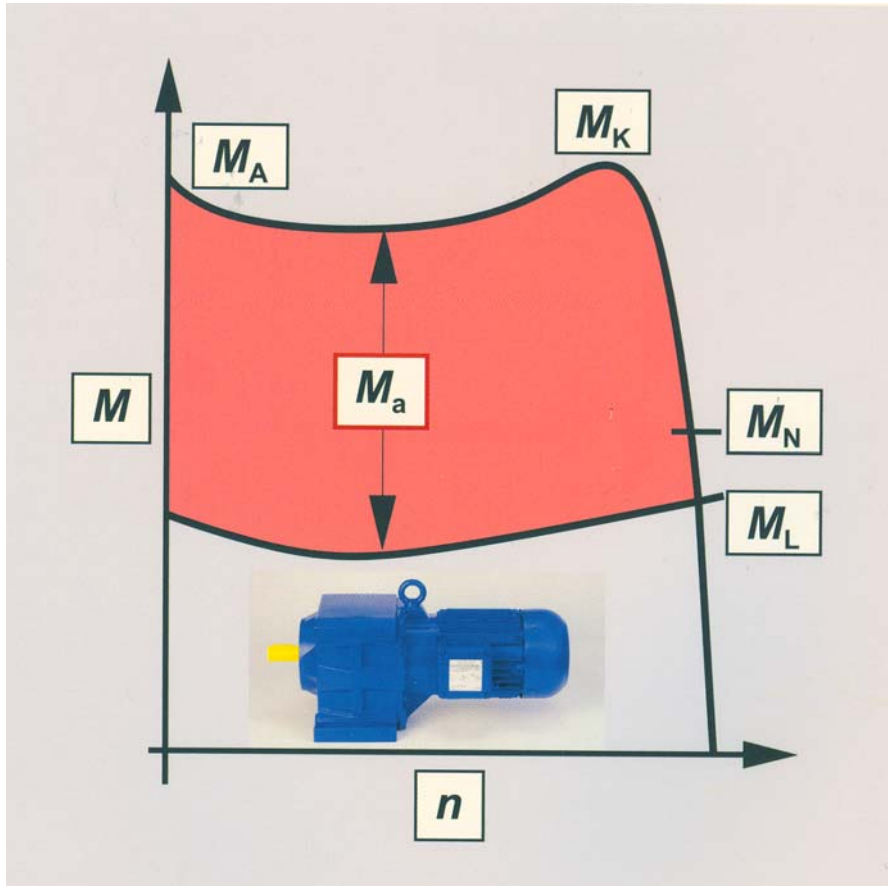


**Elektrische Antriebe
mit Getriebemotoren**



Helmut Greiner

Elektrische Antriebe
mit Getriebemotoren

Danfoss

Helmut Greiner

**Elektrische Antriebe
mit Getriebemotoren**

BAUER geared motors

The Gear Motor Specialist

Dipl.-Ing. (FH) Helmut Greiner , Jahrgang 1929, ist gelernter Elektroinstallateur und hat ein Ingenieurstudium im Fach Elektrotechnik absolviert. Er hat vier Jahrzehnte in der Firma Bauer Antriebstechnik in Esslingen auf dem Gebiet der Motorenentwicklung gearbeitet und ist jetzt für Danfoss Bauer GmbH beratend tätig.

Diese Publikation der Fa. Danfoss Bauer GmbH darf ohne vorherige Genehmigung des Herausgebers weder auszugsweise noch vollständig nachgedruckt werden. Alle Rechte vorbehalten.

Die Angaben wurden nach dem derzeitigen Stand der Normen und Vorschriften sorgfältig zusammengestellt und geprüft. Verbindlich ist der jeweilige Stand der technischen und gesetzlichen Regeln sowie der Stand der Konstruktion und Fertigung bei Danfoss Bauer.

Für Schäden, die sich aus der Verwendung dieser Angaben ergeben könnten, wird keine Haftung übernommen.

© Danfoss Bauer GmbH
Printed in Germany
Gesamtherstellung: SV Druck und Medien GmbH Co. KG, Balingen

VORWORT

Bis etwa zum Jahr 1930 bestand bei der Auswahl eines elektrischen Einzelantriebs das Problem, dass Elektromotoren ihre Leistung mit relativ hohen Drehzahlen und entsprechend niedrigen Drehmomenten anbieten, sodass eine offene Nachuntersetzung – meist in Form eines »Riemenvorgeleges« – erforderlich war. Bei den ersten, meist noch handwerklich hergestellten »Getriebemotoren« waren Elektromotor und Nachuntersetzung konstruktiv vereinigt. Der Fußmotor diente als Basis für ein integriertes, einstufiges Getriebe und wurde als »Vorgelegemotor« oder »Elektromotor mit Getriebekopf« bezeichnet. Bei den größeren mehrstufigen Getrieben diente dann das Getriebe als Basis und es entstand die heute übliche Bauweise, bei der Eintriebswelle und Arbeitswelle »in-line« angeordnet sind und die sich dem Anwender als »langsam laufender Elektromotor« darstellt.

Heute sind Getriebemotoren ein erheblicher Faktor der Antriebstechnik; je nach Branche wird ihr Anteil auf 25 ... 75 % des jeweiligen Bestands an Elektromotoren geschätzt. Sie werden mit Bemessungsleistungen bis zu etwa 100 kW und mit Drehzahlen von weniger als 1 r/min bis unter etwa 750 r/min aus einem konstruktiven Baukasten in Serie gefertigt und in Katalogen angeboten.

Als »prime mover« wird meist der Drehstrommotor in seinen verschiedenen Ausführungsarten benutzt. Zur stufenlosen Verstellung oder Regelung der Drehzahl dominiert die Frequenzverstellung über statische Umrichter – bei kleinen Leistungen bis derzeit 7,5 kW jetzt auch mit integriertem Umrichter als »Getriebe-Umrichtermotor«. Der Gleichstrom-Nebenschlussmotor ist weitgehend abgelöst. Die Anbaumaße der Motoren sind meist der Forderung nach möglichst kompakter Ausführung untergeordnet; es werden also keine »Normmotoren« verwendet. In allen anderen Belangen sind jedoch die weitreichenden Normen für elektrische Maschinen eingehalten.

Bei der Gestaltung und Ausnutzung der Getriebe bestehen im Vergleich zu den Motoren große Freiheitsgrade, die nur durch die optimale bauliche Anpassung an den Verwendungszweck und durch die Anforderungen an Zuverlässigkeit und Lebensdauer eines Qualitätsprodukts bestimmt werden. Neben dem in Deutschland mit etwa 40% dominierenden Anteil der Stirnradgetriebe mit konzentrischem Abtrieb teilen sich die Bauarten Aufsteck-Flachgetriebe, Kegelradgetriebe und Schneckengetriebe den Rest des Marktes etwa gleichmäßig.

Das Buch befasst sich in praxisnaher Form mit den Kriterien für Bemessung, Auswahl und Anwendung von Getriebemotoren – es gibt einen Teil der in 50 Jahren auf diesem Gebiet gesammelten Erfahrungen wider.

Aichschieß, im März 2001

Helmut Greiner

Die erste Auflage war rasch vergriffen; bei der Überarbeitung zu jetzt vorliegenden zweiten Auflage wurden neue Normen beachtet und einige Abschnitte erweitert oder ganz neu aufgenommen.

Aichschieß, im August 2007

Helmut Greiner

INHALTSVERZEICHNIS**I GETRIEBEMOTOREN**

- 1 Antriebe mit niedrigen Drehzahlen
 - 1.1 Drehzahlbedarf – Drehzahlangebot
 - 1.2 Zugmittel-Getriebe
 - 1.3 Wirtschaftliche Drehzahlgrenzen bei Drehstrommotoren
 - 1.4 Wichtige Konstruktionsmerkmale bei Getriebemotoren
 - 1.5 Zahnrad-Getriebe
 - 1.6 Abstufung der Getriebegrößen
 - 1.7 Bauart des Getriebes und Raumbedarf
- 2 Bemessungsdrehmoment
 - 2.1 Berechnung der Bemessungsleistung aus dem Drehmoment
 - 2.2 Leistungsbedarf bei verschiedenen Geschwindigkeiten
 - 2.3 Berechnung der Drehzahl aus der Geschwindigkeit
- 3 Normmotoren an Getrieben
 - 3.1 Direktanbau eines Flanschmotors
 - 3.1.1 Fehlende oder mangelhafte Dichtung
 - 3.1.2 Unnötig langer Wellenstumpf
 - 3.1.3 Unnötig dicker Wellenstumpf
 - 3.2 Adapter-Anbau eines Flanschmotors
 - 3.3 Richtige Ersatzhaltung: Motorteil oder Getriebemotor
 - 3.4 Vom Maßmotor zum Europäischen Normmotor
- 4 Katalogdarstellung von Getriebemotoren
 - 4.1 Titelgrafik
 - 4.2 Technische Beschreibung
 - 4.3 Leistungsbereich
 - 4.4 Drehzahlbereich
 - 4.5 Zahl der Getriebegrößen
 - 4.6 Zahl der Motorgrößen
 - 4.7 Gewichte
 - 4.8 Ausnutzungskennziffer
 - 4.9 Wellendurchmesser
 - 4.10 Hüllmaße des Getriebemotors
 - 4.11 Preise
 - 4.12 Computergestützte Antriebswahl

II ELEKTRISCHE KENNGRÖSSEN VON KÄFIGLÄUFERMOTOREN

- 5 Bemessungsspannung
 - 5.1 Übliche Netzspannungen
 - 5.1.1 Deutschland
 - 5.1.2 Großbritannien, Australien, Indien
 - 5.1.3 Nordamerika (Frequenz 60 Hz)

- 5.2 Welt-Normspannung nach DIN IEC 60038
 - 5.2.1 Norm für die Netze
 - 5.2.2 Bedeutung der Spannungsangabe 230 V
 - 5.2.3 Akzeptanz der »Eurospannung« in europäischen Ländern
- 5.3 Zulässige Spannungsschwankung für elektrische Maschinen
- 5.4 Wicklungen für einen Bereich der Bemessungsspannung
 - 5.4.1 Notwendigkeit für Spannungsbereiche
 - 5.4.2 Schreibweise für einen Spannungsbereich
 - 5.4.3 Toleranz auf den Spannungsbereich
- 5.5 Grenzen und Risiken eines Weitspannungsbereichs
- 5.6 Betriebsverhalten bei Spannungsänderung
 - 5.6.1 Bemessungsspannung (Flussdichte) im Optimum
 - 5.6.2 Bemessungsspannung (Flussdichte) unterhalb Optimum
 - 5.6.3 Bemessungsspannung (Flussdichte) oberhalb Optimum
- 5.7 Leistungsfaktor als Maßstab für die optimale Flussdichte
- 5.8 Empfehlung zum Weiterbetrieb an 400 V
- 5.9 Bezeichnung der Netzart
- 5.10 Motoren für zwei Netzspannungen
 - 5.10.1 Netz 220 V nicht mehr gebräuchlich
 - 5.10.2 Bezeichnung 660 V mit doppelter Bedeutung
 - 5.10.3 Spannungsumschaltung Δ/Y im Verhältnis 1:1,73
 - 5.10.4 Spannungsumschaltung $\Delta/\Delta\Delta$ im Verhältnis 1:2
- 6 Bemessungsleistung
 - 6.1 Hulleistung
 - 6.2 Reibungsleistung
 - 6.3 Gesamtleistung des Antriebs
 - 6.4 Bestimmung der Bemessungsleistung
- 7 Bemessungsstrom
- 8 Bemessungsdrehzahl
 - 8.1 Asynchronmotoren mit Käfigläufer
 - 8.2 Bemessungsschlupf
 - 8.3 Asynchronmotoren mit Schlupfläufer
- 9 Wirkungsgrad
 - 9.1 Klasseneinteilung der Wirkungsgrade
 - 9.2 Abhängigkeit von Motorgröße und Auslastung
- III BAUARTEN UND KENNGRÖSSEN VON GETRIEBEN**
- 10 Stirnradgetriebe mit zentralem Abtrieb
 - 10.1 Ritzelsitz an der Läuferwelle
 - 10.2 Zahnradwerkstoff und Härte
 - 10.3 Schrägungswinkel

11	Aufsteckgetriebe mit parallelem Abtrieb
11.1	Ausführung der Hohlwelle
11.1.1	Hohlwelle mit Passfeder
11.1.2	Hohlwelle mit Schrumpfscheibenverbindung (SSV)
11.2	Drehmomentstütze
11.3	Anwendungsbeispiel Fahrwagen
11.4	Kostenvergleich
12	Kegelradgetriebe mit rechtwinkligem Abtrieb
12.1	Anordnung der Kegelradstufe
12.2	Kostenvergleich Kegelradgetriebe – Schneckengetriebe
13	Schneckengetriebe mit rechtwinkligem Abtrieb
13.1	Anwendungsbeispiel der Baureihe BS
13.2	Preisvergleich Schneckengetriebe – Stirnradgetriebe
14	Direktvergleich BG – BF – BK – BS
15	Getriebewirkungsgrad
15.1	Stirnradgetriebe und Kegelradgetriebe
15.2	Schneckengetriebe
16	Querkraftbelastung der Arbeitswelle
16.1	Höhe und Richtung der Querkraft
16.1.1	Translation
16.1.2	Rotation
16.2	Antriebs Elemente mit formschlüssiger Kraftübertragung
16.3	Kettenantrieb
16.4	Antrieb über Stirn-Zahnräder
16.5	Antriebs Elemente mit reibschlüssiger Kraftübertragung
16.6	Riemenantrieb
16.7	Antrieb über Reibrad
16.8	Belastbarkeit der Arbeitswellenlager
16.9	Gehäuseoptimierung mit der Finite-Elemente-Methode (FEM)
17	Schmierung
17.1	Viskosität
17.2	Hochdruckeigenschaften
17.3	Schmierfrist
17.4	Synthetische Schmierstoffe
18	Trommelmotoren
IV	BETRIEBSARTEN
19	Einteilung der Betriebsarten
19.1	Begriffe
19.2	Angabe des Betriebes
19.3	Betriebsarten nach Norm
20	Dauerbetrieb S1
21	Kurzzeitbetrieb S2

- 22 Aussetzbetrieb S3 und Durchlaufbetrieb mit Aussetzbelastung S6
- 23 Aussetz-Schaltbetrieb S4

V NORMEN FÜR MOTORAUSFÜHRUNGEN

- 24 Schutzart (IP-Code)
 - 24.1 Bezeichnung der Normen
 - 24.2 Anordnung des IP-Code
 - 24.3 Bedeutung des IP-Code
 - 24.4 Fakultativer Zusatzbuchstabe für den Berührungsschutz
 - 24.5 Häufig verwendete Schutzarten bei elektrischen Maschinen
- 25 Kühlverfahren (IC-Code)
 - 25.1 Ursprung des Bezeichnungssystems
 - 25.2 Ausführliches Bezeichnungssystem
 - 25.3 Vereinfachtes Bezeichnungssystem
 - 25.4 Kennziffer für Kühlkreisordnung
 - 25.5 Kennbuchstabe für das Kühlmittel
 - 25.6 Kennziffer für Bewegungsart des Kühlmittels
 - 25.7 Allgemein gebräuchliche Bezeichnungen
 - 25.8 Kennzeichnung auf dem Leistungsschild
 - 25.9 Zusammenfassung
 - 25.10 Beispiele aus dem Danfoss-Bauer-Fertigungsprogramm
- 26 Aufstellung (IM-Code)
 - 26.1 Aufbau des Kennzeichens
 - 26.1.1 DIN 42950 (überholt) sowie Code I in den gültigen Normen
 - 26.1.2 Code II
 - 26.1.3 Bedeutung der ersten Kennziffer im Code II
 - 26.1.4 Bedeutung der vierten Kennziffer im Code II
 - 26.2 Lage des Klemmenkasten
 - 26.3 Maschinen mit Lagerschilden, waagrechte Aufstellung
 - 26.3 Maschinen mit Lagerschilden, senkrechte Aufstellung
- 27 Äußere mechanische Beanspruchung (IK-Code)
 - 27.1 Hintergründe
 - 27.2 Anwendungsbereich der Norm
 - 27.3 Aufbau des IK-Code
 - 27.4 Bedeutung des IK-Code
 - 27.5 Zusammenfassung
- 28 Explosionsschutz
 - 28.1 EG-Richtlinien
 - 28.2 Zertifizierung
 - 28.3 Zündschutzarten
 - 28.4 Ausländische Ex-Vorschriften
 - 28.4.1 Europäische Vorschriften
 - 28.4.2 Nordamerikanische Vorschriften

- 29 Ausländische Vorschriften
 - 29.1 Leistungsschild mit internationalen Symbolen
 - 29.2 Anschlussbezeichnungen
 - 29.3 Netzfrequenz
 - 29.3.1 Anschluss an proportional geänderte Frequenz und Spannung
 - 29.3.2 Anschluss an erhöhte Frequenz bei gleicher Spannung
 - 29.3.2 Anschluss an verminderte Frequenz bei gleicher Spannung
 - 29.4 Verbindliche ausländische Vorschriften
- 30 Besonderheiten bei US-amerikanischen Elektromotoren
 - 30.1 Wichtige elektrotechnische Vorschriften
 - 30.2 Netzbezeichnung und Bemessungsspannung
 - 30.3 Anschlussbezeichnung
 - 30.4 Polumschaltung
 - 30.5 Anlassverfahren
 - 30.6 Schaltzeichen für Schaltpläne
 - 30.7 Bauform und Aufstellung
 - 30.8 Baugröße
 - 30.9 Blockier-Scheinleistung (Code Letter)
 - 30.10 Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik
 - 30.11 Leitungseinführung in den Anschlussraum
 - 30.12 Häufig verwendete Abkürzungen
- VI EMISSIONEN**
- 31 Geräusch
 - 31.1 Grenzwerte für alle Maschinenarten
 - 31.2 Grenzwerte für Drehstrom-Käfigläufermotoren (Normmotoren)
 - 31.3 Emissionskennwerte von Normmotoren (ETS)
 - 31.4 Emissionskennwerte von Getrieben (ETS)
 - 31.5 Richtwerte für den Schallpegel von Getriebemotoren
- 32 Schwingungen
 - 32.1 Beurteilungsgrenzen
 - 32.2 Grenzwerte der Schwingstärke
- 33 Halbkeilwuchtung
 - 33.1 Übliche Passfedervereinbarungen
 - 33.2 Neue internationale Festlegungen
 - 33.3 Vor- und Nachteile der bisherigen Voll-Passfeder-Vereinbarung
 - 33.4 Vor- und Nachteile der neuen Halb-Passfeder-Vereinbarung
 - 33.5 Anpassung des Verbundteils
 - 33.6 Kennzeichnung und Liefervereinbarung
 - 33.7 Mögliche Montagefehler
- 34 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
 - 34.1 Allgemeines
 - 34.2 Asynchronmaschinen
 - 34.3 Gleichstrommotoren (Kommutatormaschinen)
 - 34.4 Beispiel einer EG-Konformitätserklärung

