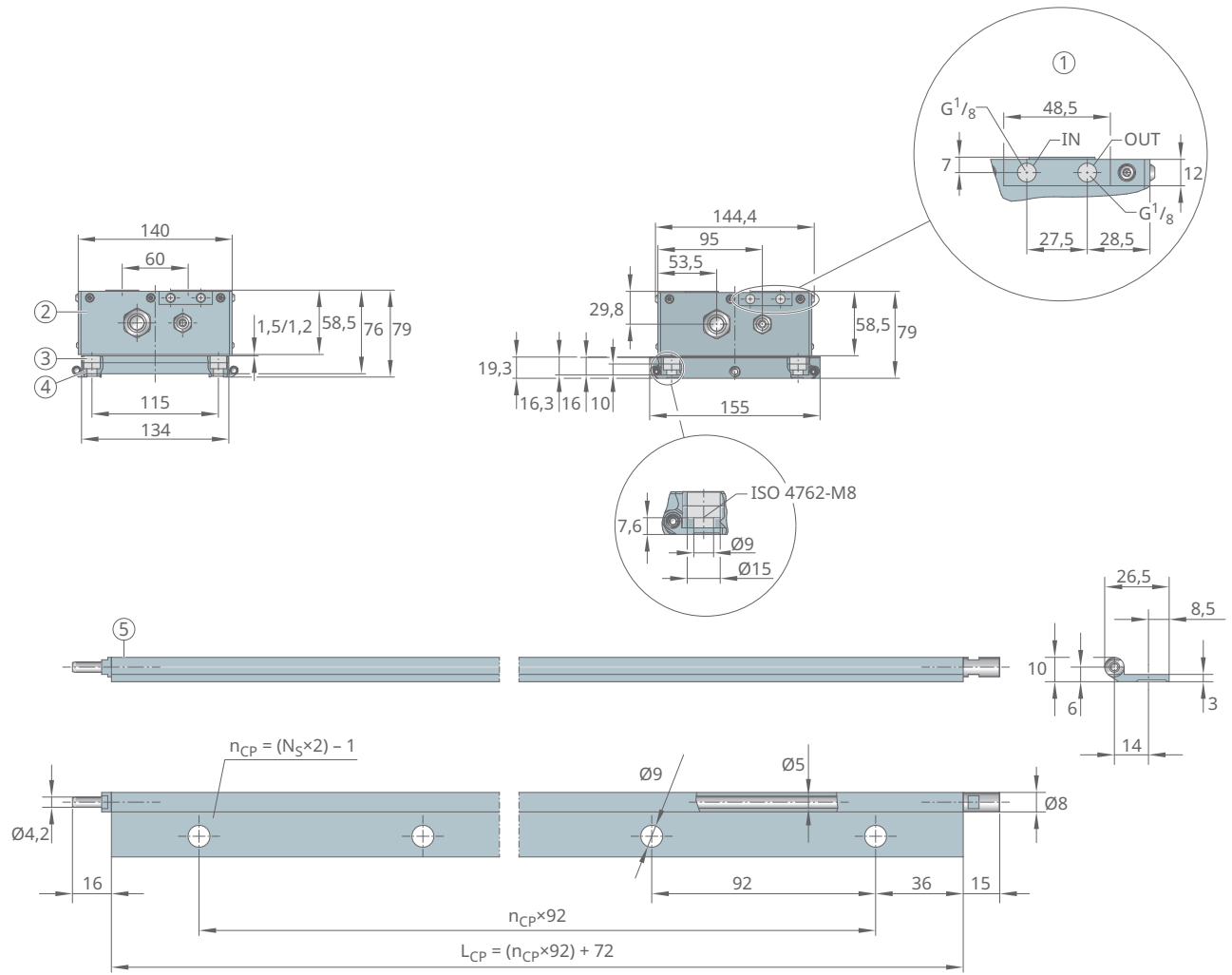


001DC0D2

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 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 <sub>P</sub>   | kg | 15            | 21            | 27            |
| Sekundärteil | Ausführung M               | m <sub>S</sub>   | kg | 2,56          | 2,56          | 2,56          |
|              | Ausführung P               | m <sub>SP</sub>  | kg | 2,64          | 2,64          | 2,64          |
| Endstücke    | mit Kühlung und Abdeckband | m <sub>EP1</sub> | kg | 0,45          | 0,45          | 0,45          |
|              | nur mit Abdeckband         | m <sub>EP2</sub> | kg | 0,372         | 0,372         | 0,372         |
|              | nur mit Kühlung            | m <sub>EP3</sub> | kg | 0,375         | 0,375         | 0,375         |

40 Geometrische Daten



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                  |                                    |