VII MESSUNG UND BEURTEILUNG DER ERWÄRMUNG

- 35 Erwärmungsvorgang
 - 35.1 Temperaturanstieg bei Dauerbetrieb S1
 - 35.2 Erwärmungszeitkonstante
- 36 Beharrungszustand beim Erwärmungslauf
 - 36.1 Theoretischer Erwärmungsverlauf
 - 36.2 Dauer des Erwärmungslaufs bei S1
 - 36.3 Berechnung der Kupfer-Übertemperatur
 - 36.4 Dauer des Erwärmungslaufs bei periodischem Betrieb (S3 ... S8)
 - 36.5 Abschätzung nach abgebrochenem Erwärmungslauf
- 37 Käfigtemperaturen
 - 37.1 Dauerbetrieb S1
 - 37.2 Kurzschluss
 - 37.3 Temperaturindikatoren
- 38 Ermittlung des Auslastungsgrades
 - 38.1 Belastungskennlinien des Herstellers
 - 38.2 Leistungsaufnahme
 - 38.3 Vereinfachte Stromkennlinie
 - 38.4 Schlupf
 - 38.4.1 Anzeigetoleranz von Drehzahlmessern
 - 38.4.1.1 Dynamo mit Analoganzeige (Tachometer)
 - 38.4.1.2 Umlauf- und Zeitzählung
 - 38.4.1.3 Handtachos mit Digitalanzeige
 - 38.4.1.4 Stroboskope
 - 38.4.1.5 Direkte Schlupfmessung
 - 38.4.2 Angabetoleranz der Bemessungsdrehzahl
 - 38.5 Direkte Drehmomentmessung
 - 38.6 Zusammenfassung

VIII ÜBERLASTBARKEIT UND ÜBERLASTUNGSSCHUTZ

- 39 Schutzmöglichkeiten für den Getriebemotor
 - 39.1 Überlastbarkeit des Motors
 - 39.2 Schutzmöglichkeiten für die Motorwicklung
- 40 Getriebebelastung
 - 40.1 Überlastbarkeit des Getriebes
 - 40.2 Schutzmöglichkeiten für das Getriebe
- 41 Betriebsfaktoren
 - 41.1 Betriebsfaktoren für Motoren
 - 41.2 Betriebsfaktoren für Getriebe

IX DREHZAHVERSTELLUNG

- 42 Mechanische Verstellgetriebe
- 43 Polumschaltung für zwei feste Drehzahlen
 - 43.1 Drehzahlverhältnis 1 : 2 (Dahlanderschaltung)
 - 43.2 Andere Drehzahlverhältnisse (getrennte Wicklungen)
 - 43.2.1 Klemmschaltung
 - 43.2.2 Ausführbare Drehzahlverhältnisse
 - 43.3 Grenzen der Polumschaltung
- 44 Umrichter gespeiste Drehstrommotoren
 - 44.1 Drehzahl und Schlupf
 - 44.2 Spannung/Frequenz-Verhältnis (*U/f*-Kennlinie)
 - 44.3 Beispiele für *U/f*-Kennlinien
 - 44.4 Feldschwächung
 - 44.5 Einfluss des Verstellbereichs auf die Drehmoment-Reduzierung

X SONDERMOTOREN

- 45 Reluktanzmotoren
- 46 Kranfahrantriebe mit Schlupfläufer
- 47 Rollgangantriebe
 - 47.1 Anwendungsbeispiele
 - 47.2 Kenndaten
 - 47.2.1 Anzugsmoment
 - 47.2.2 Synchrondrehzahl
 - 47.2.3 Beschleunigungsziffer (B-Wert)
 - 47.2.3.1 Definition der Beschleunigungsziffer
 - 47.2.3.2 Ermittlung der Beschleunigungsziffer
 - 47.2.3.3 Ausnützung der Beschleunigungsziffer
 - 47.3 Drehmomentbedarf
 - 47.3.1 Mindestdrehmoment
 - 47.3.2 Maximaldrehmoment
 - 47.4 Antrieb über Aufsteck-Rollgangs-Getriebemotor
- 48 Drehfeldmagnete
 - 48.1 Unterschied zwischen Drehfeldmagnet und Drehmagnet
 - 48.2 Auswahl nach Anzugsmoment und Drehzahl
 - 48.3 Ziehen oder Straffen mit variabler Kraft
 - 48.4 Drücker für Weichen oder Klappen
 - 48.5 Übergabe- oder Transferantrieb
 - 48.6 Aufroller für Kabel
 - 48.7 Übergabe mit Kraftschluss
 - 48.8 Zusammenfassung

XI ANHANG FORMELN UND EINHEITEN

- 49 Formeln und Einheiten in der Antriebstechnik
 - 49.1 SI-Basiseinheiten
 - 49.2 Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten
 - 49.3 Formelzeichen und Einheiten
 - 49.4 Wichtige Größengleichungen
 - 49.5 Wichtige Definitionen
 - 49.6 Wichtige Zahlenwertgleichungen
 - 49.6.1 Leistung
 - 49.6.2 Drehmoment
 - 49.6.3 Arbeit
 - 49.6.4 Beschleunigungs- oder Bremszeit
 - 49.6.5 Massenträgheitsmoment und Schwungmoment
 - 49.6.6 Elektrische Kennwerte des Antriebsmotors
- 50 Umrechnungsfaktoren für Einheiten
 - 50.1 Länge
 - 50.2 Fläche
 - 50.3 Volumen
 - 50.4 Kraft
 - 50.5 Geschwindigkeit
 - 50.6 Drehmoment
 - 50.7 Leistung
 - 50.8 Massenträgheitsmoment und Schwungmoment
 - 50.9 Druck
 - 50.10 Temperatur

XII ANHANG VDE 0530

- 51 Inhalt der DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1)
 Bemessung und Betriebsverhalten von drehenden elektrischen
 Maschinen
 - 51.1 Nationale Vorgeschichte und internationale Zusammenhänge
 - 51.2 Struktur und Inhalt der Norm
 - 51.3 Alphabetisches Register der Abschnitte

Literaturverzeichnis

Stichwortverzeichnis

I GETRIEBEMOTOREN

1 Antriebe mit niedrigen Drehzahlen

Bei der Anpassung der Antriebsdrehzahl an die Bedürfnisse des Arbeitsprozesses gibt es eine Reihe von Gesichtspunkten:

- Optimierung des Verfahrens
- Minimierung der Kosten
- Reduzierung der Übertragungsverluste
- Verbesserung der Arbeitssicherheit.

1.1 Drehzahlbedarf – Drehzahlangebot

Der Drehstrom-Asynchronmotor mit Käfigläufer kann als der »Industrieantrieb« bezeichnet werden:

- Er stellt fast 60 % aller industriellen Antriebe.
- Mehr als 25 Mio. Antriebe dieser Art sind in Deutschland im Einsatz.

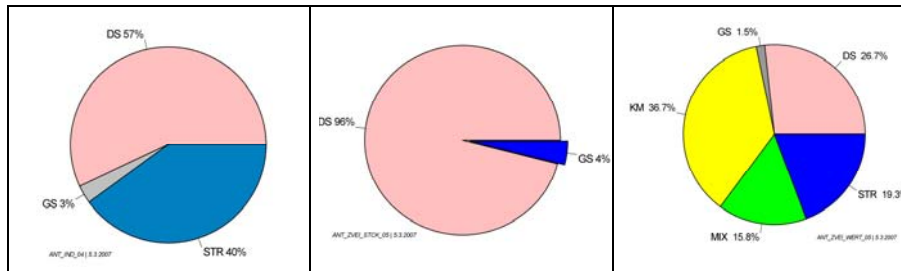


Bild 1.1.1
Anteil der Drehstrommotoren am Produktionswert der industriellen Antriebe in Deutschland
DS - Drehstrom
GS - Gleichstrom
STR - Stromrichter
Quelle : Alle ZVEI

Bild 1.1.2
Anteil der Drehstrommotoren an den 2005 in Deutschland produzierten Stückzahlen
DS - Drehstrom
GS - Gleichstrom
KM - Kleinmotoren

Bild 1.1.3
Anteil der Drehstrommotoren am Wert der 2005 in Deutschland produzierten Antriebe
STR - Stromrichter
DS/GS -Motoren
KM - Kleinmotoren
MIX - Zubehör

Die Vorteile dieser Antriebsart sind unübersehbar; sie sind zwangsläufig verbunden mit der Festlegung auf folgende Drehzahl:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} - \Delta n$$

- n - Drehzahl bei Belastung in r/min
- f - Netzfrequenz in Hz
- p - Polpaarzahl (meist zwischen 1 und 6)
- Δn - Schlupfdrehzahl in r/min

Polzahl	2	4	6	8	12
Synchron-Drehzahl bei 50 Hz (r/min)	3000	1500	1000	750	500
Bemessungsdrehzahl bei 50 Hz (r/min) (je nach Motorgröße)	2750 ... 2980	1300 ... 1450	830 ... 990	650 ... 740	440 ... 485
Synchron-Drehzahl bei 60 Hz (r/min)	3600	1800	1200	900	600
Bemessungsdrehzahl bei 60 Hz (r/min) (je nach Motorgröße)	3200 ... 3520	1600 ... 1760	1020 ... 1170	780 ... 870	530 ... 590

Diesem starren **Angebot** an Drehzahlen steht der weit gefächerte **Bedarf** gegenüber – in der industriellen Technik meist werden wesentlich niedrigere Drehzahlen benötigt als vom Motor erzeugt. Stellvertretend ein Beispiel aus der Fördertechnik: Wenn das manuelle »Fördersystem« nach **Bild 1.1.4** durch ein Förderband mit »Direktantrieb« ersetzt würde, kämen die Dachziegel mit $19 \text{ m/s} = 68 \text{ km/h}$ am Bestimmungsort an!

Für ein brauchbares »material handling« muss die Antriebsdrehzahl mindestens um den Faktor 30 auf etwa 50 r/min reduziert werden: Anpassung der Arbeitsdrehzahl!



Bild 1.1.4
»Fördersystem« für Dachziegel,
gesehen in Südtirol

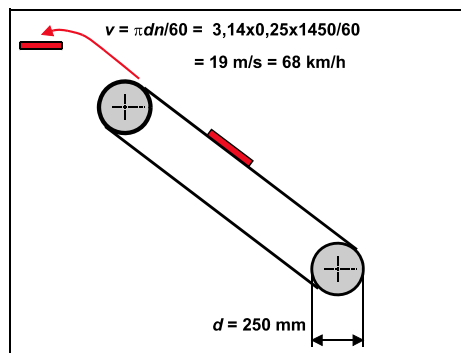
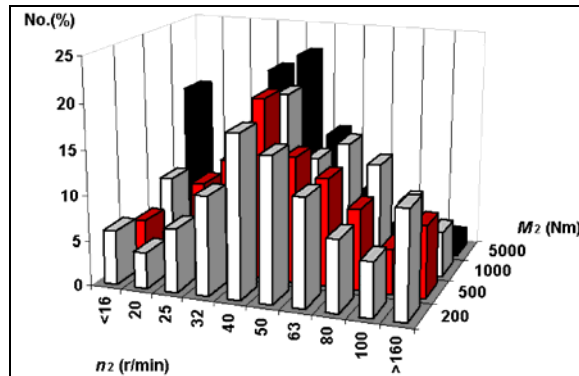


Bild 1.1.5
Ersatz des Fördersystems durch ein
Förderband mit Direktantrieb
1450 r/min

Tatsächlich sind Drehzahlen von 40 ... 50 r/min ein Bedarfsschwerpunkt, wie die Danfoss-Bauer-Lieferstatistik (Bild 1.1.6) für Getriebemotoren zeigt. Dieser Drehzahlbereich dominiert über die gesamte Produktpalette, also bei allen Arten und Größen von Getrieben – und dies seit fast 6 Jahrzehnten!

Bild 1.1.6
Danfoss-Bauer -
Lieferstatistik für
Getriebemotoren für
Drehzahlen n_2 und
Drehmomente M_2 an der
Arbeitswelle
mit ausgeprägtem
Bedarfsschwerpunkt bei
etwa 40 ... 50 r/min



Das breite Anwendungsfeld von Getriebemotoren – vom »Klopfer« bis zum »Kühlturm-Ventilator« (Bilder 1.1.7 und 1.1.8) erfordert Drehzahlen von unter 1 r/min bis zu fast 1000 r/min.



Bild 1.1.7
Antrieb von Klopfern zum Reinigen der
Sprühelektroden an LURGI-
Entstaubungsfiltern mit typischen
Drehzahlen < 1 r/min

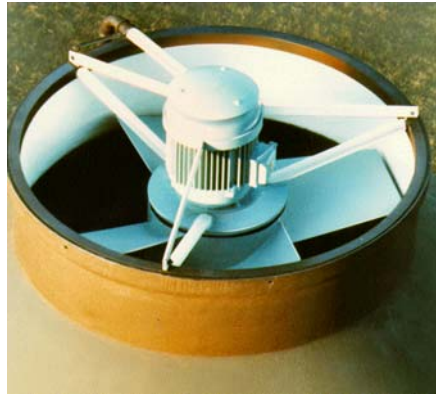


Bild 1.1.8
Antrieb eines Kühlturm-Ventilators
mit typischen Drehzahlen
von 350 ... 750 r/min

Dementsprechend breit gefächert und eng gestuft ist das Drehzahlangebot im Katalog für Getriebemotoren.

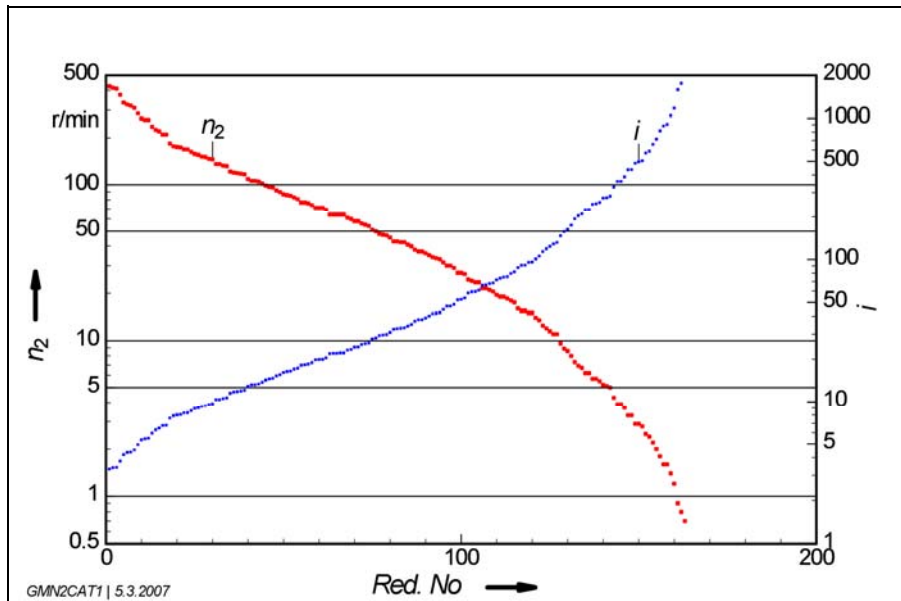
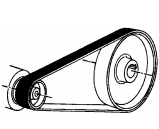
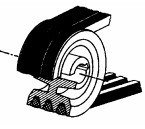

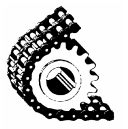


Bild 1.1.9 Im Serienbaukasten sind bei 4poligen Motoren mit Bemessungsleistung 0,75 kW 163 Paare aus Untersetzung i und Drehzahl der Arbeitswelle n_2 verfügbar

1.2 Zugmittel-Getriebe

Im Drehzahlbereich von 700 ... 3000 r/min sind Zugmittelgetriebe die einfachste und kostengünstigste Methode, um Drehzahlen zwischen den vom Motor fest vorgegebenen Stufen 750/1000/1500/3000 r/min zu erreichen [Quelle: *Niemann/Winter: Maschinenelemente I*].

				
System	Flachriemen	Keilriemen	Zahnriemen	Kette
Untersetzung i_{\max}	5	8	8	6
Wirkungsgrad η (%)	96 ... 98	92 ... 94	96 ... 98	97 ... 98
Schlupf s (%)	1 ... 2	1	0	0

Der nominelle Wirkungsgrad von Zugmittel-Getrieben reicht an die Werte von Zahnrad-Getrieben heran. Er ist unter dem Gesichtspunkt der Energieeinsparung vor allem bei Mehrfach-Untersetzungen interessant (**Bild 1.2.3**).

Argumente für die Verwendung von geschlossenen, ölgeschmierten Getrieben:

- Verschmutzung und Feuchtigkeit
- Geräusch
- Wartungsaufwand
- Berührungsschutz.

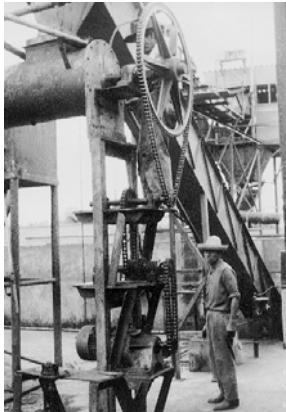


Bild 1.2.1
Offenes Kettenvorgelege
an einem Antrieb
zur Herstellung von
Fischmehl ohne
aufwändige
Sicherheitsabdeckungen

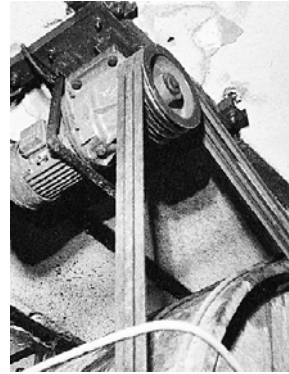
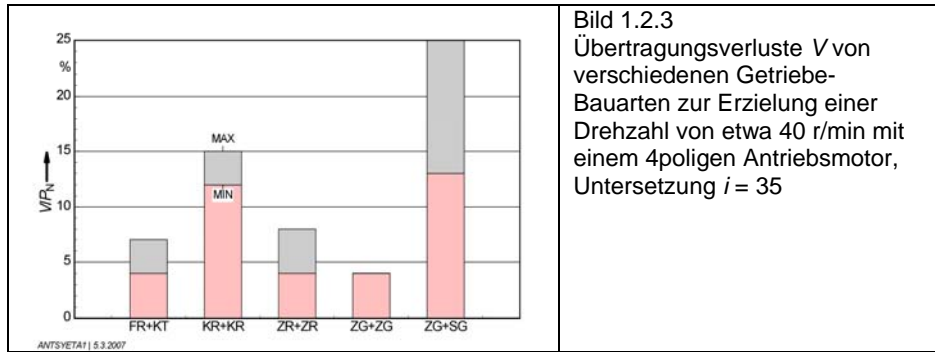


Bild 1.2.2
Riemenantrieb mit extrem
hoher Untersetzung
(Vorspannung) in der
feuchten und aggressiven
Atmosphäre einer
Gerberei



FR+KT	Flachriemen	etwa 1:5 mit Wirkungsgrad	min. 0,96 max. 0,98
	Kette	etwa 1:7 mit Wirkungsgrad	min. 0,97 max. 0,98 gesamt 0,93 ... 0,96
KR+KR	Keilriemen	etwa 1:5 mit Wirkungsgrad	min. 0,92 max. 0,94
	Keilriemen	etwa 1:7 mit Wirkungsgrad	min. 0,92 max. 0,94 gesamt 0,85 ... 0,88
ZR+ZR	Zahnriemen	etwa 1:5 mit Wirkungsgrad	min. 0,96 max. 0,98
	Zahnriemen	etwa 1:7 mit Wirkungsgrad	min. 0,96 max. 0,98 gesamt 0,92 ... 0,96
ZG+ZG	Stirnrad	etwa 1:7 mit Wirkungsgrad	etwa 0,98
		etwa 1:5 mit Wirkungsgrad	etwa 0,98 gesamt 0,96
ZG+SG	Stirnrad	etwa 1:7 mit Wirkungsgrad	etwa 0,98
	Schnecke	etwa 1:5 mit Wirkungsgrad	min. 0,77 max. 0,89 gesamt 0,75 ... 0,87

1.3 Wirtschaftliche Drehzahlgrenzen bei Drehstrommotoren

Für das von einem Elektromotor entwickelte Drehmoment gilt die wichtige Beziehung

$$M \sim \Phi \cdot I_2$$

Für den Induktionsmotor kann dieses Gesetz abgewandelt werden in

$$M \sim \Phi^2$$

- M - erzeugtes Drehmoment
 Φ - magnetischer Fluss
 I_2 - Strom im Anker.

Da die magnetische Sättigung einer beliebigen Steigerung des Magnetflusses Grenzen setzt, kann ein höherer Fluss nur mit größerem Aufwand an aktivem Material erreicht werden: Baugröße und Preis eines Elektromotors müssen also zwangsläufig umso höher werden, je größer das verlangte Drehmoment oder je niedriger die gewünschte Drehzahl bei einer bestimmten Leistung ist. **Bild 1.3.1** zeigt diese Tatsache am Beispiel von drei Norm-Baugrößen mit 22 kW Nennleistung bei 1500, 1000 und 750 r/min.

Aus **Bild 1.3.2** ist ersichtlich, dass schon bei einer Drehzahl von etwa 700 r/min ein schnell laufender, 4poliger Motor mit einstufigem Untersetzungsgetriebe weniger Raum braucht als ein 8poliger Motor ohne Getriebe. Voraussetzung ist allerdings, dass die im Abschnitt 1.4 beschriebene raumsparende Konstruktion angewandt wird.

Bild 1.3.1
Vergleich der Motor-Baugrößen bei Nennleistung 22 kW mit 1500 r/min (4polig), 1000 r/min (6polig) und 750 r/min (8polig).

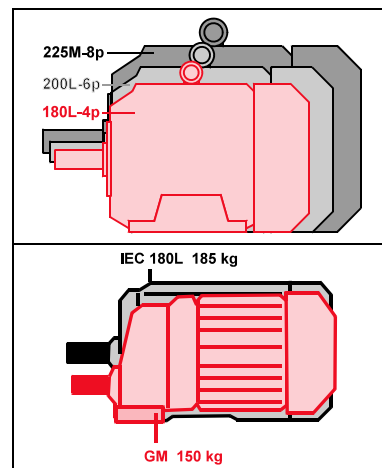


Bild 1.3.2
Vergleich von Gewicht und Raumbedarf für Normalmotor (IEC 180L) und Getriebemotor (GM) bei Nennleistung 11 kW und Nenndrehzahl etwa 700 r/min.

Dieser Vergleich kann bei anderen Nennleistungen von Fall zu Fall auch weniger eindeutig ausfallen, doch zeigt der Preisvergleich in **Bild 1.3.3**, dass der Getriebemotor umso größere Preisvorteile bietet, je tiefer die gewünschte Drehzahl liegt.

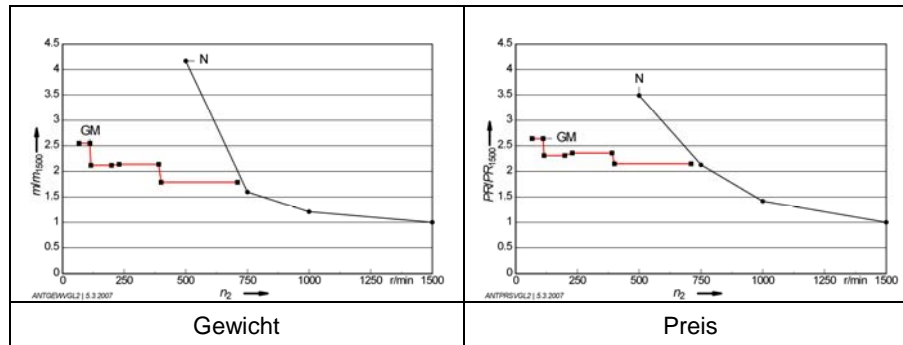


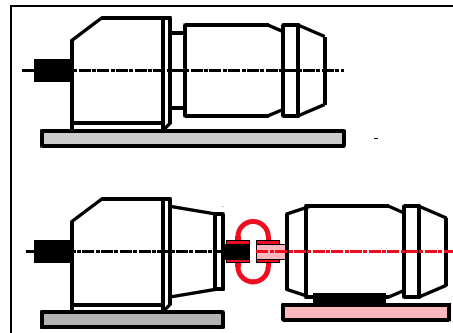
Bild 1.3.3
Preis PR und Gewicht m im Vergleich zwischen Normalmotor (N) und Getriebemotor (GM) bei Bemessungsleistung 5,5 kW.

Bezugswerte gelten für 4poligen Normalmotor

1.4 Wichtige Konstruktionsmerkmale bei Getriebemotoren

Die konstruktive Vereinigung eines schnell laufenden Elektromotors mit einem Untersetzungsgetriebe zu einer Antriebseinheit – dem Getriebemotor – kann nur dann optimal gelöst werden, wenn Motor und Getriebe aufeinander abgestimmt werden. **Bild 1.4.1** zeigt die eindeutigen Vorteile des Prinzips »Getriebemotor« gegenüber einer getrennten Aufstellung von Motor und Getriebe.

Bild 1.4.1
Vergleich von Raumbedarf und Installationsaufwand eines Getriebemotors gegenüber einer getrennten Aufstellung von Motor und Getriebe



Bilder 1.4.2 und 1.4.3 zeigen eine bewährte Lösung, bei der Motor und Getriebe an einem zweiteiligen Zwischendeckel völlig ineinander übergehen. Dieses Teil bildet sowohl den Spezialflansch für den Motor als auch den antriebsseitigen Abschlussdeckel für das Getriebe und erlaubt daher eine besonders kompakte und raumsparende Konstruktion.

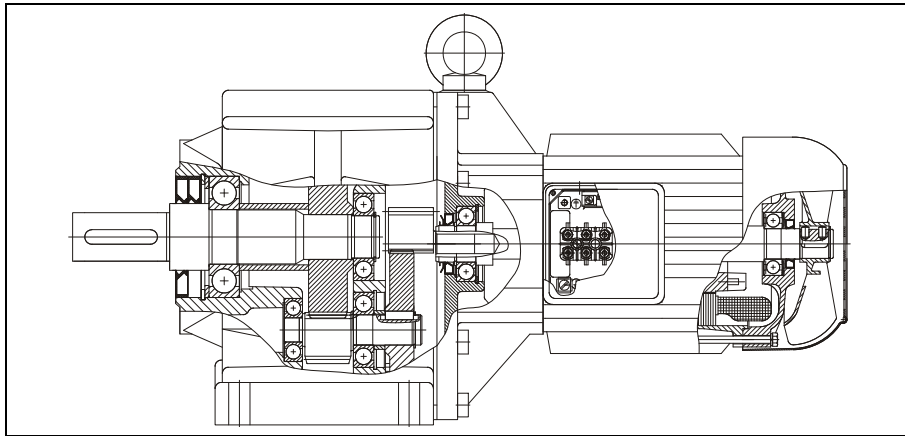


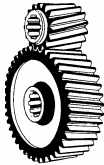
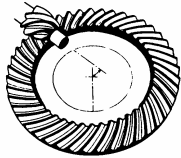
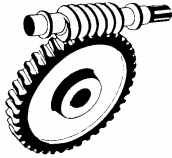
Bild 1.4.2 Schnittbild eines Drehstrom-Stirnrad-Getriebemotors der Reihe BG



Bild 1.4.3 Ansicht eines Drehstrom-Stirnrad-Getriebemotors der Reihe BG

1.5 Zahnrad-Getriebe

Für das im Abschnitt 1.1 behandelte breite Drehzahlenspektrum werden Stirnrad- und Schnecken-Getriebe verschiedener Bauform und Stufenzahl mit Untersetzungen von $i = 3 \dots >10\,000$ katalogmäßig angeboten.

Kennwert pro Stufe nach <i>Niemann/Winter</i> . Maschinenelemente I			
	Stirnrad	Kegelrad	Schnecke
i_{\max}	etwa 7	etwa 5	etwa 50
η (%)	etwa 98	etwa 98	etwa 50 ... 96

1.6 Abstufung der Getriebegrößen

Bei einer bestimmten Bemessungsleistung, die in der Kombination »Getriebemotor« durch den Elektromotor repräsentiert wird, ergibt sich in dem beschriebenen weiten Drehzahlbereich mit seinen engen Stufen zwangsläufig das gleiche Bild für das Bemessungsdrehmoment. Da die Größe eines Getriebes wesentlich von dem zu übertragenden **Drehmoment** bestimmt wird, müssen dem Elektromotor eine ganze Reihe von Getrieben für verschiedene Bemessungsdrehmomente zugeordnet werden.

Das **Bild 1.6** zeigt einen Ausschnitt aus den listenmäßigen Kombinationsmöglichkeiten eines Getriebemotors, wobei die Getriebegröße als Repräsentant des Drehmoments so abgestuft ist, dass im Rahmen der wirtschaftlichen Gegebenheiten eine optimale Anpassung an die Arbeitsmaschine möglich ist.

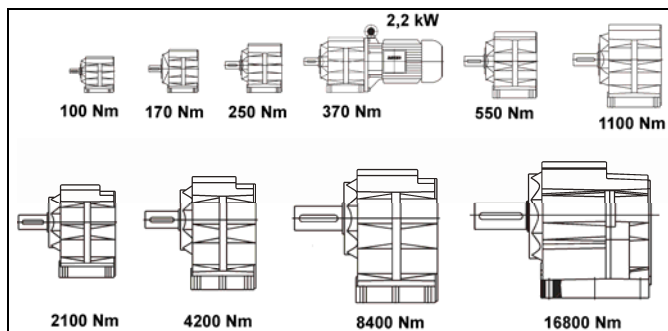


Bild 1.6
Beispiel für die
Kombinations-
möglichkeit
eines Motors
der Größe D09
(max. 2,2 kW)
mit verschiedenen,
nach Drehmoment
(in Nm) gestuften
Getrieben

1.7 Bauart des Getriebes und Raumbedarf

Sowohl für den elektrischen wie für den mechanischen Teil der Baueinheit Getriebemotor gelten Bemessungsrichtlinien, die entweder durch Normen und Vorschriften oder aber durch die an ein Qualitätsprodukt zu stellende Lebensdauererwartung gezogen sind.

Das gesamte Bauvolumen wird daher für bestimmte Nenndaten kaum unter eine gewisse Mindestgröße zu bringen sein. Es kann jedoch unterschiedlich verteilt werden, sodass der Konstrukteur an der für ihn kritischen Stelle seiner Maschine »Raum spart«.

Dies gilt in besonderem Maße für das **Aufsteckgetriebe**, bei dem durch den Fortfall von Kupplung und Unterbau tatsächlich in Achsrichtung kürzer gebaut werden kann als bei anderen Lösungen.

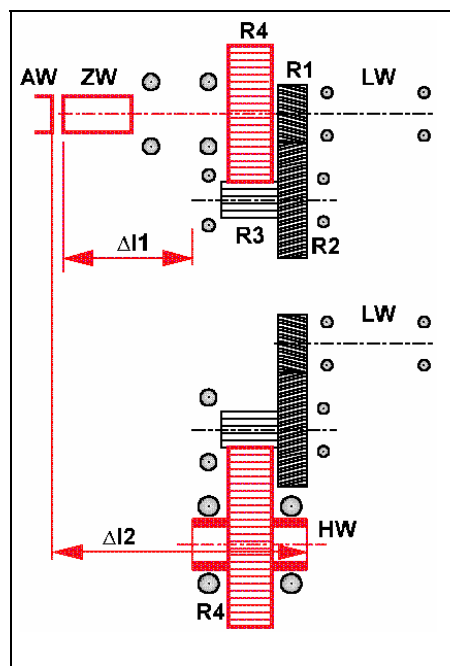
Seit der »Erfindung« des Getriebemotors wird die langsam laufende Arbeitswelle vorzugsweise als Zapfenwelle konzentrisch zur Läuferwelle angeordnet (**Bild 1.7.1**). Der Grund dafür ist einleuchtend: Für den Anwender stellt sich die Einheit als ein **langsam laufender Motor** dar. Auf welche Weise und in welcher inneren Anordnung die **Drehzahl-Reduzierung** erreicht wird, interessiert den Anwender wenig.

Bild 1.7.1
Prinzipielle Anordnung von Rädern und Wellen bei klassischem Getriebemotor mit konzentrischer Arbeitswelle (in-line-Anordnung, oben) und Aufsteck-Flachgetriebemotor (mit Hohlwelle, unten)

LW Läuferwelle
ZW Zapfenwelle
AW angetriebene Welle
HW Hohlwelle

R.. Ritzel und Räder
R4 Endrad
(bei Aufsteckgetriebe meist mit vergrößertem Durchmesser)

$\Delta I1$ Verkürzung des Gehäuses
 $\Delta I2$ Verkürzung bei Aufsteckmontage



In den letzten Jahrzehnten wurden die Vorteile des schon lange bekannten Prinzips »Aufsteck-Getriebe« wieder entdeckt. Da die Hohlwelle (HW) einen Zugang von beiden Seiten erfordert, kann das Endrad (R4) nicht in das Zentrum der Läuferachse (LW) »zurückgeklappt« werden. Es muss nach außen verlagert werden, wobei R4 in der Regel einen vergrößerten Durchmesser erhalten muss, um den erforderlichen Platz für die Lagerung der Hohlwelle zu schaffen.

Die Antriebseinheit kann um den Betrag Δl_1 »flacher« werden. Da die Hohlwelle direkt auf die anzutreibende Welle (AW) gesteckt wird, beträgt die Platzersparnis tatsächlich Δl_2 .

Für ein altbekanntes Konstruktionsprinzip wurde der neue Begriff **Flachgetriebe** eingeführt und von vielen Herstellern übernommen.