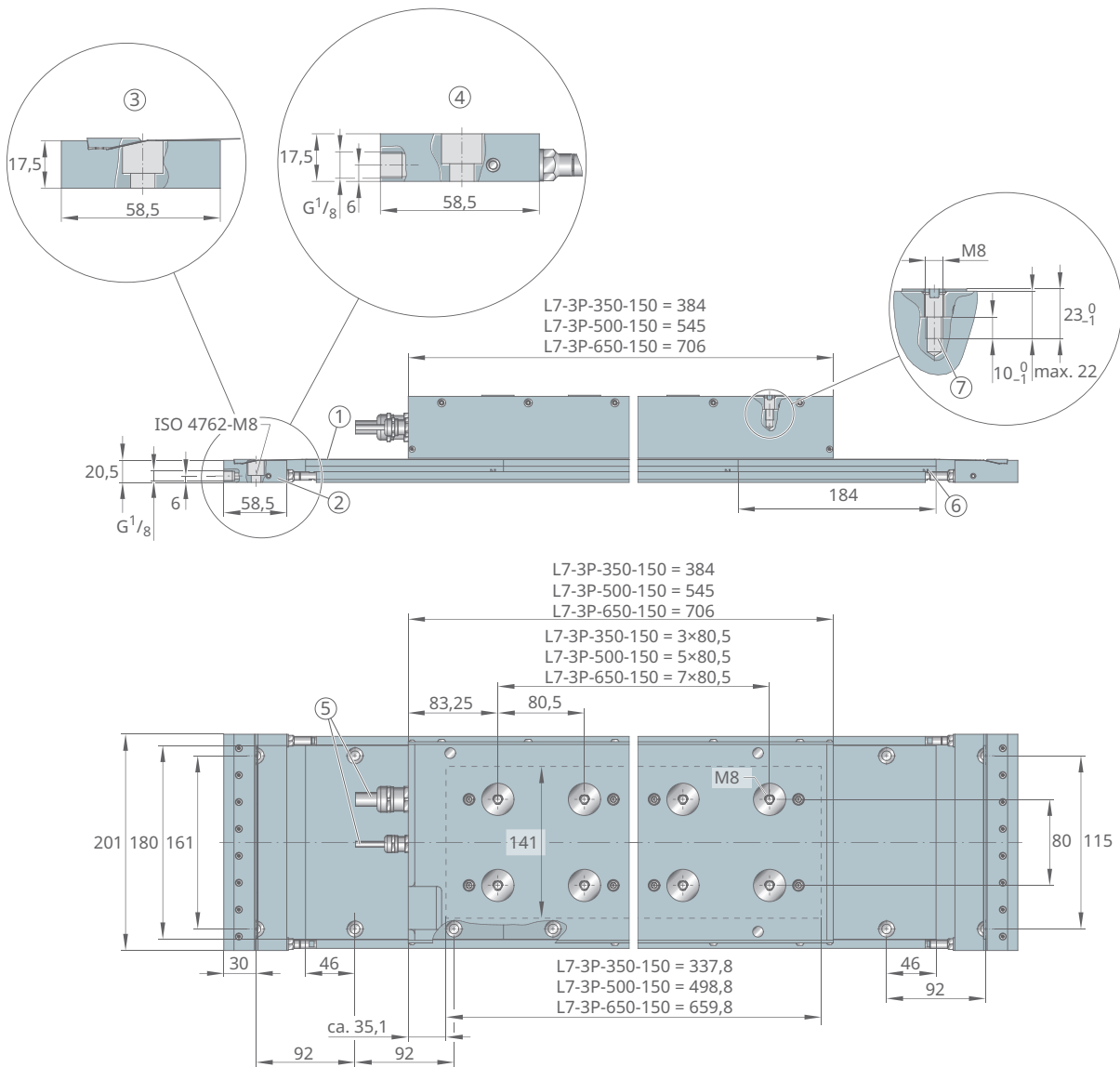
## 12.4 L7-3P-...-100 Leistungsdaten

| 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   | $R_{20}$            | $\Omega$      | 1,76    |
|                       | Induktivität, Ph zu Ph  | $L$                 | mH            | 29,69   |
|                       | Gegenspannungskonstante, Ph zu Ph   | $k_u$               | 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                                      | $\vartheta_{PTC}$   | °C            | 110     |
|                       | Anziehungskraft   | $F_a$               | N             | 6205    |
| Kühlbedingungen       | Kühlwasserdurchfluss  | $dV/dt$             | l/min         | 4,0     |
|                       | Nenn-Vorlauftemperatur des Kühlwassers                                    | $\vartheta_{nf}$    | °C            | 20      |
|                       | Temperaturdifferenz des Kühlwassers                                       | $\Delta\vartheta$   | K             | 3,8     |
|                       | Druckdifferenz  | $\Delta p$          | 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