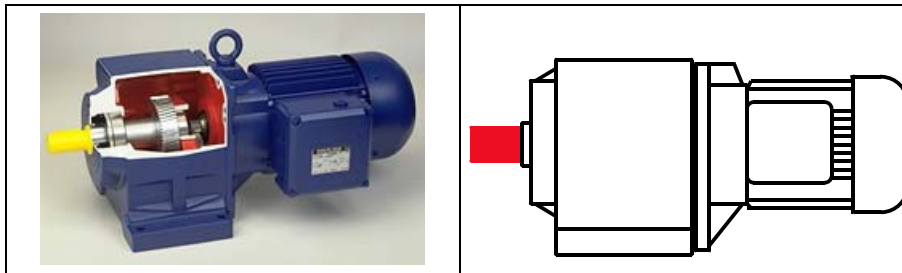


Bild 1.7.2
Getriebemotor in klassischer Form mit Arbeitswelle konzentrisch zur Motorwelle

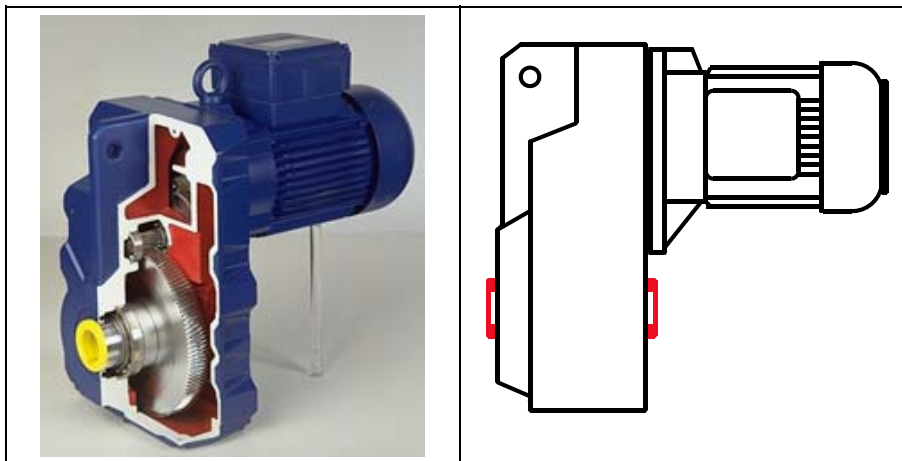


Bild 1.7.3
Aufsteck-Flachgetriebemotor mit Hohlwelle

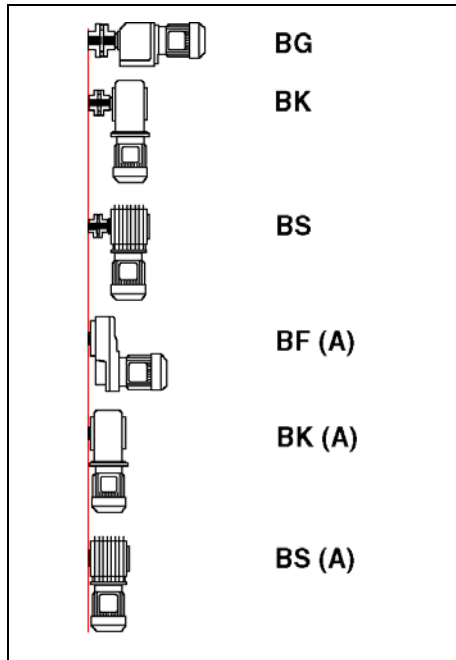


Bild 1.7.4
Vergleich des Raumbedarfs bei
verschiedenen Bauarten
BG - Stirnrad-Getriebemotor
BK - Kegelrad-Getriebemotor
BS - Schnecken-Getriebemotor
BF(A) - Aufsteck-Getriebemotor
BK(A) - Aufsteck-Kegelrad-
Getriebemotor
BS(A) - Aufsteck-Schnecken-
Getriebemotor

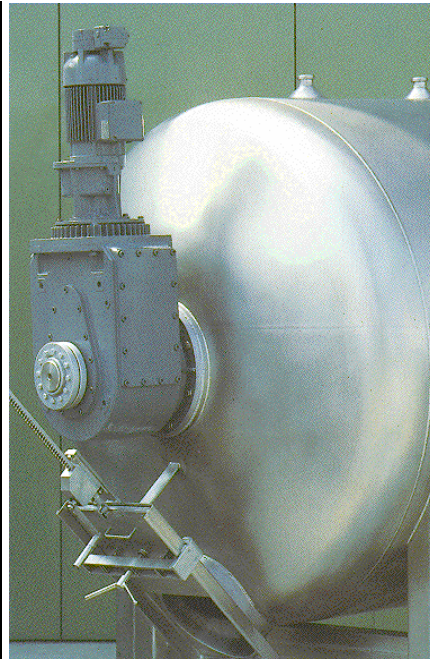


Bild 1.7.5
Kegelrad-Getriebemotor in Aufsteckform
an einem Behälter.

Kostengünstige Lösung im Vergleich
zum Anbau eines Fuß-Getriebemotors
mit Kupplung und Konsole

2 Bemessungsdrehmoment

Bei elektrischen Antrieben mit relativ niedrigen Drehzahlen oder Geschwindigkeiten vermittelt oft das Drehmoment anstelle der Leistung ein leichter vorzustellbares und abschätzbares Bild über die Größe des erforderlichen Antriebes.

Ein mit 0,038 m/s laufender Trommelmotor von nur 75 W entwickelt bei 215 mm Trommeldurchmesser ein Bemessungsdrehmoment von 215 Nm und einen Nenn-Bandzug von etwa 2000 N. Der erforderliche Bandzug kann meist auf einfache Weise direkt mit einer Federwaage (Dynamometer) gemessen werden.

2.1 Berechnung der Bemessungsleistung aus dem Drehmoment

$$M = F \cdot r$$

M - Drehmoment in Nm

F - Kraft in N

$$P = \frac{M \cdot n}{9550}$$

r - Hebelarm (Radius) in m

P - Leistung in kW

n - Drehzahl in r/min

2.2 Leistungsbedarf bei verschiedenen Geschwindigkeiten

Der Drehmomentbedarf vieler Arbeitsmaschinen setzt sich im Wesentlichen aus Hubmoment und Reibungsmoment zusammen (s. Abschn. 6.1 und 6.2) und ist bei allen Geschwindigkeiten nahezu konstant. Der Leistungsbedarf steigt oder fällt also mit der Transportgeschwindigkeit.

2.3 Berechnung der Drehzahl aus der Geschwindigkeit

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d}$$

n - Drehzahl an der Antriebsstation in r/min

v - Transportgeschwindigkeit in m/s

d - Durchmesser am Kraftangriff des Antriebslements in m (z. B. Trommeldurchmesser)

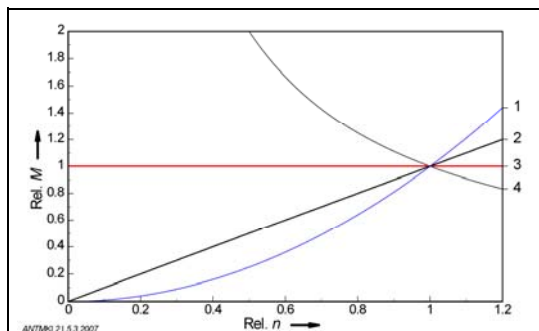


Bild 2.3

Typische Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien von Arbeitsmaschinen.

1 - quadratisch

(Pumpen, Lüfter)

2 - linear

(Kalanders, Glättwalzen),

3 - konstant

(Hebezeuge, Förderer),

4 - reziprok

(Wickler, Werkzeugmaschinen)

3 Normmotoren an Getrieben

Abgesehen von dem erfolglosen Versuch zur Einführung eines **Maßmotors** (DIN 42670 im Jahr 1948) wurden Drehstrom-Käfigläufermotoren in Deutschland in die 50er-Jahre mit herstellerspezifischen Anschlussmaßen gebaut. In der Zeitschrift "Elektro-Jahr" 1957/58 berichtete *W. Egli*, dass bei der BASF für die Leistung 1,5 kW bei 1500 r/min nicht weniger als 80 in den Hauptdaten verschiedene Typen in Betrieb waren. Die im Dezember 1960 erschienene DIN 42673 mit genormten Anschlussmaßen und Leistungszuordnungen für 2, 4, 6 und 8polige Motoren mit Achshöhen von 56 ... 315 mm war daher vor allem für die Anwender ein großer Gewinn; mit Rücksicht auf die Austauschbarkeit wurde bis heute – also 40 Jahre lang – auf grundlegende Änderungen und auch auf mögliche Verbesserungen in dieser Norm verzichtet. **Auch die jetzt gültige EN 50347 schreibt unter neuer Nummer die alten Abmessungen und Leistungszuordnungen fest.**

Die Maßreihe basiert auf der IEC-60072-1, in der jedoch keine Leistungszuordnung getroffen ist; daher kann nicht von einem weltweit gültigen **IEC-Motor** gesprochen werden.

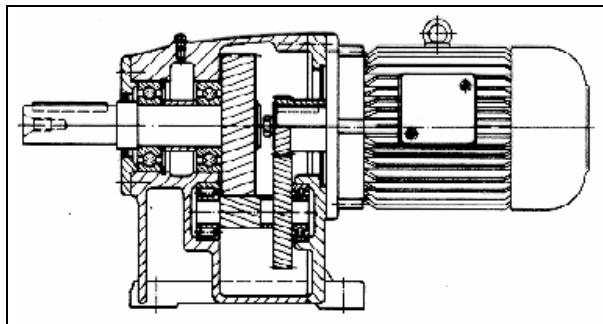
Es ist verständlich, dass vor allem große Anwender – z. B. aus den Bereichen Chemie, Automobilbau, Grundstoffindustrie – immer wieder Getriebemotoren mit angebauten Normmotoren fordern. Es wird erwartet, dass bei einem Motorschaden möglichst rasch aus dem allgemeinen Lagerbestand ein Ersatzmotor zur Verfügung steht.

Die folgenden Ausführungen sollen zeigen, dass einer solchen Erwartung Grenzen gesetzt sind.

3.1 Direktanbau eines Flanschmotors

Bild 3.1 zeigt eine Konstruktion, bei der ein DIN-Flanschmotor direkt an das Getriebe angebaut wurde.

Bild 3.1
Norm-Flanschmotor direkt
an das Getriebe angebaut



Bei dieser Anbauart ergeben sich eine ganze Reihe von Nachteilen.

3.1.1 Fehlende oder mangelhafte Öldichtung

Normmotoren haben üblicherweise keine besondere Wellendichtung. Auch die so genannte öldichte Ausführung (eine einfache Wellendichtung) hat nicht die Langzeit-Dichtwirkung der aufwändigen Konstruktion, die bei einem integral konzipierten Getriebemotor zu erwarten ist.

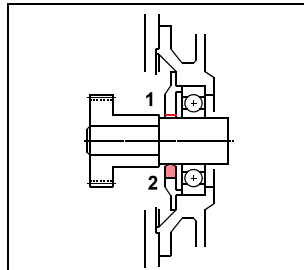


Bild 3.1.1.1
Abdichtung am Wellenaustritt bei einem Norm-Flanschmotor an einem Untersetzungsgetriebe

- 1- normale Ausführung
Spaltdichtung ohne Öldichtheit
- 2- Sonderausführung
öldichter Lagerflansch

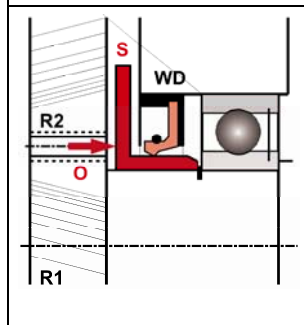


Bild 3.1.1.2
Prinzip der Dichtstelle zwischen Motor und Getriebe bei einer integralen Konstruktion
WD - Wellendichtring

- S - Schleuderscheibe (Labyrinthteller)
- R1 - Ritzel
- R2 - Zahnrad
- O - Ölstrahl
(Stärke und Richtung u. a. abhängig von Umfangsgeschwindigkeit, Schrägungswinkel, Drehrichtung)

3.1.2 Unnötig langer Wellenstumpf

Die Länge des Wellenstumpfes von Normmotoren wurde für Flachriemenscheiben nach DIN 111 konzipiert (**Bild 3.1.2.1**).

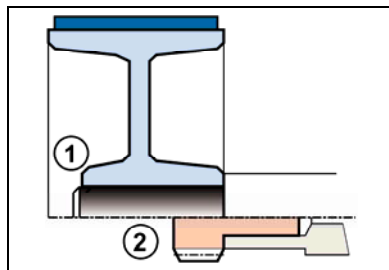
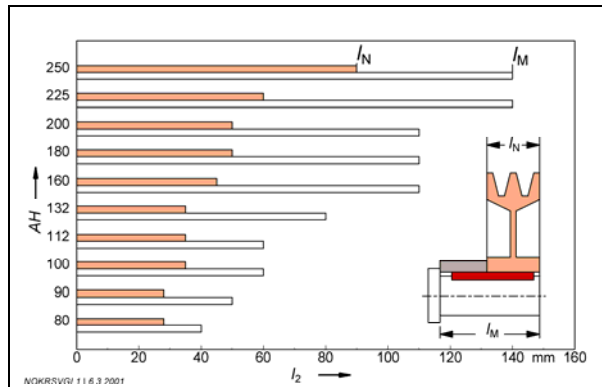


Bild 3.1.2.1
Vergleich der tatsächlichen Wellenstumpflänge mit dem axialen Platzbedarf bei einem integralen Getriebemotor

- 1- Wellenstumpf nach DIN 42946
- 2- Einsteckritzel bei integralem Getriebemotor

Sie ist selbst für die heute üblichen Keilriemenscheiben, vor allem aber für eine Kraftübertragung durch Getrieberäder, viel zu lang (**Bild 3.1.2.2**). Die eingangs im Abschnitt 3 geschilderten Gründe haben die längst fällige Anpassung an den heutigen Stand der Technik verhindert.

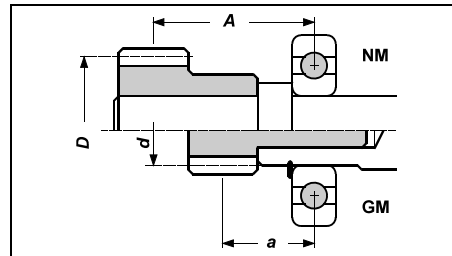
Bild 3.1.2.2
Vergleich der genormten Längen von Motor-Wellenstumpf l_M nach DIN 748 / DIN 42946 und Nabe l_N von Schmalkeilriemenscheiben nach DIN 2211 für Normmotoren nach DIN 42673 (EN 50347) mit Achshöhen AH 80 bis 250



Der lange Wellenstumpf des Normmotors erzwingt eine ungünstige Anordnung des Ritzels, bei der sich Fluchtungsfehler und/oder Schlag nachteilig auf den Zahneingriff auswirken (**Bild 3.1.2.3**).

Bild 3.1.2.3
Vergleich der Abstände vom Lager zum Kraftangriff im Ritzel bei

NM - Normmotor (A)
GM - integralem Getriebemotor (a)



3.1.3 Unnötig dicker Wellenstumpf

Auch der große Durchmesser (D in Bild 3.1.2.3) des genormten Wellenstumpfes führt zu erheblichen Nachteilen im Vergleich zur integralen Konstruktion: Bei einem durch Platzbedarf und Kosten vorgegebenen Achsabstand AA ergeben sich bei der Konstruktion NM im Vergleich zu GM

- geringere Untersetzung in Stufe I, also drei statt zwei Stufen bei z. B. 50 r/min
- höhere Zähnezah, also unangenehme Zahneingriffsfrequenz (**Bild 3.1.3.1**). Einzelheiten siehe SD 1800 "Messung und Beurteilung von Maschinen-Geräuschen".

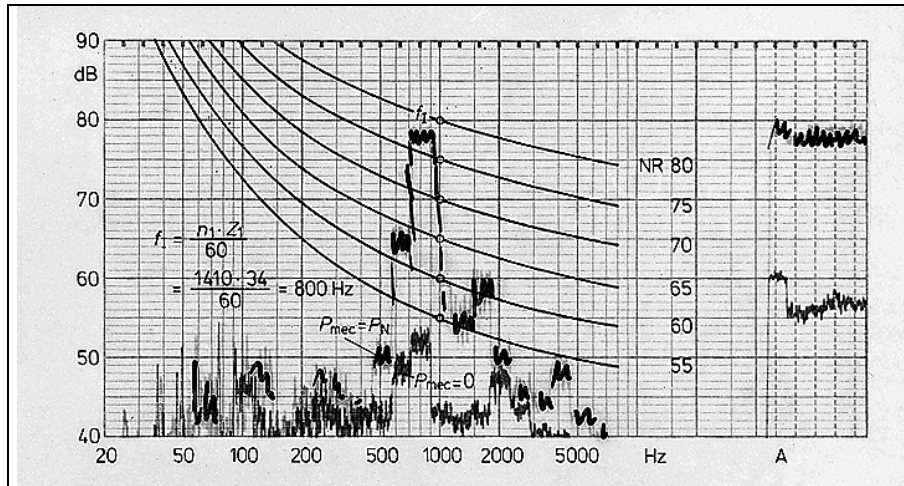


Bild 3.1.3.1
 Frequenzspektrum des Geräuschpegels unter voller Belastung bei einem Getriebe mit angebautem Normmotor;
 NR = Noise Rating 78; Zähnezahl des Ritzels: 34

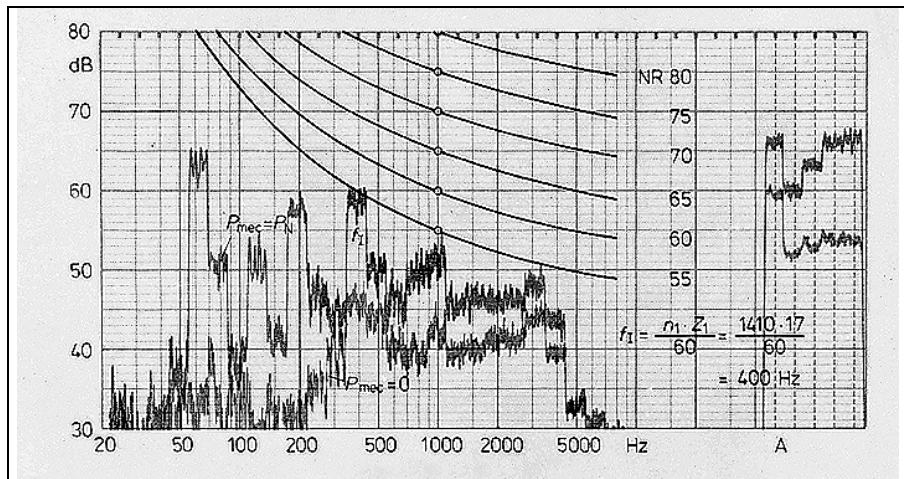


Bild 3.1.3.2
 Frequenzspektrum des Geräuschpegels unter voller Belastung bei einem als Einheit konstruierten Danfoss-Bauer-Getriebemotor;
 NR = Noise Rating 55; Zähnezahl des Ritzels; 17

3.2 Adapter-Anbau eines Flanschmotors

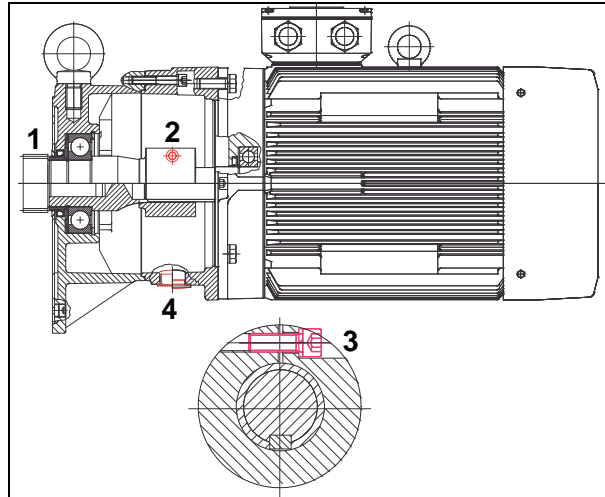
Die Vorteile des Getriebemotors gegenüber einer getrennten Aufstellung von Motor und Getriebe wurden in Abschnitt 1.4 ausführlich dargestellt. Die Nachteile eines Direktbaus nach Abschnitt 3.2 lassen sich umgehen, wenn der Flanschmotor über einen Adapter angebaut wird und die eintreibende Welle des Getriebes über eine spezielle Kupplung antreibt. Da die Kupplung »blind« zusammengefügt werden muss und bei der Demontage leicht lösbar sein soll, wurde bei Danfoss Bauer eine Lösung nach **Bild 3.2.1** entwickelt, die folgende Vorteile hat:

- 1 Eintriebsseite zum Getriebe wie beim integralen Getriebemotor
- 2 Steckkupplung mit kurzer Baulänge trotz langer Motorwelle
- 3 Leichtes Fügen und Lösen der Steckkupplung durch Klemmschraube
- 4 Klemmschraube von außen zugänglich.