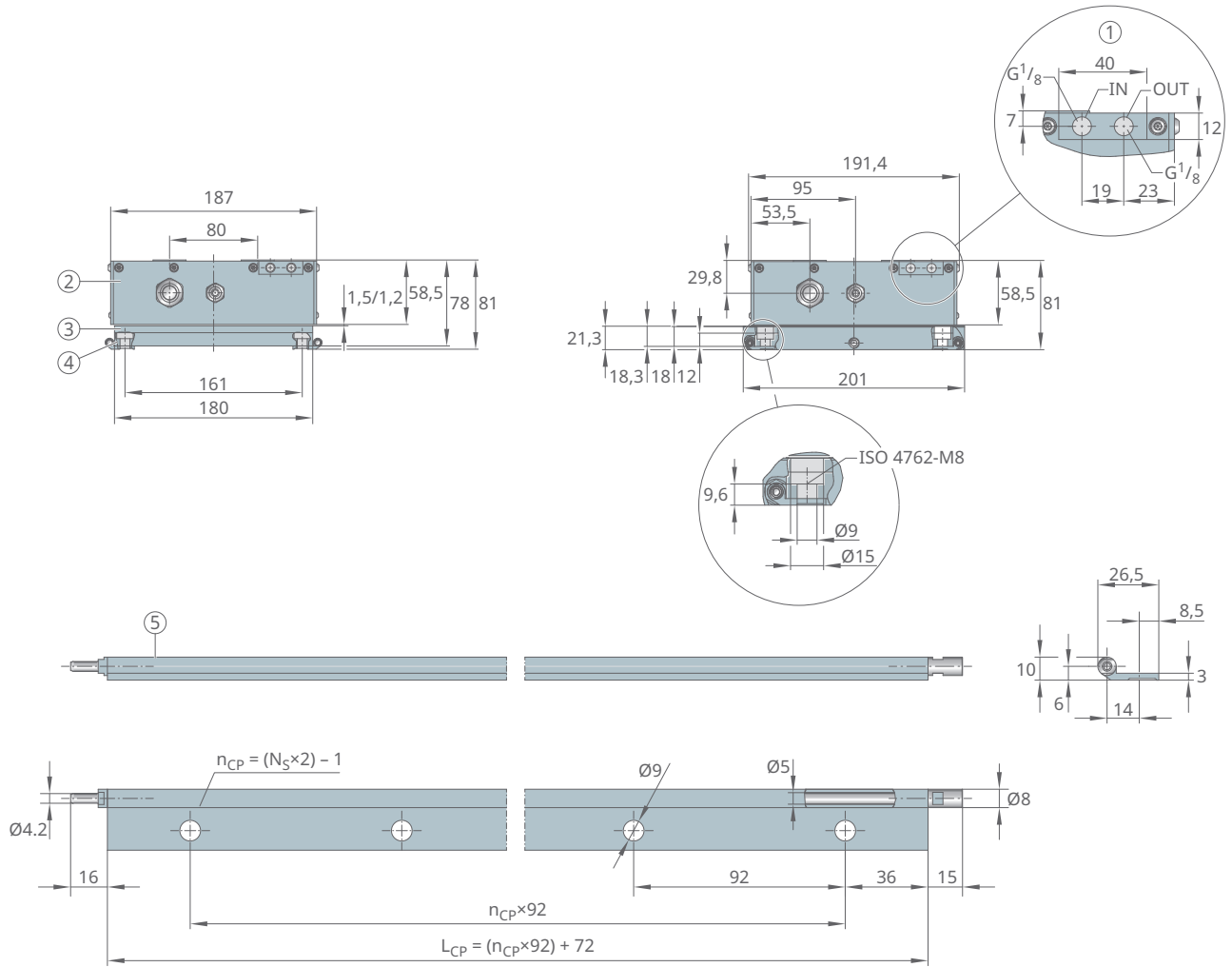


001DC2D2

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 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 <sub>P</sub>   | kg | 21            | 30            | 39            |
| Sekundärteil | Ausführung M               | m <sub>S</sub>   | kg | 4,07          | 4,07          | 4,07          |
|              | Ausführung P               | m <sub>SP</sub>  | kg | 4,16          | 4,16          | 4,16          |
| Endstücke    | mit Kühlung und Abdeckband | m <sub>EP1</sub> | kg | 0,645         | 0,645         | 0,645         |
|              | nur mit Abdeckband         | m <sub>EP2</sub> | kg | 0,548         | 0,548         | 0,548         |
|              | nur mit Kühlung            | m <sub>EP3</sub> | kg | 0,546         | 0,546         | 0,546         |

42 Geometrische Daten



001DC2D6

|   |   |   |                                    |
|---|---|---|------------------------------------|
| 1 | Anschlüsse für Wasserkühlung, Eingang und Ausgang   | 2 | Primärteil                         |
| 3 | Sekundärteil  | 4 | optional: Kühlprofil mit Verbinder |
| 5 | Kühlprofile sind in einer Länge L <sub>CP</sub> bis max. 2924 mm als Einzelprofil verfügbar |   |                                    |

|                 |    |   |
|-----------------|----|---|
| L <sub>CP</sub> | mm | Länge der Kühlprofile                     |
| n <sub>CP</sub> | -  | Anzahl der Bohrungsabstände im Kühlprofil |
| N <sub>S</sub>  | -  | Anzahl der Sekundärteile                  |

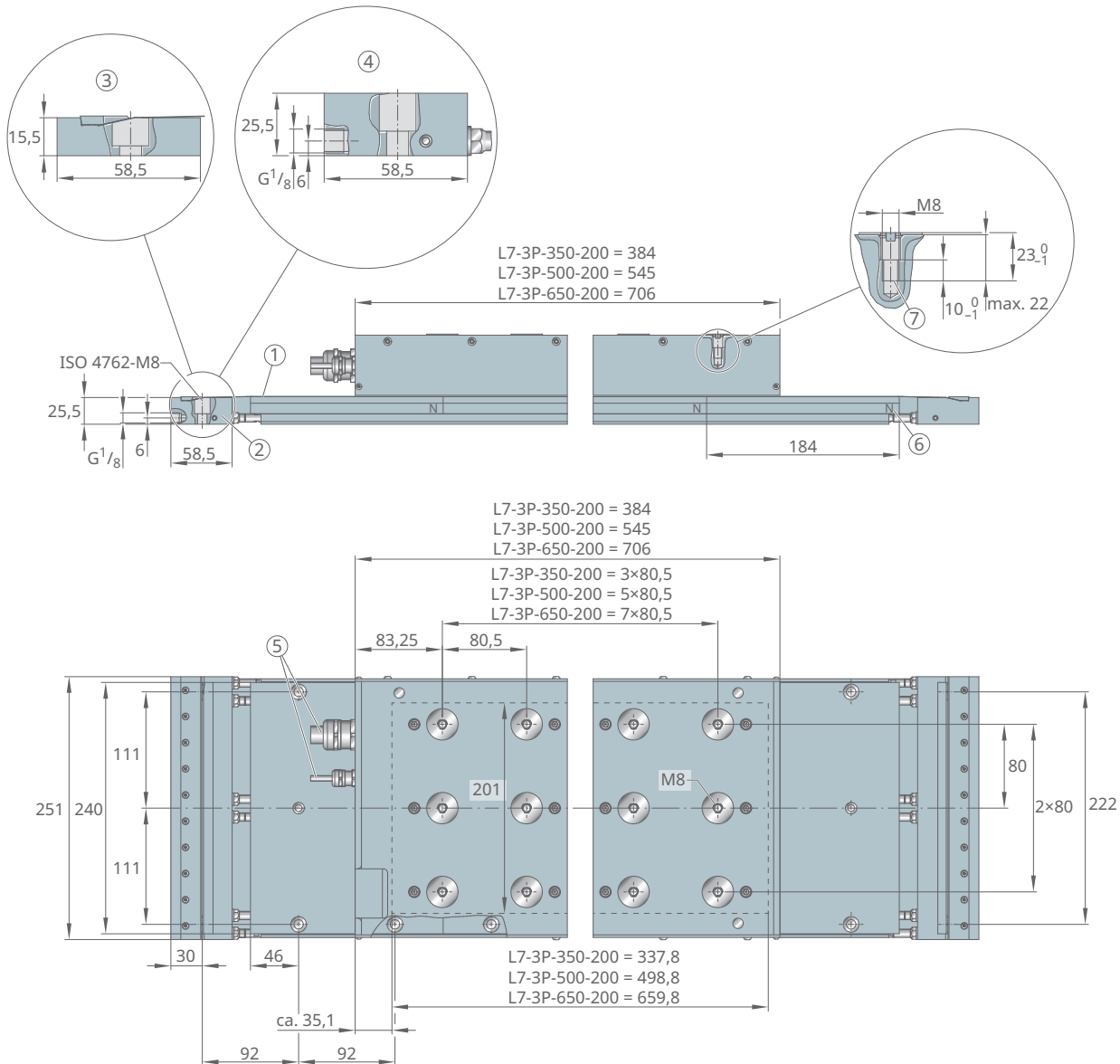
## 12.6 L7-3P-...-150 Leistungsdaten

| 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   | $R_{20}$            | $\Omega$      | 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                                      | $\vartheta_{PTC}$   | °C            | 110     |
|                       | Anziehungskraft   | $F_a$               | N             | 9307    |
| Kühlbedingungen       | Kühlwasserdurchfluss  | $dV/dt$             | l/min         | 4,0     |
|                       | Nenn-Vorlauftemperatur des Kühlwassers                                    | $\vartheta_{nf}$    | °C            | 20      |
|                       | Temperaturdifferenz des Kühlwassers                                       | $\Delta\vartheta$   | K             | 5,2     |
|                       | Druckdifferenz  | $\Delta p$          | 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

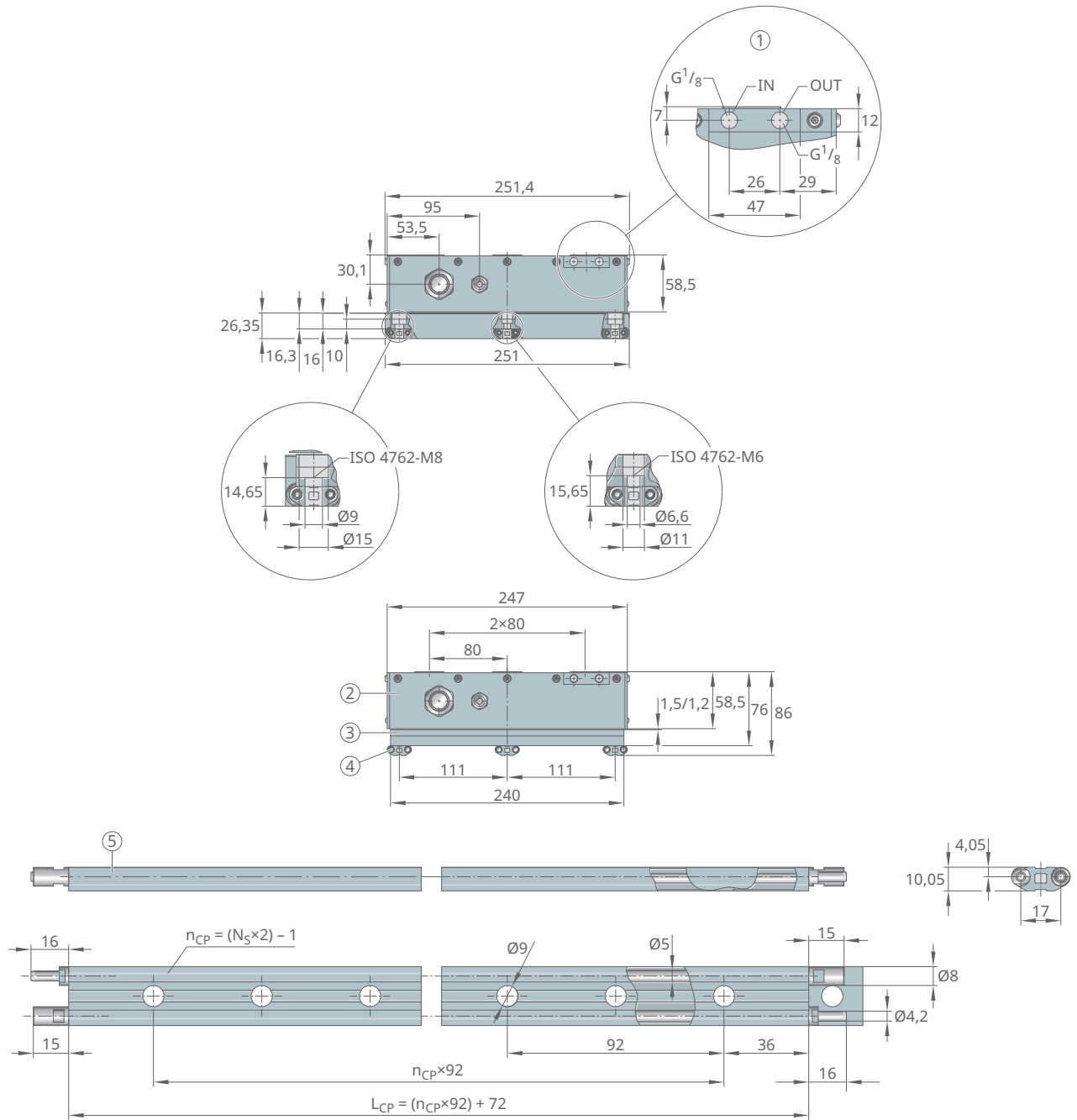


001DC344

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 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 <sub>SP</sub>  | kg | 4,85          | 4,85          | 4,85          |
| Endstücke    | mit Kühlung und Abdeckband | m <sub>EP1</sub> | kg | 1,033         | 1,033         | 1,033         |
|              | nur mit Abdeckband         | m <sub>EP2</sub> | kg | 0,609         | 0,609         | 0,609         |
|              | nur mit Kühlung            | m <sub>EP3</sub> | 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                  |