Bild 3.2.1
Schnittbild eines Adapters
zum Anbau von DIN- oder
NEMA-Flanschmotoren
über Steckkupplung

Erläuterungen im Text

Konstruktion:
Danfoss Bauer



Innerhalb des Baukastenprinzips kann der Adapter für alle vier Getriebebauarten nach **Bild 3.2.2** verwendet werden.

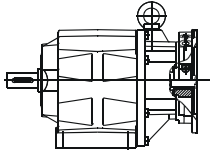
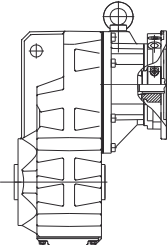
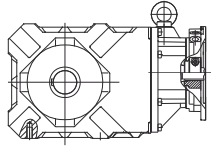
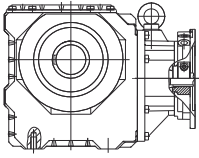
BG	BF	BK	BS
Stirnradgetriebe	Flachgetriebe	Kegelradgetriebe	Schneckengetriebe
			

Bild 3.2.2 Mehrfachverwendung des Adapters zum Anbau eines Flanschmotors an verschiedene Getriebebauarten

Auch bei der beschriebenen, kompakten Konstruktion des Adapters ergeben sich je nach Typgröße Mehrlängen von 15 ... 20 % gegenüber der Gesamtlänge (Wellenstirn bis Lufteintritt) bei der integralen Bauweise. Diese Mehraufwendungen schlagen sich auch in entsprechenden Mehrpreisen nieder. In der Version nach **Bild 3.2.3** beansprucht das Kupplungsgehäuse 25 ... 33 % Mehrlänge.

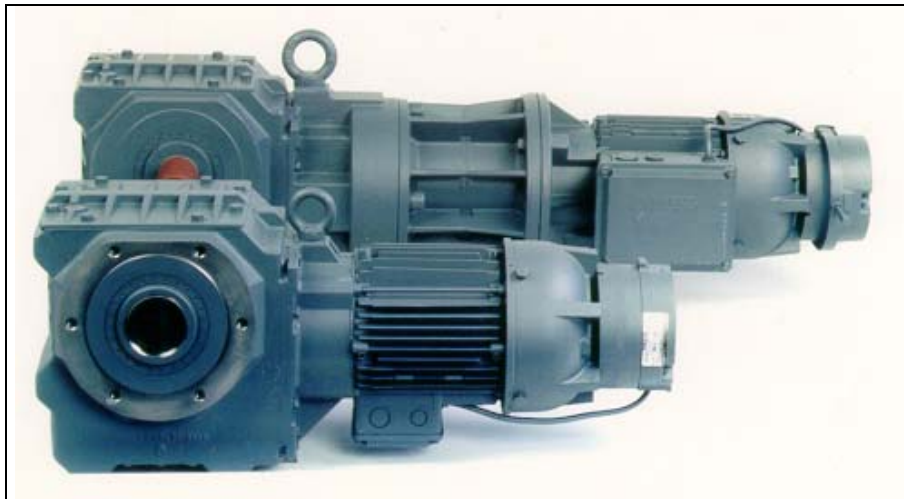


Bild 3.2.3 Vergleich eines Getriebemotors in integraler Bauweise (vorn) mit einem Getriebe mit über Laterne und Kupplung angebautem Norm-Flanschmotor

3.3 Richtige Ersatzhaltung: Motorteil oder Getriebemotor?

Wenn die Forderung nach austauschbaren Normmotoren der Sorge um die Betriebsbereitschaft im Störfall entspringt, muss die Richtigkeit und Vollständigkeit dieser Maßnahme hinterfragt werden:

- Sind überhaupt öldichte Flanschmotoren für Direktanbau bevorratet?
- Können die meist 4poligen Ersatzmotoren in Standardausführung die häufig verwendeten Sonder-Getriebemotoren (polumschaltbar, mit Anbaubremse, für Sanftanlauf) antriebstechnisch ersetzen?
- Genügt die Vorsorge für das Motorteil? Erfahrungsgemäß treten überwiegend mechanische Schäden auf, weil das Getriebe nur unzureichend gegen Überlastung geschützt werden kann! (s. Teil VIII sowie das Danfoss-Bauer-Buch "Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren").

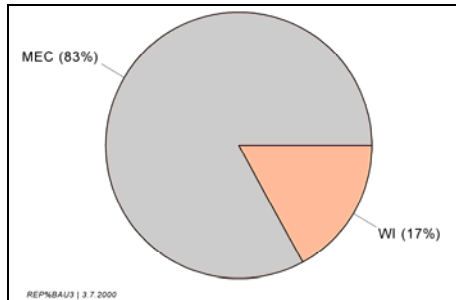


Bild 3.3
Relativer Anteil der Hauptkomponenten
an den Gesamtreparaturen von
Danfoss-Bauer-Getriebemotoren

MEC Getriebeteile
WI Wicklung

Zusammenfassung

Als Maßnahme zur Verbesserung der Verfügbarkeit einer betriebswichtigen Anlage ist die Verwendung von Getriebeteilen mit angebautem Normmotor unzureichend. Es empfiehlt sich die Bevorratung von baugleichen Ersatz-Getriebemotoren.

Zum Anbau von Sondermotoren, die in relativ geringen Stückzahlen benötigt werden (z. B. explosionsgeschützte Motoren in Zündschutzart "druckfeste Kapselung", Motoren nach besonderen Vorschriften) kann diese Variante zum integralen Getriebemotor sinnvoll sein. Sie benötigt jedoch mehr Platz und erfordert einen höheren Preis. Der Motor ist »trocken« an- und abbaubar, benötigt also keinen öldichten Lagerflansch am Wellenaustritt.

3.4 Vom Maßmotor zum europäischen Normmotor

Für die heutige Generation der Planer, Einkäufer und Betreiber von Elektromotoren fast unvorstellbar: Bis zum Jahr 1960 waren die Anbaumaße der in Europa gefertigten Elektromotoren herstellerspezifisch festgelegt. Erst Anfang 1963 entstand der austauschbare, westeuropäische Normmotor – zunächst über ein «Harmonisierungsdokument HD» formal festgelegt, seit 2001 mit EN 50347 als europäische Norm bestätigt.

Dieser Abschnitt beschreibt die vor mehr als 75 Jahren begonnenen Arbeiten an einem austauschbaren »Maßmotor«.

3.4.1 Situation vor der Normung

In Ermangelung von nationalen oder übergeordneten Vereinbarungen war die Standardisierung der Anschlussmaße von Elektromotoren zunächst auf die Reihen der jeweiligen Herstellerfirmen beschränkt – Motoren unterschiedlicher Herkunft waren nicht austauschbar. Die nachteiligen Auswirkungen einer solchen Typenvielfalt lassen sich an der von *W. Egli* veröffentlichten Erhebung der BASF abschätzen: Für die Leistung 1,5 kW bei 1500 r/min und bei Aufstellung B3 waren dort in den 50er Jahren nicht weniger als 80 in den Hauptdaten verschiedene Typen in Betrieb [I-7]. Man muss allerdings auch bedenken, dass die Normung der Anschlussmaße in einem relativ frühen Stadium der technischen und technologischen Entwicklung den Fortschritt behindert hätte: **Bild 3.4.11** zeigt, dass in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts noch erhebliche Entwicklungssprünge – in Anlehnung an [I-10] dargestellt an der bezogenen Masse (kg/kW) eines Motors mit Bemessungsleistung 4 kW.

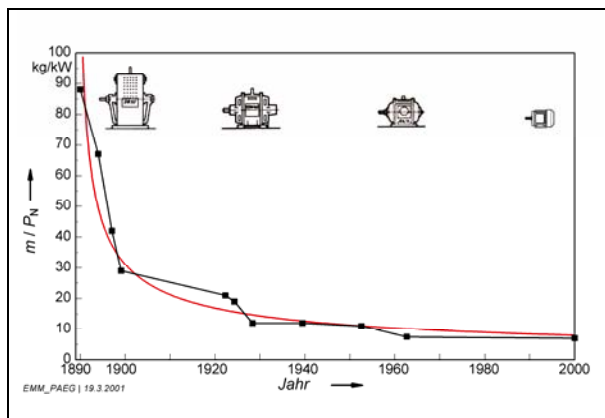


Bild 3.4.1
Entwicklung des
bezogenen
Materialaufwands m/P_N
für einen 4poligen Motor
mit Bemessungsleistung
4 kW in den Jahren
1890 ... 2000

in Anlehnung an Daten
der AEG [I-10]

3.4.2 Deutscher »Maßmotor«

In seinem wertvollen, umfassenden Rückblick [1-9] schreibt *H. Rentzsch*:

"Die Normung der Anbaumaße von Drehstrommotoren ist eng mit der Aufstellung einer Leistungsreihe für elektrische Maschinen verbunden. Bereits in den Erläuterungen zur ersten deutschen Norm über eine Leistungsreihe in DIN VDE 2650 war 1923 die Erwartung ausgesprochen worden, dass anschließend an diese Norm auch Maße für die mechanischen Abmessungen festgelegt werden könnten. 1939 wurde mit DIN VDE 2942 der erste Schritt getan, indem den Leistungen bei den in bestimmten Bereichen hauptsächlich vorkommenden Drehzahlen Maße von Wellenenden, Riemenscheiben und Befestigungsflanschen zugeordnet wurden. Rationalisierungsmaßnahmen während des Zweiten Weltkrieges führten 1943 zu einer neuen Leistungsreihe nach DIN 42970. Eine Norm für Anbaumaße konnte jedoch erst 1940 von dem neu gegründeten Arbeitskreis FNE 201 im FNA Elektrotechnik wieder bearbeitet werden. Dieser Arbeitskreis legte Ende 1948 das Blatt DIN 4267 für Drehstrom-Asynchronmotoren mit Kurzschlussläufer in vierpoliger Ausführung im Leistungsbereich von 0,25 bis 10 kW vor. Die Motoren wurden als »Maßmotoren« bezeichnet. Das Blatt fand bei Kunden und Herstellern wenig Anklang, da sich zur Zeit seiner Veröffentlichung internationale Normungen für diese Motoren abzuzeichnen begannen."

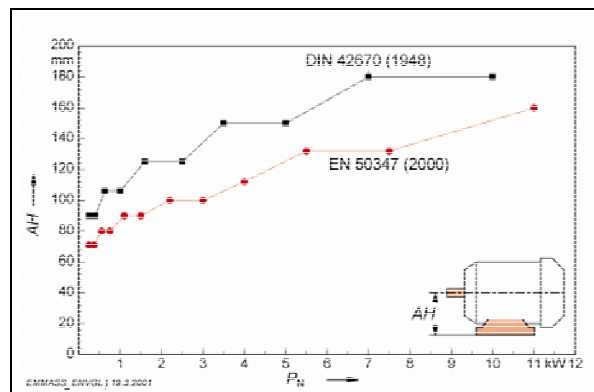
Aus heutiger Sicht ist zu ergänzen: Die mangelnde Akzeptanz des »Maßmotors« ist zu verschmerzen, weil

- der relativ niedrige technologische Stand der ersten Nachkriegsjahre ohnedies keinen langen Bestand als »Norm« gehabt hätte, wie der Vergleich in **Bild 3.4.2** zeigt;
- die ausschließlich metrisch orientierten Maße in einem anschließend zu findenden internationalen Kompromiss als »IEC-Maße« geringe Chancen auf Fortbestand gehabt hätten.

Bild 3.4.2
Vergleich der Achshöhen AH

deutscher »Maßmotor« nach DIN 42670 aus dem Jahr 1948

europäischer »Normmotor« nach EN 50347 aus dem Jahr 2000; eingeführt im Jahr 1960/1963



3.4.3 Abstufung der Leistungsreihe

Es ist bedauerlich, dass mit dem »Maßmotor« auch der aus vielen Gründen berechnete Ansatz zu einer logischen, nach natürlichen Wachstumsgesetzen aufgebauten Leistungsreihe aufgegeben wurde. Spätere Versuche auf IEC-Ebene scheiterten aus Rücksichtnahme auf die große Zahl bereits installierter Motoren und wegen der Dominanz der in USA nach wie vor verwendeten Abstufung in »runden«, aber ziemlich willkürlich gestuften PS (HP).

Mit Ausnahme der aus der »zweiten Reihe« stammenden Werte 3 und 4 kW stammen alle Leistungsstufen aus der »ersten Reihe«, die ihrerseits eine gerundete Umrechnung von HP-Werten darstellt. Beispiele: 0,75 kW = 1 HP; 1,1 kW = 1,5 HP; 1,5 kW = 2 HP; 2,2 kW = 3 HP usw.

Bild 3.4.3 zeigt den unlogischen, schwankenden Faktor zwischen zwei benachbarten Leistungswerten an der linken und der rechten y-Achse des Diagramms, dargestellt als Länge des Balkens zwischen den beiden Achsen.

Diskutiert wurden Abstufungen nach Normzahlreihe R5 (Faktor 1,6) im Leistungsbereich bis etwa 10 kW und nach R10 (Faktor 1,25) im Bereich 10 ... 100 kW

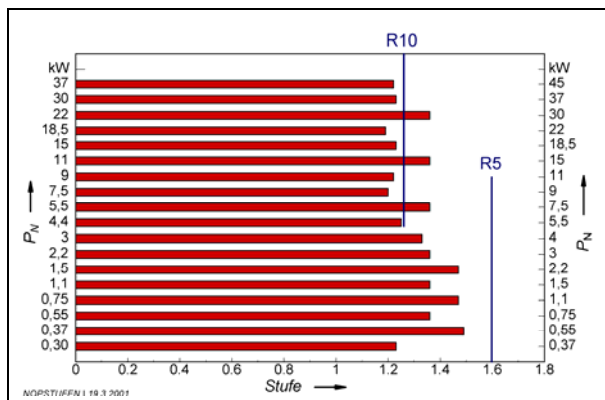


Bild 3.4.3
Unlogische, durch die PS-Tradition begründete Faktoren zwischen zwei benachbarten Leistungswerten in der derzeit gültigen Leistungsreihe nach IEC 60072-1, Abschnitt D.5

Diese kritischen Anmerkungen sind nicht nur formal begründet: Arbeitsmaschinen (wie Pumpen, Fördermittel) und Übertragungsmittel (Kupplungen, Riemen) sind heute meist nach Normzahlreihen abgestuft. Es wäre wünschenswert, wenn auch die Bemessungsleistungen von Motoren diesen Gesetzmäßigkeiten untergeordnet wären.

3.4.4 Motoren nach NEMA

Die Situation in den USA muss hier kurz erwähnt werden, weil die Arbeiten bei IEC letztlich ein Kompromiss vor allem zwischen europäischen und nordamerikanischen Vorstellungen waren.

In der US-amerikanischen Norm NEMA MG1 (NEMA = National Electrical Manufacturers Association) besteht schon seit 1929 eine feste Zuordnung von Motordaten und Abmessungen. Derzeit sind die »T-Frames« genormt, die weitgehend mit den der Leistung entsprechenden IEC-Baugrößen übereinstimmen – allerdings natürlich bei bearbeiteten Maßen mit den nächstliegenden glatten Zollwerten (**Tabelle 3.4.4**).

IEC	90S	90L	112M	112M	132S	132M	160M	160L	180M	180L
NEMA	143T	145T	182T	184T	213T	215T	254T	256T	284T	286T
IEC	200L	200L	225S	225M	250M	250M	280S	280M	315S	315M
NEMA	324T	326T	364T	365T	404T	405T	444T	445T	504T	505T

Tabelle 3.4.4 Vergleichbare Baugrößen nach IEC 60072-1 und NEMA MG1

3.4.5 IEC Empfehlungen für die Abmessungen

Über die Arbeiten bei IEC berichtet der maßgebend beteiligte *H. Rentzsch* in [I-9]: "Im Jahre 1949 schlug das schwedische nationale Komitee in der IEC vor, die Anbaumaße für Drehstrommotoren zu normen. Auf der IEC - Tagung 1950 in London wurde daraufhin das Sub-Committee 2 B gegründet mit der Aufgabe, internationale Empfehlungen für die Abmessungen elektrischer Maschinen auszuarbeiten. Die Arbeiten sollten begonnen werden mit der Normung von Dreiphasen-Kurzschlussläufermotoren für Spannungen bis 500 V und Netzfrequenzen von 50 und 60 Hz mit Achshöhen von etwa 100 bis etwa 300 mm.

Die Lösung dieser Aufgabe erwies sich als außerordentlich schwierig. Einerseits lag in den amerikanischen NEMA-Standards eine bewährte und weitverbreitete Motornorm vor. Andererseits musste erkannt werden, dass die östlichen Länder für Motoren dieser Leistung Aluminium-Ständerwicklungen bevorzugen, also ein größeres Ständerblechvolumen je Leistungseinheit benötigen als die westlichen Hersteller, die Kupferwicklungen im Ständer verwenden.

Das Subkomitee beschränkte sich deshalb darauf, für Anbaumaße, Wellenenden und Leistungszahlen getrennte Zahlenreihen festzulegen."

Dieser Kompromiss hat bis heute Bestand, d.h. es ist trotz mehrfacher Anläufe nicht gelungen, die getrennten Zahlenreihen für Anbaumaße, Wellenenden und Leistungswerte fest zuzuordnen. Der Begriff »IEC-Motor« ist daher möglichst zu vermeiden, weil er keinen eindeutigen Motor definiert.