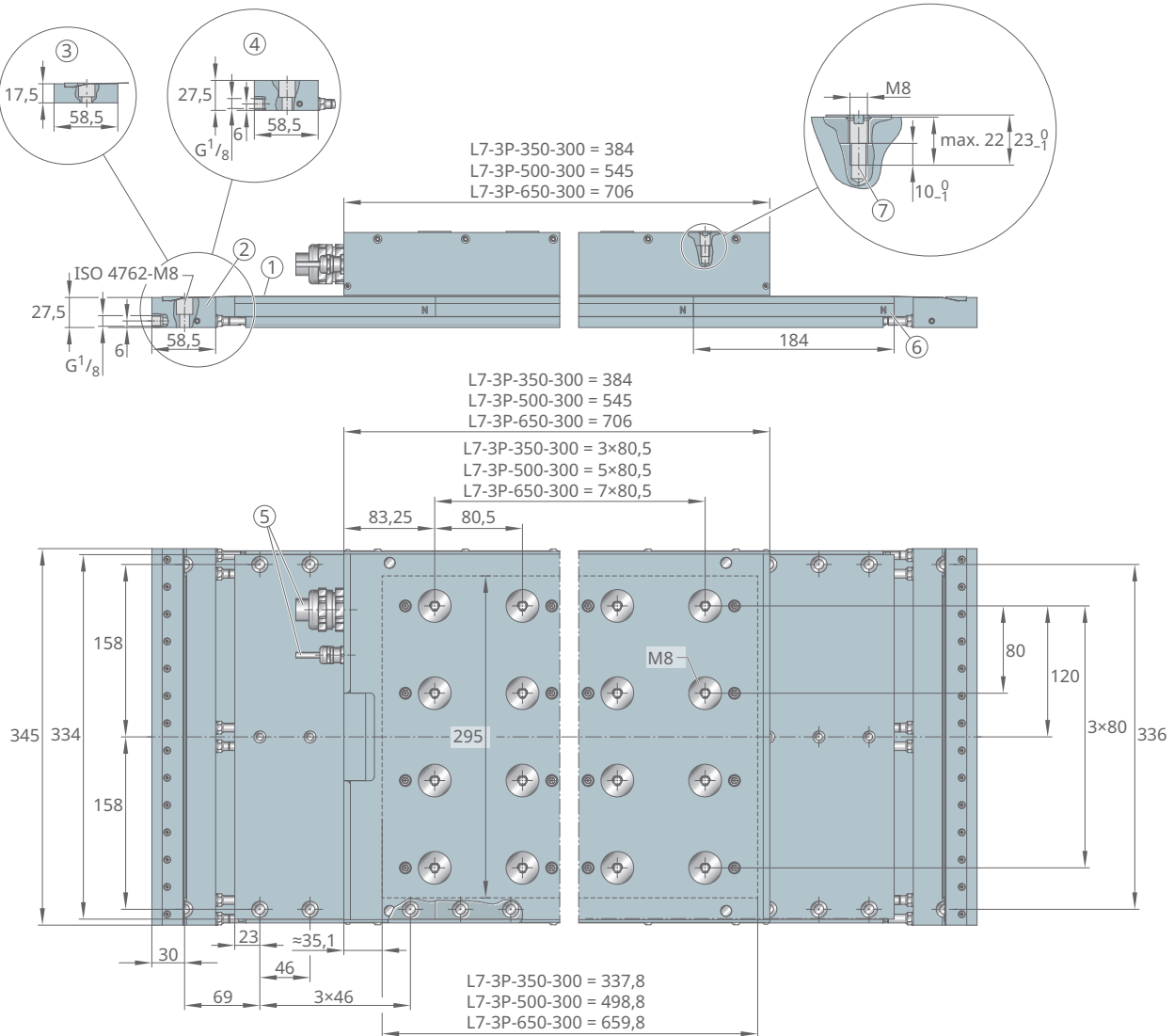
## 12.8 L7-3P-...-200 Leistungsdaten

| 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   | $R_{20}$            | $\Omega$      | 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                                      | $\vartheta_{PTC}$   | °C            | 110     |
|                       | Anziehungskraft   | $F_a$               | N             | 12410   |
| Kühlbedingungen       | Kühlwasserdurchfluss  | $dV/dt$             | l/min         | 4,5     |
|                       | Nenn-Vorlauftemperatur des Kühlwassers                                    | $\vartheta_{nf}$    | °C            | 20      |
|                       | Temperaturdifferenz des Kühlwassers                                       | $\Delta\vartheta$   | K             | 6,2     |
|                       | Druckdifferenz  | $\Delta p$          | 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

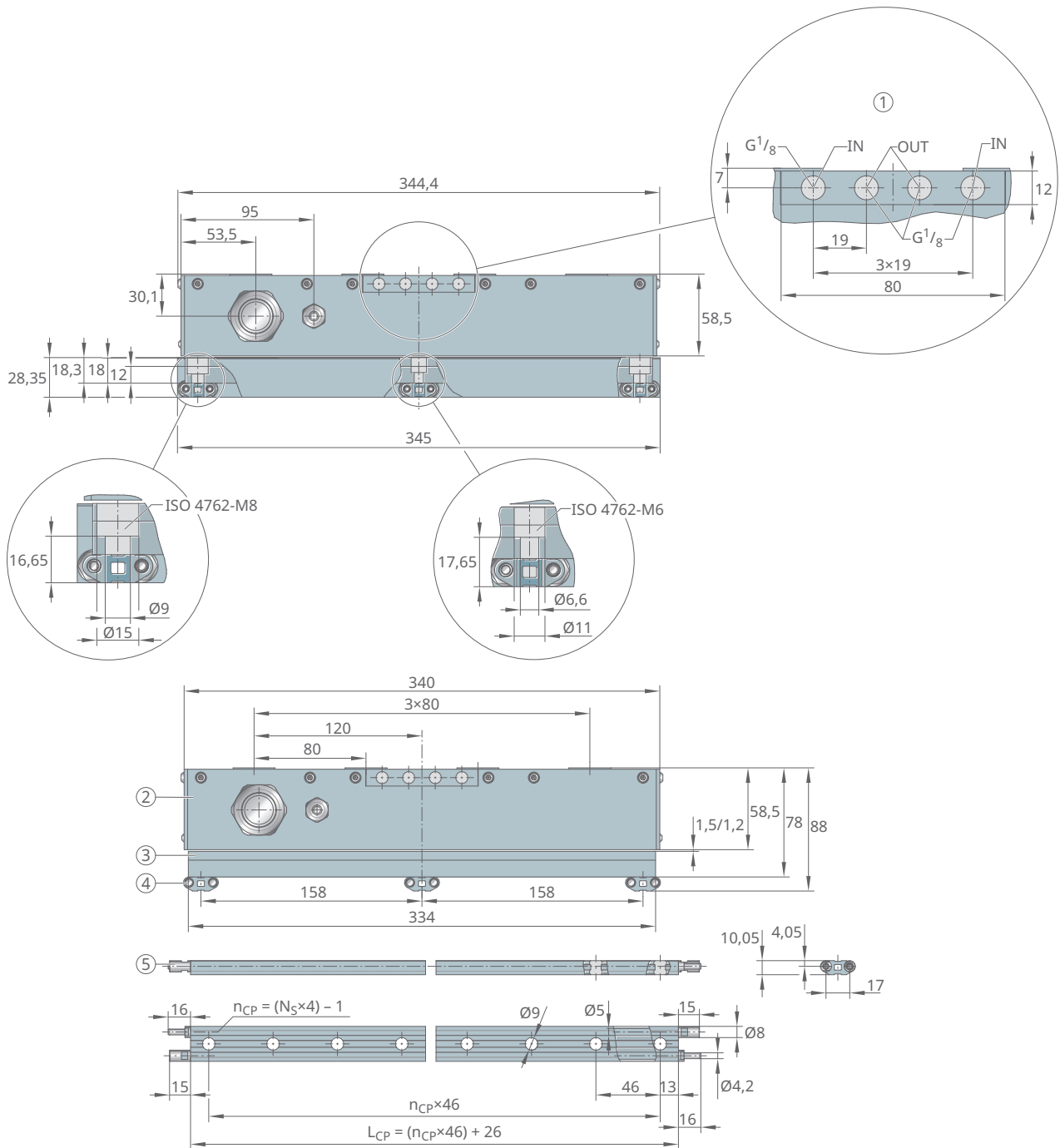


001D6927

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 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 <sub>P</sub>   | kg | 40            | 57            | 76            |
| Sekundärteil | Ausführung M               | m <sub>S</sub>   | kg | 7,5           | 7,5           | 7,5           |
|              | Ausführung P               | m <sub>SP</sub>  | kg | 7,7           | 7,7           | 7,7           |
| Endstücke    | mit Kühlung und Abdeckband | m <sub>EP1</sub> | kg | 1,517         | 1,517         | 1,517         |
|              | nur mit Abdeckband         | m <sub>EP2</sub> | kg | 0,95          | 0,95          | 0,95          |
|              | nur mit Kühlung            | m <sub>EP3</sub> | 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

12

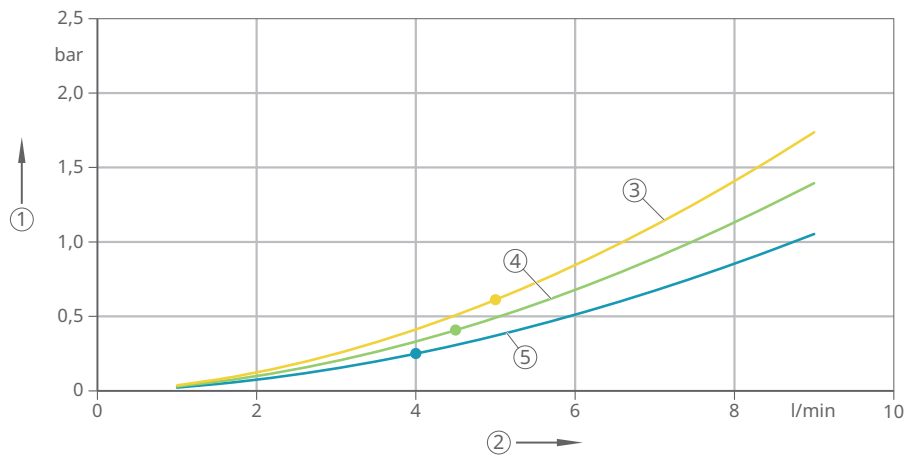
| Baugröße              |   |                   |               | 350-300 |
|-----------------------|---|-------------------|---------------|---------|
| Wicklungsausführung   |   |                   |               | Z2.8H   |
| Kräfte                | Grenzkraft bei $I_{u\ eff}$                                   | $F_u$             | N             | 13296   |
|                       | Spitzenkraft bei $I_{p\ eff}$                                 | $F_p$             | N             | 12157   |
|                       | Nennkraft, gekühlt bei $I_{cw\ eff}$                          | $F_{cw}$          | N             | 5667    |
|                       | Nennkraft, ungekühlt bei $I_{c\ eff}$                         | $F_c$             | N             | 1838    |
|                       | Stillstandskraft, gekühlt bei $I_{sw\ eff}$                   | $F_{sw}$          | N             | 3759    |
|                       | Rastkraft bei $I = 0$   | $F_{cog}$         | N             | 24,31   |
| Geschwindigkeiten     | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\ eff}$ und $U_{DCL} = 600\ V$  | $v_{lp600}$       | m/s           | 0,88    |
|                       | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\ eff}$ und $U_{DCL} = 600\ V$ | $v_{lw600}$       | m/s           | 2,04    |
|                       | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{p\ eff}$ und $U_{DCL} = 300\ V$  | $v_{lp300}$       | m/s           | 0,27    |
|                       | Grenzgeschwindigkeit bei $I_{cw\ eff}$ und $U_{DCL} = 300\ V$ | $v_{lw300}$       | m/s           | 0,88    |
| Ströme                | effektiver Grenzstrom   | $I_{u\ eff}$      | A             | 90,8    |
|                       | effektiver Spitzenstrom                                       | $I_{p\ eff}$      | A             | 72,7    |
|                       | effektiver Nennstrom, gekühlt                                 | $I_{cw\ eff}$     | A             | 24,9    |
|                       | effektiver Nennstrom, ungekühlt                               | $I_{c\ eff}$      | A             | 7,91    |
|                       | effektiver Stillstandsstrom, gekühlt                          | $I_{sw\ eff}$     | 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                             | $R_{20}$          | $\Omega$      | 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                          | $\vartheta_{PTC}$ | °C            | 110     |
|                       | Anziehungskraft   | $F_a$             | N             | 18615   |
| Kühlbedingungen       | Kühlwasserdurchfluss  | $dV/dt$           | l/min         | 11,0    |
|                       | Nenn-Vorlauftemperatur des Kühlwassers                        | $\vartheta_{nf}$  | °C            | 20      |
|                       | Temperaturdifferenz des Kühlwassers                           | $\Delta\vartheta$ | K             | 3,6     |
|                       | Druckdifferenz  | $\Delta p$        | 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-L-100