Bild 3.4.5 zeigt einen auf Fußmotoren beschränkten Auszug der bei IEC festgelegten Hauptabmessungen.

Die dort benutzten Maßbuchstaben wurden allerdings zunächst nicht in das deutsche Normenwerk übernommen, weil für die vollständige Darstellung eines Elektromotors wesentlich mehr Maße notwendig sind, die international zunächst nicht festgelegt waren. Inzwischen gibt es ein umfassendes Bezeichnungssystem, das in der neuen europäischen Norm EN 50347 zur Anwendung kommt und auch in die Kataloge der Hersteller übernommen wurde.

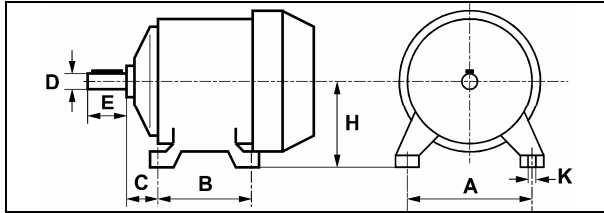


Bild 3.4.5
Auszug aus den in IEC 60072-1 festgelegten Anschlussmaßen für Drehstrom-Asynchronmotoren in Bauform B3

3.4.6 Deutscher Normmotor

Unmittelbar nach der Veröffentlichung der IEC-Empfehlung 60072-1 (1957) begann das für die "Leistungen und Abmessungen elektrischer Maschinen" zuständige DKE-Gremium FNE 201 mit den Arbeiten an einem »Deutschen Normmotor«. Es war der Wunsch aller beteiligten Fachkreise – besonders aber der Anwender – durch Zuordnung von Wellenenden und Leistungen zu den Baugrößen zu einer uneingeschränkten Austauschbarkeit der Motoren zu kommen, die für mindestens zehn Jahre, möglichst aber für zwanzig Jahre Bestand haben sollte. Dieses hohe Ziel wurde bei weitem übertroffen: **Seit mehr als vierzig Jahren genießen die Anwender die Vorteile einer in den Anschlussmaßen und Leistungszuordnung unveränderten Motorenreihe.**

In weniger als drei Jahren wurde eine Aufgabe erledigt, die für Berechnung, Konstruktion und Technologie elektrischer Maschinen einen außergewöhnlichen Schub darstellte. Als Stichwort sei nur der Übergang von den »kupferaktiven« zu den »eisenaktiven« Schnitten genannt.

Zuerst erschienen 1960 die Normen DIN 42673 für Fußmotoren und DIN 42677 für Flanschmotoren, die dann ab 1964 in folgender Reihe veröffentlicht wurden:

- | | |
|-----------|--|
| DIN 42672 | Innengekühlte Drehstrommotoren mit Käfigläufer, Bauform B3, mit Wälzlagern |
| DIN 42673 | Oberflächengekühlte Drehstrommotoren mit Käfigläufer, Bauform B3, mit Wälzlagern |
| | Teil 1: Anbaumaße und Zuordnung der Leistungen |
| | Teil 2: Zuordnung der Leistungen bei Ausführung (Ex) e |
| | Teil 3: Zuordnung der Leistungen bei Ausführung (Sch) und (Ex) d |
| DIN 42677 | Oberflächengekühlte Drehstrommotoren mit Käfigläufer, Bauformen B5, B10, B14, mit Wälzlagern |
| DIN 42678 | Innengekühlte Drehstrommotoren mit Schleifringläufer, Bauform B3, mit Wälzlagern |
| DIN 42679 | Oberflächengekühlte Drehstrommotoren mit Schleifringläufer, Bauform B3, mit Wälzlagern |

3.4.7 Europäischer Normmotor

Der Inhalt der im vorherigen Abschnitt behandelten deutschen Normen wurde weitgehend unverändert auch in die Normen anderer europäischer Industrieländer übernommen, also »harmonisiert«. Durch einen formalen Akt wurden sie mit dem Harmonisierungsdokument HD 231 zur Vorstufe einer europäischen Norm.

Harmonisierte Normen sind Normen mit demselben Gegenstand, die von verschiedenen Normenorganisationen anerkannt wurden und die technisch übereinstimmen oder für die Praxis als übereinstimmend angesehen werden können. Harmonisierte Normen werden im allgemeinen festgelegt, um in der Region, in der sie angewendet werden, technische Handelshemmnisse zu vermeiden oder zu beseitigen.

HD 231S1:1974 ist nun ersetzt durch die europäische Norm EN 50347

"Drehstromasynchronmotoren für den Allgemeingebrauch mit standardisierten Abmessungen und Leistungen – Baugrößen 56 bis 315 und Flanschgrößen 65 bis 740".

3.4.8 Ausblick

Ende der 60er und Anfang der 70er Jahre bestanden seitens der osteuropäischen Länder des damaligen RGW starke Bestrebungen, in IEC 60072-1 eine Leistungszuordnung vorzunehmen. Basis sollte die sogenannte »progressive Reihe« sein, bei der gegenüber der bestehenden Reihe ein Leistungssprung erzielt wurde. Aus heutiger Sicht ist positiv zu vermerken, dass diese Tendenz zu einer **maximalen Materialausnutzung** nicht realisiert wurde. Seit einigen Jahren hat die **Optimierung des Wirkungsgrades** einen wesentlich höheren Stellenwert; zu diesem Zweck sollte die Materialausnutzung eher vermindert werden.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der in EN 50347 festgeschriebene technische Stand noch für einige Jahre zum Nutzen der Anwender gültig sein wird.

Leerseite für Notizen

4 Katalogdarstellung von Getriebemotoren

Die Präsentation der neuen Getriebemotoren-Generation »Danfoss Bauer 2000« gab Veranlassung, die Entwicklung des Produkts über 60 Jahre anhand des ersten Kataloges für Drehstrom-Getriebemotoren aus dem Jahr 1940 zu verfolgen. Zwar hatte das Unternehmen schon bald nach 1927 mit der handwerklichen Herstellung von Getriebemotoren begonnen, doch wurde die Auslegung der Zahnräder zunächst nach den individuellen Wünschen der Abnehmer »maßgeschneidert«.

Mit dem ersten Katalog wurde der erfolgreiche Versuch unternommen, eine auf die Bedarfsschwerpunkte abgestimmte, relativ enge Stufung von Leistung und Drehzahl zur Wahl zu stellen. Das Katalog-Angebot hatte viele Vorteile:

- Optimierung der Getriebeberechnung
- Vorfertigung von Zahnrädern
- umfassende, klare Darstellung des Herstellungsprogramms
- Erweiterung des Kundenkreises
- übersichtliches Angebot der Preise.

Der neue Katalog machte rasch Schule – im eigenen Haus und beim damals noch recht engen Kreis der Wettbewerber. Inzwischen hat Danfoss Bauer die 30. Generation seiner Kataloge aufgelegt – wahlweise als CD mit EDV-gerechten Auswahlhilfen und Suchprogrammen. Es erscheint nicht nur firmengeschichtlich interessant, die Entwicklung der katalogmäßigen Darstellung eines Serienprodukts über 60 Jahre unter verschiedenen Gesichtspunkten zu vergleichen.

4.1 Titelgrafik

Als Blickfang diente von Anfang an das Produkt – zunächst in der Einzeldarstellung, dann in verschiedenen Versuchen, den Seriencharakter der Fertigung deutlich zu machen. Mit der heutigen Titelseite soll das Baukastenprinzip und die daraus resultierende Variationsmöglichkeit gezeigt werden (**Bild 4.1.1**).



Bild 4.1.1
Titelgrafik der Kataloge für Getriebemotoren 1940 ... 2005

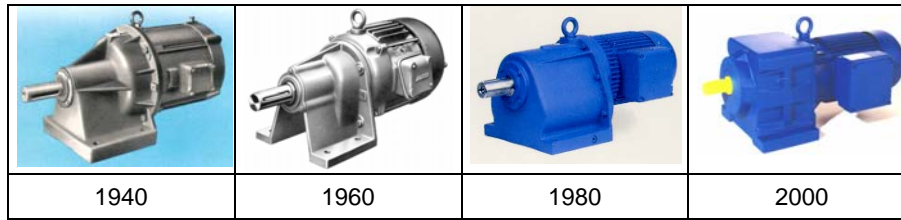


Bild 4.1.2 Funktion, Fertigung und Baukasten bestimmen das Design

4.2 Technische Beschreibung

Wenn sich auch die technische Ausführung und die Einsatzmöglichkeiten des Getriebemotors in den sechs Jahrzehnten seiner katalogmäßigen Darstellung geändert haben: Der Grundgedanke und die Vorteile dieses Antriebsmittels sind die gleichen geblieben. Daher wirkt die entsprechende Textpassage im ersten Katalog zwar in Stil und Wortwahl antiquiert – die Zielrichtung ist nach wie vor modern:

Technische Erläuterungen

Der Getriebemotor findet in der gesamten Industrie immer mehr Eingang und ist in vielen Fällen infolge seiner bekannten Vorzüge bereits zu einem unentbehrlichen Konstruktionselement geworden. An besonderen Anforderungen werden an denselben folgende gestellt:
Gedrängte und demzufolge raumsparende Bauart,
Unempfindlichkeit gegen Feuchtigkeit, insbesondere Witterungseinflüsse,
absolute Betriebssicherheit und damit reichliche Auslegung sämtlicher Konstruktionsteile,
möglichst geräuscharmer Lauf.
Diese Anforderungen erfüllt in höchstem Maße der in mehr als 10 Jahren auf Grund der gesammelten Erfahrungen entwickelte BAUER-Getriebemotor.

Bild 4.2
Textpassage aus dem ersten Katalog 1940

4.3 Leistungsbereich

Die angebotenen Motor-Nennleistungen zwischen 0,18 ... 22 kW (0,25 ... 30 PS) waren nach DIN 42971 (zuvor DIN VDE 2650) gestuft. Der Bereich war zwar wesentlich kleiner als in den heute gültigen Katalogen, deckte aber den praktischen Bedarf recht gut ab.

4.4 Drehzahlbereich

Auch beim Bereich der listenmäßig angebotenen Drehzahlen ist eine deutliche Ausweitung zu beobachten, wobei der Bedarf an den Rändern des Angebots, also vor allem unter etwa 10 r/min, doch relativ gering ist.

In diesem Zusammenhang stellt sich die interessante Frage, ob sich die Drehzahlen von Getriebemotoren erhöht haben? Leider liegen entsprechende Statistiken über den hier betrachteten Zeitraum von 60 Jahren nicht vor.

Ein Vergleich zwischen 1970 und 2000, also über 30 Jahre, zeigt jedoch, dass hier keine bemerkenswerte Verschiebung eingetreten ist und dass die am häufigsten verlangte Drehzahl eines Getriebemotors etwa bei 50 r/min liegt.

4.5 Zahl der Getriebegrößen

Der Bereich des angebotenen Bemessungsdrehmomentes von etwa 175 bis etwa 4600 Nm wurde mit 9 Getriebegrößen bestreicht; dies entspricht einem theoretischen Stufensprung von etwa 1,45.

Für den heute angebotenen Drehmomentbereich einer Getriebefamilie von etwa 20 bis 8400 Nm werden 12 Getriebegrößen eingesetzt; dies entspricht einem theoretischen Stufensprung von etwa 1,65.

Das ist eine recht gute Übereinstimmung, wenn man bedenkt, welche komplexen Zusammenhänge – resultierend aus Materialaufwand, Wettbewerbsangebot, Mehrfachverwendung von Komponenten im Baukasten, wirtschaftlichen Losgrößen, Bevorratung – die Festlegung der Größenabstufung eines Getriebes beeinflussen.

4.6 Zahl der Motorgrößen

Für den Bereich von 0,18 bis 22 kW wurden 27 Motorgrößen eingesetzt; der theoretische Leistungssprung war etwa 1,2. Heute werden von 0,12 bis 75 kW 22 Normgrößen verwendet; theoretischer Leistungssprung etwa 1,34.

4.7 Gewichte

Werkstoffe, Gestaltung der Zahnform, Bearbeitungsverfahren und Schmiertechnik haben in den vergangenen sechs Jahrzehnten so deutliche Verbesserungen erfahren, dass die spezifische Ausnutzungskennziffer eines Getriebes ohne Einbuße an Lebensdauer und Zuverlässigkeit erheblich gesteigert werden konnte. Bei den Elektromotoren wurden der magnetische Kreis optimiert, die Belüftung verbessert und die Wärmebeständigkeit der Isolierstoffe gesteigert.

All diese technologischen Fortschritte schlagen sich in einer deutlichen Abnahme des Gewichtes eines Getriebemotors nieder, wie **Bild 4.7** zeigt:

Das Durchschnittsgewicht eines modernen Getriebemotors liegt gegenüber dem Jahr 1940 etwa bei 55 %.

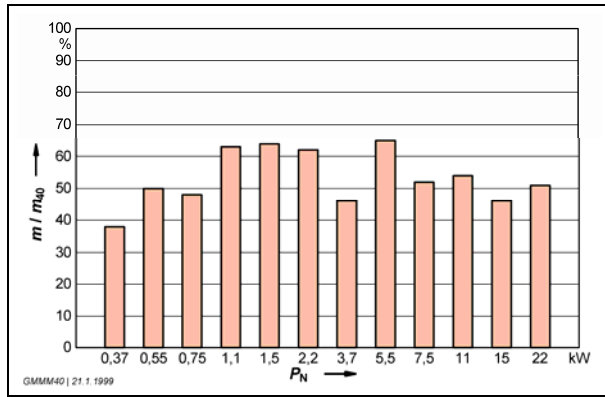


Bild 4.7
Relative Gewichte m/m_{40} von Getriebemotoren mit Bemessungsleistungen P_N und Ausgangsdrehzahlen von etwa 100 r/min;

Katalogwerte 1940 sind als 100 % gesetzt

4.8 Ausnutzungskennziffer

Die Entwicklung der auf das Gewicht bezogenen Leistung von Drehstrommotoren mit einer Bemessungsleistung von 15 kW ist in **Bild 4.8.1** dargestellt.

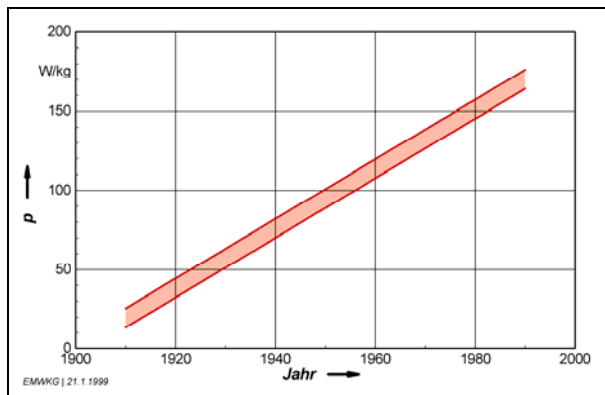
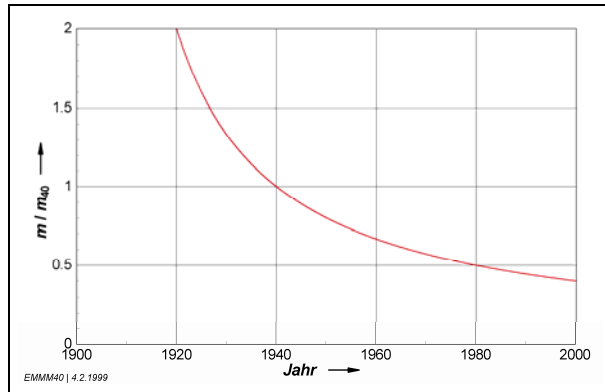


Bild 4.8.1
Entwicklung der bezogenen Leistung p (in W/kg) von Drehstrommotoren 15 kW

(nach H. D. Sprang, ETZ Bd. 110;1989, Heft 11)

Bild 4.8.2 zeigt, dass die Masse von Drehstrommotoren der Generation »2000« etwa 40 % von der Generation »1940« beträgt, d. h. das in Abschnitt 4.7 gefundene Gesamtgewicht von Getriebemotoren liegt mit etwa 55 % noch deutlich über dem Trend der Elektromotoren. Um den Bezug zum vorliegenden Vergleich herzustellen, wurde das Gewicht eines Drehstrommotors des Jahrgangs 1940 gleich 1 gesetzt.

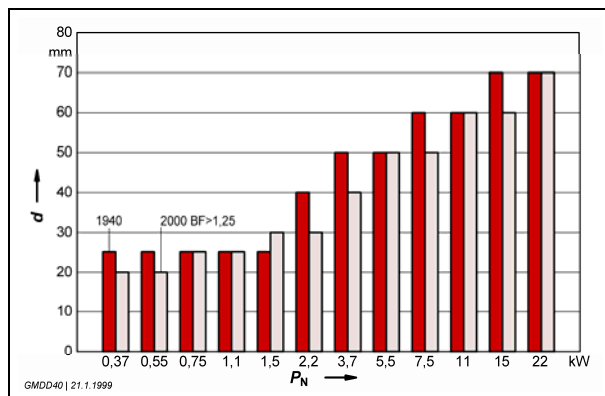
Bild 4.8.2
Entwicklung des relativen Gewichts m / m_{40} von Drehstrommotoren 15 kW, umgewertet aus Bild 4.8.1 und bezogen auf das Jahr 1940



4.9 Wellendurchmesser

Das im letzten Abschnitt beschriebene Zusammenwirken von verschiedenen Einflüssen auf die Belastbarkeit eines Getriebes kann auf ein einzelnes Maschinenelement wie die Arbeitswelle nicht übertragen werden. Die Belastbarkeit einer Welle auf Biegung und Torsion hängt eben entscheidend von den Materialeigenschaften und vom Querschnitt ab. Typische Wellenstähle der 40er Jahre (z. B. St 60.11) hatten eine Zugfestigkeit von etwa 600 N/mm², der heute meist verwendete Stahl C45 hat eine Zugfestigkeit von 580 bis 770 N/mm². Dementsprechend konnten die Wellendurchmesser für die Übertragung bestimmter Drehmomente nur relativ wenig verringert werden (**Bild 4.9**).