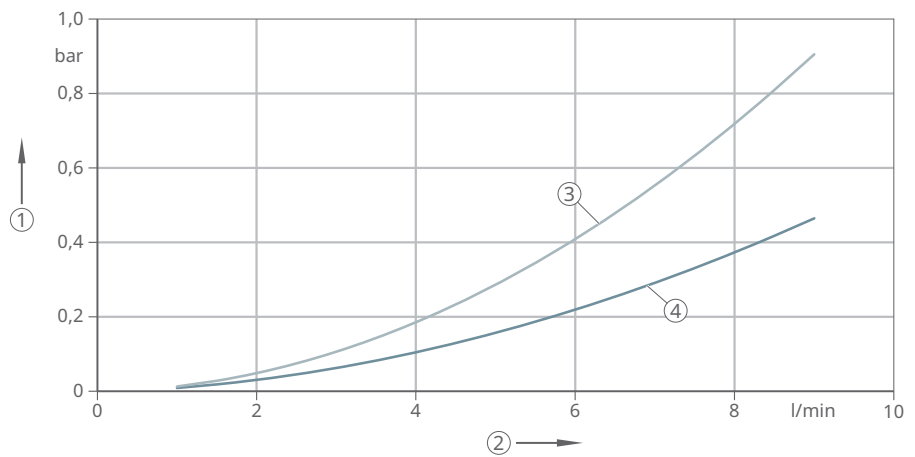
47 Druckdifferenz Primärteil



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

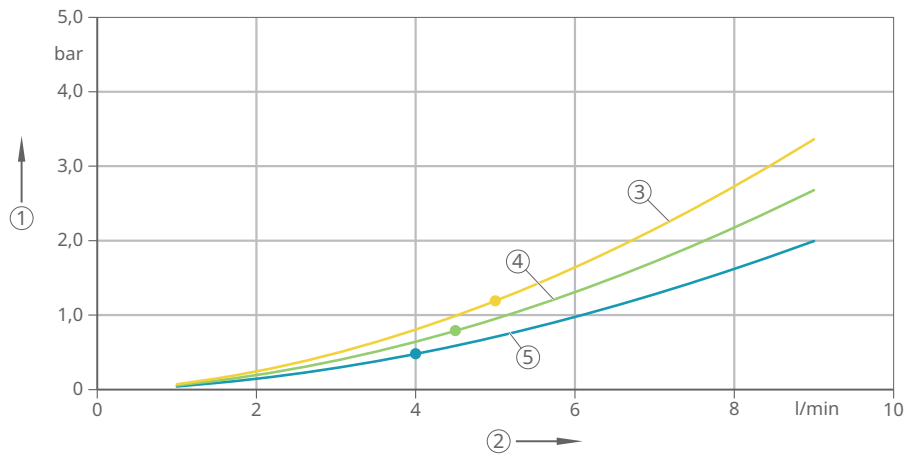


001DB47B

|   |                |   |              |
|---|----------------|---|--------------|
| 1 | Druckdifferenz | 2 | Volumenstrom |
| 3 | Endstück       | 4 | Kühlprofil   |

L7-3P-L-150

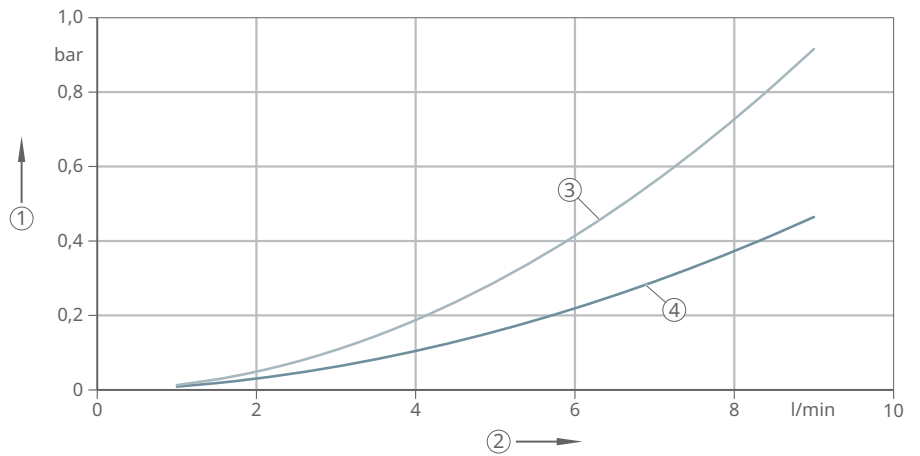
49 Druckdifferenz Primärteil



001DB4AB

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

50 Druckdifferenz Endstück und Kühlprofil

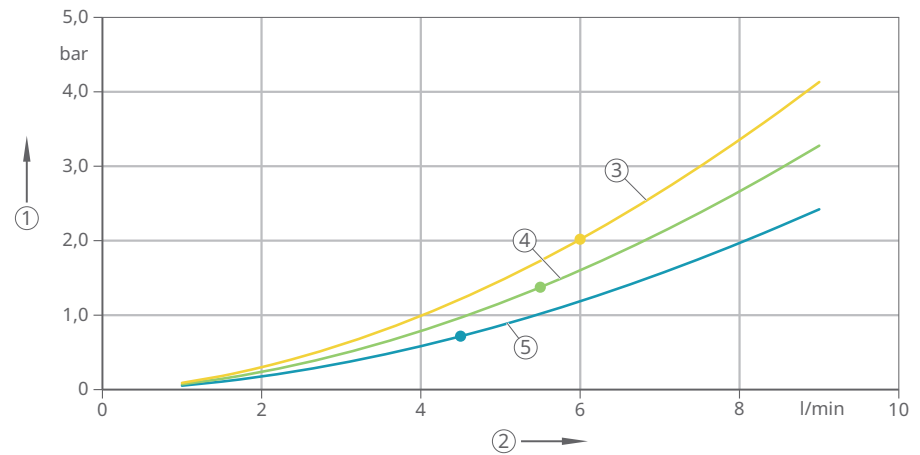


001DB4AF

|   |                |   |              |
|---|----------------|---|--------------|
| 1 | Druckdifferenz | 2 | Volumenstrom |
| 3 | Endstück       | 4 | Kühlprofil   |