Bild 4.9
Vergleich der Arbeitswellen-Durchmesser d von Getriebemotoren etwa 100 r/min in den Katalogen 1940 und 2000 (Getriebe der Generation B2000 mit Betriebsfaktor 1,25)



4.10 Hüllmaße des Getriebemotors

Auch der Gesamt-Raumbedarf der Antriebseinheit »Getriebemotor« – dargestellt am Beispiel 100 r/min – ist um etwa 40 % gesunken (**Bild 4.10**).

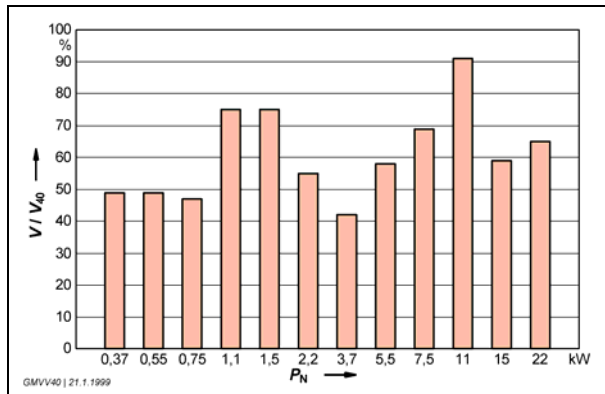
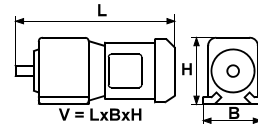


Bild 4.10
Hüllmaße von
Getriebemotoren mit
etwa 100 r/min der
»Generation 2000« oder
Raumbedarf V ;
Katalogwerte 1940 sind
als 100 % gesetzt



4.11 Preise

Eine Gegenüberstellung von Preisen für Industrieprodukte weit auseinander liegender Jahrzehnte ist sehr problematisch; trotzdem soll ein Preisvergleich versucht werden. In **Bild 4.11** sind zunächst die unbewerteten Katalog-Bruttopreise gegenübergestellt; sie zeigen im Mittel eine Relation von etwa 1 : 2,5 zwischen 1940 (RM) und 2005 (€). Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Kaufkraft und der 1940 noch deutlich niedrigeren Rabatte kann festgestellt werden, dass Getriebemotoren in den 65 Jahren ihrer katalogmäßigen Erfassung keinesfalls teurer, sondern eher billiger geworden sind.

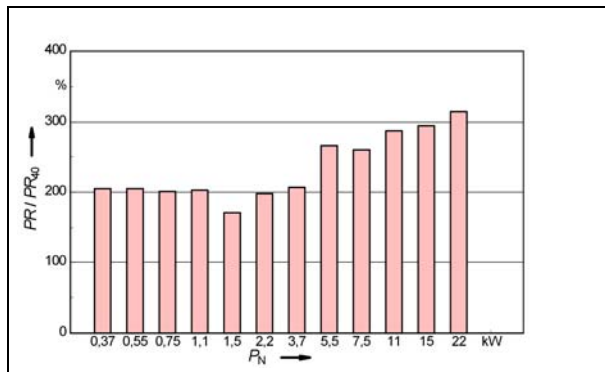


Bild 4.11
Relation der
Bruttopreise PR
2005/1940
von Getriebemotoren
mit etwa 100 r/min

4.12 Computergestützte Antriebswahl

Mit der Einführung der Antriebsgeneration »B2000« wurde der Katalog völlig neu gestaltet; er enthält alle vier Getriebebauarten, also die Reihen

- BG Stirnradgetriebe
- BF Flachgetriebe
- BK Kegelradgetriebe
- BS Schneckengetriebe.

Bei der Antriebsauswahl mit dem PC und einer vom Hersteller erhältlichen CD wird von den Möglichkeiten einer komfortablen und raschen Suche sowie von einer Plausibilitätsprüfung für die Kombination der vielen Module des Baukastensystems Gebrauch gemacht.

Als Beispiel wird die Gegenüberstellung der zwei in der Anwendung konkurrierenden Getriebebauarten mit rechtwinkligem Abtrieb (BK und BS) gezeigt – mit dem konventionellen Katalog eine aufwändige Prozedur.

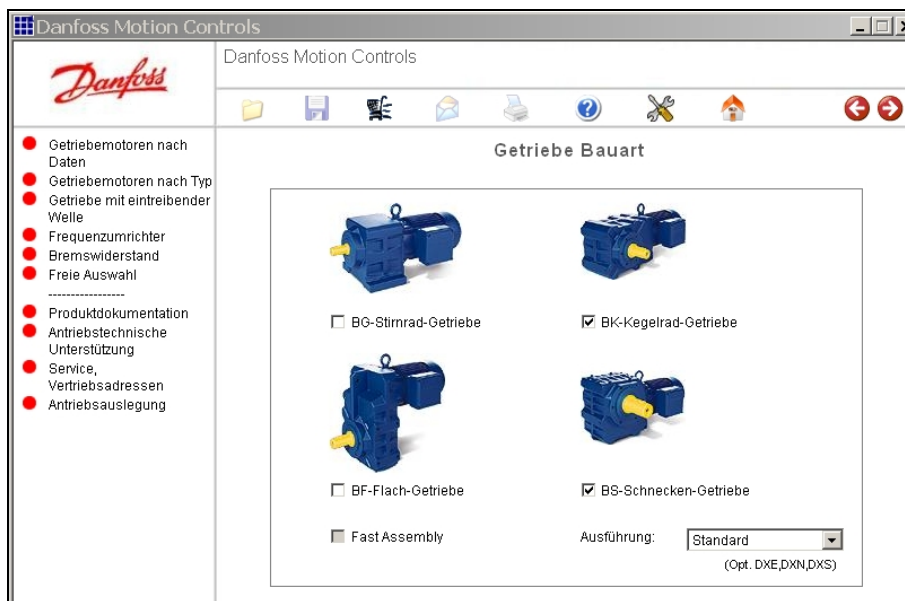


Bild 4.12.1
Eingangsfenster der Katalog-CD

Gewünschte Antriebsdaten

Auswahl: Standard-Programm 4-polig am Netz

Netzfrequenz: 50 Hz

Bemessungsleistung: 2.2 kW

oder

Moment an der Arbeitswelle: Nm

Suchbereich: -10 % bis 20 %

Höchste oder überwiegende Drehzahl der Arbeitswelle: 50 r/min

Suchbereich: -20 % bis 20 %

Betriebsfaktor: 1,25

Berechnen

Bild 4.12.2
Eingabe der
gewünschten
Antriebsdaten

f : Netzfrequenz 50 Hz Suchbereich:


P_2 : Bemessungsleistung 2.2 kW -10% bis 20%

$M_{2<}$: Bemessungsmoment an der Arbeitswelle

n_2 : Bemessungsdrehzahl an der Arbeitswelle 50 r/min -20% bis 20%

fB : Betriebsfaktor ≥ 1.25

i : Getriebeuntersetzung



Gefundene Getriebemotoren:

Typ	Betriebsart	Pnenn	N2	i	M2	FB	Grundpreis
BK40.D09LA4	S3/S6 - 60 %	2.2	49.0	28.59	385.0	2.0	1197
BK40.D09LA4	S3/S6 - 60 %	2.2	40.5	34.61	465.0	1.7	1197
BS40.D09LA4	S3/S6 - 60 %	2.2	54.0	26.18	315.0	2.3	1239
BS40.D09LA4	S3/S6 - 60 %	2.2	46.0	30.63	335.0	2.2	1239
BS40.D09LA4	S3/S6 - 60 %	2.2	42.0	33.35	400.0	1.95	1239
BK40.D09XA4	S1	2.2	49.0	28.59	385.0	2.0	1276
BK40.D09XA4	S1	2.2	40.5	34.61	465.0	1.7	1276
BS40.D09XA4	S1	2.2	54.0	26.18	315.0	2.3	1312
BS40.D09XA4	S1	2.2	46.0	30.63	335.0	2.2	1312
BS40.D09XA4	S1	2.2	42.0	33.35	400.0	1.95	1312
BK50.D09LA4	S3/S6 - 60 %	2.2	53.0	26.51	355.0	3.0	1379
BK50.D09LA4	S3/S6 - 60 %	2.2	40.0	35.21	470.0	2.2	1379
BK50.D09XA4	S1	2.2	53.0	26.51	355.0	3.0	1459
.....

Bild 4.12.3
Ergebnisfenster mit 13 Lösungen (+ drei weitere durch Scrollen erreichbar),
die den gewünschten Daten entsprechen.
Im Original kann durch Klick auf den Kopf der Spalte nach verschiedenen
Kriterien geordnet werden, **hier nach »Grundpreis«**.

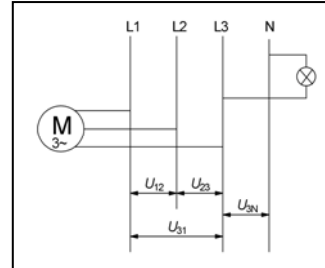
II ELEKTRISCHE KENNGRÖSSEN VON KÄFIGLÄUFERMOTOREN

5 Bemessungsspannung

Für die Weiterleitung und Verteilung elektrischer Energie werden meist Drehstromnetze mit drei **Außenleitern** (Hauptleitern) L1, L2, L3 und einem belastbaren **Neutralleiter** (Sternpunktleiter) N verwendet.

Ein Neutralleiter (N), der gleichzeitig als Schutzleiter (PE = protection earth) verwendet ist, wird als PEN-Leiter bezeichnet (DIN VDE 0100 Teil 200). Ein Drehstromnetz, in dem ein solcher kombinierter (C = combined) Neutral- und Schutzleiter verwendet wird, bezeichnet man als TN-C-Netz (T = terre). Die meisten Industrieantriebe werden an die 3 Außenleiter, also an Dreiphasenstrom (Drehstrom), angeschlossen.

Beleuchtung, Heizung und kleine Haushaltsmotoren werden je nach Netzart an einen Außenleiter und den Neutralleiter oder zwischen zwei Außenleitern, in beiden Fällen jedoch an Einphasenstrom, angeschlossen. In Europa, Asien, Afrika und Australien dominiert die Netzfrequenz 50 Hz. Folgende Länder benutzen ausschließlich, überwiegend oder in nennenswertem Umfang die Frequenz 60 Hz:



Bahamas	Guam	Korea	Puerto Rico
Bahrain	Guatemala	Liberia	Saudi-Arabien
Belize	Guyana	Mexico	Suriname
Brasilien	Haiti	Nicaragua	Taiwan
Costa Rica	Honduras	Panama	Trinidad
Dominik. Rep.	Japan	Peru	USA
Ecuador	Kanada	Philippinen	Venezuela
El Salvador	Kolumbien		

5.1 Übliche Netzspannungen

Die eingeklammerten Werte sollen seit dem Jahr 2003 nicht mehr verwendet werden (s. Abschnitt 5.2).

5.1.1 Deutschland

Zwischen zwei Außenleitern

$$U_m = U_{12} = U_{23} = U_{31}$$

(380 V)

400 V

500 V

(660 V)

690 V

Zwischen Außenleiter und Neutralleiter

$$U_{mN} = U_{1N} = U_{2N} = U_{3N}$$

(220 V)

230 V

5.1.2 Großbritannien, Australien, Indien:

400 V	230 V
(415 V)	(240 V)
(420 V)	
(440 V)	

5.1.3 Nordamerika (Frequenz 60 Hz)

Nordamerika	Nennspannung des Netzes	Bemessungsspannung (Betriebsspannung) des Motors	
		üblich	veraltet
USA	120 V (1 ph)	115 V (1 ph)	110 V (1 ph)
	208 V	200 V	190 V
	240 V	230 V	220 V
	480 V	460 V	440 V
Kanada	600 V	575 V	550 V

Die in Nordamerika gebräuchlichen Bezeichnungen sind verwirrend, weil für ein bestimmtes Netz oft zwei, manchmal sogar noch drei verschiedene Spannungsangaben benutzt werden. Für die Leistungsschildangabe eines Motors ist (auch nach NEMA MG 10) die mittlere Spalte maßgebend.

Für den Motoren-Hersteller zusätzlich verwirrend sind die Angaben 120/208 V, 240/416 V, 277/480 V und 347/600 V: Sie bezeichnen nicht jeweils zwei verschiedene Dreiphasen-Netze, sondern z. B. ein Dreiphasen-Netz 480 V mit einer Spannung von 277 V gegen den Neutralleiter.

Es ist also nicht nötig, die Wicklung umschaltbar für z. B. 277 V Δ /480 V Y auszuführen.

Die Unklarheit wird am einfachsten und sichersten beseitigt, wenn der Motor für die Dreiphasen-Spannung, also z. B. für 460 V bestellt und dann auch so auf dem Leistungsschild gekennzeichnet wird.

Drehstromnetze 208 V sind typisch für größere Verbraucher in Wohnbereichen (z. B. für die Klimaanlage eines Bürogebäudes). NEMA empfiehlt für diese Netze eine Motor-Bemessungsspannung von 200 V.

5.2 Welt-Normspannung nach DIN IEC 60038

Die Bemühungen um weltweite Normspannungen haben im Jahr 1983 mit IEC 38 einen vorläufigen Abschluss gefunden. Die identische nationale Norm DIN IEC 38 ist 1987 erschienen. In einer auf 20 Jahre veranschlagten Übergangszeit sollen die in 50-Hz-Netzen üblichen Spannungen von 380, 415, 420 und 440 V durch die Normspannung 400 V abgelöst werden. Für Einphasennetze gilt dann sinngemäß 230 V.

5.2.1 Norm für die Netze

Die neuen Nennwerte sollen bis zum Jahr 2003 übernommen werden. Im CENELEC-Memorandum No.14 war sogar empfohlen, die neuen Nennspannungen bis 1993 einzuführen. Da aber Großbritannien (Spannungen 415, 420 und 440 V) erst 1993 formal zugestimmt hat und dort die Umstellung mit den Ende 1994 eingeführten Ergänzungen zu den "Wire regulations" BS 7671 erst beginnt, konnte das eigentliche Ziel einer Welt-Normspannung bei 50 Hz noch nicht erreicht werden. Zunächst war bis zum Jahr 2003 Toleranz von + 6/- 10 %; danach ± 10 % vorgesehen. Diese Frist wurde im Juni 2001 bis 2008 verlängert.

5.2.2 Bedeutung der Spannungsangabe 230 V

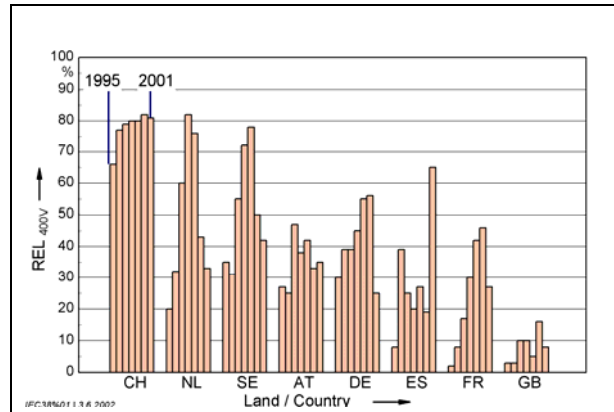
Nach Auskunft der VDEW kommen Drehstromnetze 3 x 220 V in den alten Bundesländern nicht mehr vor. In den neuen Bundesländern gibt es noch einige wenige Drehstromnetze 3 x 220 V, die so bald wie möglich auf 3 x 400 V umgestellt werden sollen.

Die Spannung 230 V ist fast immer eine **Einphasenspannung** für Licht- und Stuemetze. Eine Spannungsangabe 230/400 V kann daher nur als Netzbezeichnung 1~ 230 V / 3~ 400 V verstanden werden. Für die Bestellung und Beschilderung von Motoren für Netzbetrieb macht die Bezeichnung 230/400 V Δ/Y (also 3~ 230 / 3~ 400 V Δ/Y) keinen Sinn und sollte daher vermieden werden. Lediglich bei Umrichterbetrieb kann eine Auslegung für 3 x 230 V vorkommen.

5.2.3 Akzeptanz der »Eurospannung« in europäischen Ländern

Trotz **CENELEC-Memorandum** ist gegen Ende der 20-jährigen Übergangsfrist eine insgesamt unbefriedigende praktische Akzeptanz der »Eurospannung« festzustellen: Dies gilt vor allem für den Handelspartner Großbritannien, dessen Sondernetz 415 bzw. 420 V ein wichtiger Grund für die Einführung der neuen Spannung 400 V war. Aus der Erhebung nach **Bild 5.2.3** ist allerdings nicht erkenntlich, welcher Anteil der Motoren im jeweiligen Land (also an »genormten« 400 V) verwendet werden soll und welcher Anteil zum Export in Länder mit weiterhin genormten 380 V bestimmt ist.

Bild 5.2.3
Akzeptanz REL_{400V} der »Eurospannung 400 V« in acht europäischen Ländern nach der Danfoss-Bauer-Lieferstatistik 1995 ... 2001



5.3 Zulässige Spannungsschwankung für elektrische Maschinen

Für elektrische Maschinen gilt nach wie vor DIN VDE 0530-1 = EN 60 034-1, die mit IEC 60034-1 harmonisiert und in deren Abschnitt 12.3 eine zulässige Spannungsschwankung von $\pm 5\%$ genormt ist. Diese Toleranz bezieht sich auf die jeweils auf dem Leistungsschild genannte Spannung, d. h., ein Motor, benannt für 380 V kann verwendet werden für 361 bis 399 V
400 V 380 bis 420 V.

Die genormte Toleranz $\pm 5\%$ wird auf dem Leistungsschild nicht angegeben (vgl. DIN VDE 0530-1, Abschnitt 12.3). Für elektrische Maschinen ist also – im Gegensatz zu den Festlegungen für die Netzspannung und Toleranzen vieler anderer Betriebsmittel – eine relativ enge Schwankung der Anschlussspannung zulässig. Dies hat technische Gründe: Kleine Motoren (z. B. unter etwa 1,1 kW) und hochpolige Motoren arbeiten häufig nahe der magnetischen Sättigung und reagieren daher auf Überspannung relativ empfindlich. Für einen Betrieb mit Spannungsschwankungen, die über die genormten $\pm 5\%$ hinausgehen, ist in DIN VDE 0530-1 vorgesehen, dass die Motoren funktionstüchtig sein sollen: Sie können ihr Bemessungsdrehmoment abgeben, wobei die übrigen Kenndaten (z. B. auch die

Erwärmung) größere Abweichungen von den für die Bemessungsspannung festgelegten Daten haben dürfen.