L7-3P-L-200

51 Druckdifferenz Primärteil

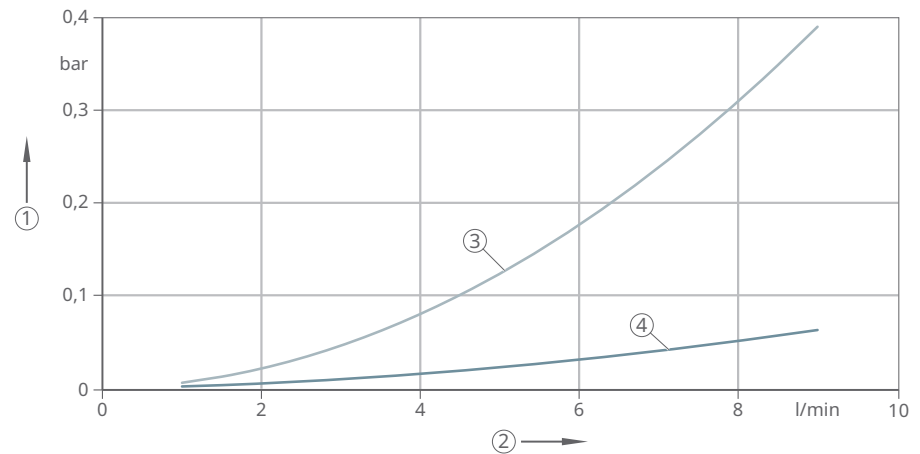


001DB4FD

|   |                    |   |                    |
|---|--------------------|---|--------------------|
| 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

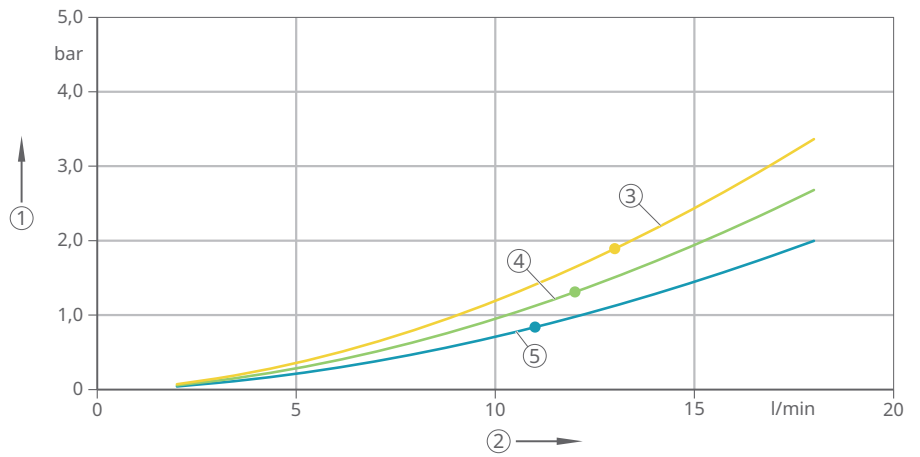


001DB501

|   |                |   |              |
|---|----------------|---|--------------|
| 1 | Druckdifferenz | 2 | Volumenstrom |
| 3 | Endstück       | 4 | Kühlprofil   |

L7-3P-L-300

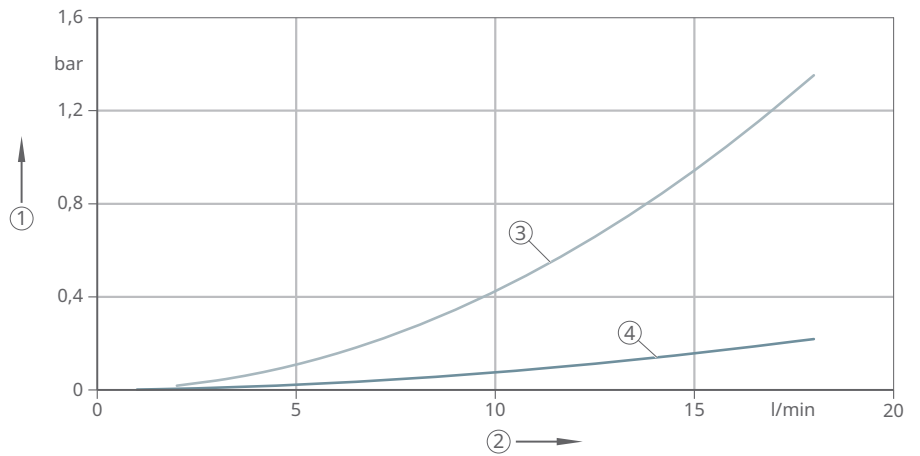
53 Druckdifferenz Primärteil



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.  $\tau_p$  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

 **$\Delta p$ , Druckdifferenz des Kühlmediums**

Druckdifferenz zwischen Einlass und Auslass des Kühlmediums.

 **$\Delta\vartheta$ , Temperaturdifferenz des Kühlwassers**

Max. Temperaturdifferenz zwischen Einlass und Auslass des Kühlwassers.

 **$\vartheta_{nf}$ , 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  $\vartheta_{PTC}$  ein.

 **$\vartheta_{PTC}$ , Abschaltschwelle 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](http://www.schaeffler-industrial-drives.com)  
[sales-sid@schaeffler.com](mailto: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