Nenn- oder Bemessungspunkt	ΔU in % 10	Bereich B Motor muss funktionstüchtig sein, darf aber keine größeren Abweichungen der Kenndaten haben; Betrieb über längere Zeit an den Grenzen von B wird nicht empfohlen; für EEx e nicht zulässig
	5	Bereich A Motor muss im Dauerbetrieb funktionstüchtig sein Erwärmung darf um 10 K höher sein als Grenzwert; auch zulässig bei EEx
	0	
	- 5	Bereich B Motor muss funktionstüchtig sein, darf aber keine größeren Abweichungen der Kenndaten haben; Betrieb über längere Zeit an den Grenzen von B wird nicht empfohlen; für EEx e nicht zulässig
- 10		

Tab. 5.3.1 Zulässige Spannungsschwankungen für Motoren
nach DIN VDE 0530-1 sowie IEC 60034-1, Bild 14

Der Toleranzbereich B stellt für **normale, nicht explosionsgeschützte** Maschinen eine Konzession dar, von der Hersteller und Betreiber nach Abwägung der Auswirkung auf die Betriebsdaten und die Lebensdauer der Wicklungsisolierung eigenverantwortlich Gebrauch machen können. Da bei **explosionsgeschützten** Motoren die Sicherheit tangiert ist, muss hier die Umstellung auf die Spannung 400 V unter Beachtung einschlägiger Normen (z. B. EN 50018 und EN 50019) und der speziellen Motorauslegung vorgenommen und dokumentiert werden.

5.4 Wicklungen für einen Bereich der Bemessungsspannung

Die unzureichend koordinierte Einführung der »Welt-Normspannung« 400 V hat ein unvorhergesehenes Ergebnis: Motoren mit **Weitbereichswicklungen** oder **Mehrspannungsauslegung** wie 380 ... 400 V oder gar 380 ... 420 V.

5.4.1 Notwendigkeit für Spannungsbereiche

Länder, die nicht der CENELEC-Vereinbarung unterliegen, werden auf unbestimmte Zeit bei der Spannung 380 V bleiben. Hierzu gehören z. B. alle Länder des früheren Ostblocks.

Für den exportorientierten Anlagenhersteller, der sich großzügig mit Elektromotoren bevorraten, und für den Motorenhersteller, der seine Wicklungen in wirtschaftlichen Losgrößen produzieren will, ergibt sich daraus die Notwendigkeit, **drei** statt bisher **zwei** Wicklungsauslegungen einzuplanen: 380, 400 und 415 V.

Maschinenfabriken und Motorenhersteller haben daher nach Lösungen mit **Weitbereichswicklungen** gesucht, z. B. 380 ... 400 V oder gar 380 ... 420 V.

5.4.2 Schreibweise für einen Spannungsbereich

Ein Spannungsbereich ist nach Norm zum Beispiel mit 380 ... 400 V anzugeben.

Die Verwendung eines Schrägstriches ist einer **Umschaltung** vorbehalten, z.B.

Spannungsumschaltung 220 / 380 V

Drehzahl(Pol)umschaltung 1420 / 2840 r/min

5.4.3 Toleranz auf den Spannungsbereich

Wie ist das Leistungsschild eines Motors mit Weitbereichswicklung zu lesen? Ist 380 ... 420 V nur eine andere Schreibweise für $400 \text{ V} \pm 5 \%$? Die Normen und die kompetenten Kommentare sagen eindeutig, dass dies nicht so ist. Sowohl für die Einzelangabe einer Bemessungsspannung (z. B. 400 V) als auch für die Angabe eines Spannungsbereichs gilt grundsätzlich die normale Toleranz von $\pm 5 \%$.

5.4.3.1 Angabe der Spannungstoleranz bei elektrischen Maschinen

Nachfolgende Beispiele basieren auf

- EN 60034-1 = DIN VDE 0530 -1 (1995)
- Erläuterungen zu DIN VDE 0530, VDE-Schriftenreihe 10 (1993)
- Bestätigung v. 18.02.1991 durch den Obmann des für VDE 0530 zuständigen Gremiums K 311.

Angegebene Bemessungsspannung		Bereich der Bemessungsspannung	Implizit genormt Toleranz	Grenzen des Bereichs A nach DIN VDE 0530, Abschnitt 12.3	
fest	Zusatz			U_{\min}	U_{\max}
400 V	-	-	$\pm 5 \%$	380 V	420 V
400 V	IEC 38	360 ... 440 V	$\pm 5 \%$	342 V	462 V
400 V	$\pm 10 \%$	360 ... 440 V	$\pm 5 \%$	342 V	462 V
-	-	380 ... 420 V	$\pm 5 \%$	361 V	441 V

5.4.3.2 Angabe einer von $\pm 5 \%$ abweichenden Toleranz

Für die Angabe einer von der Norm abweichenden Spannungstoleranz (z. B. $\pm 6 \%$ nach alten British Standards) gibt es unterschiedliche Verfahren. Im Zweifelsfall empfiehlt sich daher eine klare Absprache zwischen Hersteller und Anwender.

- nach DIN VDE 0530 und K 311:

Schild	implizite Toleranz	gesamte Toleranz
$400 \pm 1 \%$	$\pm 5 \%$	$\pm 6 \%$
- nach PTB-Prüfregel (1969), Abschnitt 5.7.1, und nach Praxis vieler Hersteller:

Schild	gesamte Toleranz
$400 \pm 6 \%$	$\pm 6 \%$

5.4.3.3 Konsequenzen aus der Toleranzangabe

Ein Motor mit der Angabe 380 ... 420 V muss also bei jeder Spannung zwischen 380 und 420 V die seiner Wärmeklasse entsprechende Grenzübertemperatur einhalten und auch bei 380 V ein Kippmoment entwickeln, das mindestens 160 % des Bemessungsmoments beträgt. Er muss darüber hinaus bei $380 \text{ V} - 5 \% = 361 \text{ V}$ sowie bei $420 \text{ V} + 5 \% = 441 \text{ V}$ funktionstüchtig (wenn auch bei einer um 10 K erhöhten Erwärmung) sein. Bei $380 \text{ V} - 10 \% = 342 \text{ V}$ (also an der unteren Grenze des Bereichs B nach Tab.5.3.1) muss er noch sein Bemessungsmoment abgeben können. Die Einhaltung dieser Forderung ist gerade für kleine Maschinen nicht ganz leicht.

5.5 Grenzen und Risiken eines Weitspannungsbereichs

Im Abschnitt 5.6 wird gezeigt, dass relativ kleine Maschinen auf Überspannung empfindlich reagieren und an den Grenzen der normalen Spannungstoleranz schon im Leerlauf relativ warm werden können. Grundsätzlich gilt, dass sich Anzugsmoment und Kippmoment **quadratisch** mit der angelegten Spannung ändern – unabhängig vom Drehmomentbedarf oder Auslastungsgrad.

Die Risiken einer Auslegung für einen »Weitspannungsbereich« sollen an drei Beispielen gezeigt werden :

- Kleiner Motor (z. B. Fertigung UK, Betrieb östliche Länder):
Schildangabe: 380 ... 420 V
Annahme : bei 420 V $M_K/M_N = 1,6$
 bei 361 V $M_K/M_N = 1,6(361/420)^2 = 1,18$

Der Motor ist so »weich«, dass bei Nennmoment ein Schlupf von 20 ... 30 % zu erwarten ist, der bei Erwärmung rasch gegen 100 % geht – der Motor kippt ab und ist nicht mehr funktionstüchtig.

- Großer Motor (z. B. Fertigung BRD, Betrieb UK):
Schildangabe: 380 ... 420 V
Annahme : bei 380 V $M_K/M_N = 3,0$
 bei 441 V $M_K/M_N = 3,0(441/380)^2 = 4,0$.

Derart hohe Anzugs- und Kippmomente beanspruchen die mechanischen Übertragungsmittel.

Die zwangsläufig hohe Stromdichte im Kurzschluss ist bei festgebremstem Läufer eine thermische Gefahr für die Wicklung..

- Motor beliebiger Größe
Schildangabe $400 \pm 10 \%$ oder IEC 38
Schwankungsbreite von M_A und M_K im Bereich A: $(462/342)^2 = 1,82 !!$
z. B. $M_K/M_N = 1,6 \dots 2,9$
oder $M_K/M_N = 0,9 \dots 1,6$

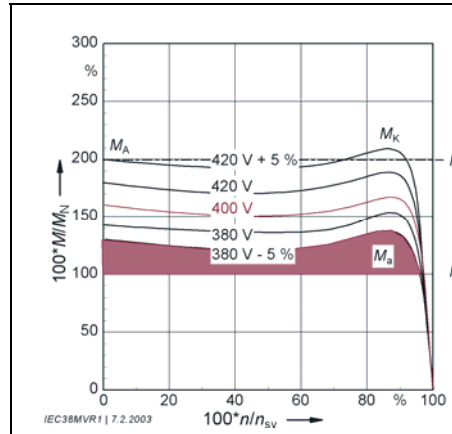
Eine optimale Anpassung der Drehmomente an den konkreten Anwendungsfall erscheint sehr schwierig oder unmöglich.

Bild 5.5 zeigt die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien eines mit »380 ... 420 V« deklarierten Motors. Der schraffierte Bereich ist repräsentativ für die Beschleunigung, also für den Reziprokwert der Anlaufzeit. Diese kann an den Grenzen des Toleranzbereichs der Spannung bei gleichen Lastverhältnissen etwa im Verhältnis 1 : 3 (also z. B. von 0,5 bis 1,5 s) variieren.

Es ist zwar kaum anzunehmen, dass ein bestimmter Motor dieser Schwankungsbreite der Spannung ausgesetzt ist. Typen mit großem Spannungsbereich suggerieren aber dem Hersteller und dem Anwender einer Maschine, dass sich der gleiche Antriebsmotor unter stark veränderlichen Spannungsverhältnissen (also z. B. in England wie in Russland) auch gleich verhält. **Diese Erwartung ist aus physikalischen Gründen offensichtlich nicht erfüllbar.**

Bild 5.5
Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien eines für 400 V ausgelegten und für 380 ... 420 V deklarierten Käfigläufermotors bei verschiedenen Spannungen im gesamten Toleranzbereich.

Der schraffierte Bereich repräsentiert die Beschleunigung bei gleichbleibenden Lastverhältnissen.



Motoren für große Spannungsbereiche sind fast immer Kompromisslösungen – es sei denn, der aktive Materialaufwand (also die Typgröße) wird gegenüber der Normalausführung vergrößert.

5.6 Betriebsverhalten bei Spannungsänderung

Zur Beurteilung des Betriebsverhaltens von Drehstrom-Asynchronmotoren bei Änderung der Anschlussspannung kann eine Versuchsreihe herangezogen werden, die häufig im Rahmen der Typenprüfung zur Feinabstimmung der Wicklungsauslegung durchgeführt wird: konstante Leistungsabgabe bei verschiedenen Spannungen. Im Grunde ermittelt man hier bei der Typprüfung die **magnetische Flussdichte (Induktion)**, bei der sich die günstigsten Betriebseigenschaften ergeben. Die Wicklung wird für die Serie dann so ausgelegt, dass sich bei Betrieb mit Bemessungsspannung eben diese günstigste Flussdichte einstellt. Wenn irgend möglich, wählt man die Flussdichte so, dass bei Bemessungsspannung die niedrigsten Verluste auftreten. Bei dieser Auslegung hat der Motor bei Abgabe der Bemessungsleistung die geringste Erwärmung – nachfolgend als »Optimum« bezeichnet.

Es gibt jedoch zwingende Gründe dafür, die Flussdichte niedriger oder höher als das Optimum zu wählen.

Die **Diagramme 5.6.1 bis 5.6.3** sind rein qualitativ zu betrachten. Durch eine vereinfachte und überzeichnete Darstellung soll die Tendenz besonders deutlich werden. Sie eignen sich nicht für eine quantitative Auswertung.

- Der **Wirkstrom I_w** (der zur mechanischen Leistungsabgabe beiträgt) hat bei steigender Spannung (Flussdichte) eine fallende Tendenz (u. a. weil der Schlupf kleiner wird).
- Der **Magnetisierungsstrom I_μ** (der den magnetischen Fluss bildet) hat bei steigender Spannung (Flussdichte) eine steigende Tendenz, die vor allem bei Erreichen der Sättigungsgrenze überproportional steil ist.
- Der **Gesamtstrom I** (der in der Zuleitung zu messen ist) setzt sich geometrisch aus den Komponenten I_w und I_μ zusammen.
- Das **Minimum des Gesamtstromes I** (der auch die Verluste repräsentiert) charakterisiert das Optimum der Flussdichte.

5.6.1 Bemessungsspannung (Flussdichte) im Optimum

Diese Auslegung ist nach Möglichkeit anzustreben und ist typisch für Motoren mit Bemessungsleistungen von 1,1 ... 11 kW.

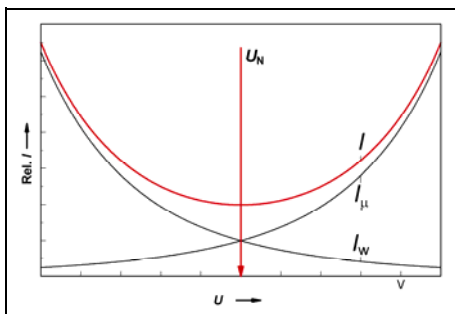


Bild 5.6.1

Tendenz der Stromaufnahme I mittlerer Motoren (1,1 ... 11 kW) bei Änderung der Anschlussspannung U

Zuordnung der Bemessungsspannung U_N im »Optimum« (qualitative Darstellung)

Beurteilung des Betriebsverhaltens:

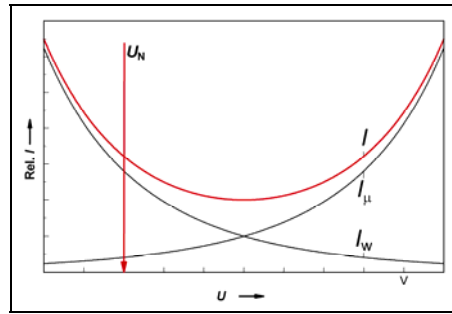
- Spannungsänderungen im Rahmen üblicher Toleranzen wirken sich relativ wenig auf die Stromaufnahme (Erwärmung) aus.
- Weiterbetrieb an der neuen Bemessungsspannung 400 V i. A. zulässig.

5.6.2 Bemessungsspannung (Flussdichte) unterhalb des Optimums

Diese Auslegung ist typisch für Motoren mit Bemessungsleistungen über etwa 11 kW, weil sich bei optimaler Flussdichte zu hohe Anzugsmomente und Anzugsströme ergeben würden. Während die Anzugsmomente nur für nachgeschaltete Übertragungselemente (Getriebemotoren) und Arbeitsmaschinen eine Gefahr darstellen, führen hohe Kurzschlussstromdichten im Blockierungsfall zu einem gefährlich raschen und starken Temperaturanstieg, der z. B. durch Thermistoren nicht mehr erfasst werden kann.

Bild 5.6.2
Tendenz der Stromaufnahme I großer Motoren (etwa $> 11 \text{ kW}$) bei Änderung der Anschlussspannung U

Zuordnung der Bemessungsspannung U_N unterhalb »Optimums« (qualitative Darstellung)



Beurteilung des Betriebsverhaltens:

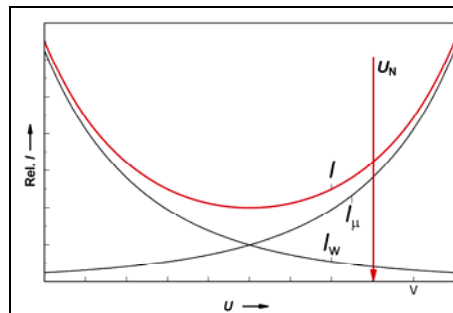
- Spannungsverminderung führt zu höherer Stromaufnahme (Erwärmung)
- Spannungsanhebung führt zu niedrigerer Stromaufnahme (Erwärmung)
- Weiterbetrieb an der neuen Bemessungsspannung 400 V zulässig, falls erhöhtes M_A und M_K für die Arbeitsmaschine unbedenklich.

5.6.3 Bemessungsspannung (Flussdichte) oberhalb des Optimums

Diese kritische Auslegung kann für Motoren mit Bemessungsleistungen unter etwa 1,1 kW erforderlich sein, weil mit der optimalen Flussdichte die genormte Überlastbarkeit $M_K/M_N \geq 1,6$ nicht erreicht würde. Für den Weiterbetrieb von 380-V-Motoren am neuen Netz 400 V ist dies die kritische Gruppe!

Bild 5.6.3
Tendenz der Stromaufnahme I kleiner Motoren (etwa $< 1,1 \text{ kW}$) bei Änderung der Anschlussspannung U

Zuordnung der Bemessungsspannung U_N oberhalb »Optimums« (qualitative Darstellung)



Beurteilung des Betriebsverhaltens:

- Spannungsverminderung führt zu geringerer Stromaufnahme, doch ist die nach Norm verlangte Überlastbarkeit $M_K/M_N \geq 1,6$ infrage gestellt.
- Spannungsanhebung führt wegen der Sättigung zu (viel) höherer Stromaufnahme (Erwärmung). Leerlaufstrom oft größer als Bemessungsstrom !
- Weiterbetrieb an der neuen Bemessungsspannung 400 V i. A. infrage gestellt. Stromaufnahme und Erwärmung im tatsächlichen Betrieb prüfen, Hersteller konsultieren.

5.7 Leistungsfaktor als Maßstab für die optimale Flussdichte

Das im Abschnitt 5.6 beschriebene Verfahren setzt entsprechende Messungen unter Nennlast voraus, die i. A. nur vom Hersteller im Zuge der Typentwicklung durchgeführt werden. Ein Urteil über die Weiterverwendbarkeit eines Motors am neuen 400-V-Netz macht also eine Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich. Wünschenswert ist daher ein Verfahren, das eine sofortige Beurteilung anhand der Leistungsschildangaben erlaubt. Der Leistungsfaktor sagt aus, wo die magnetische Flussdichte (Induktion) im Bemessungspunkt relativ zum Optimum liegt:

Niedriger Leistungsfaktor \Rightarrow hoher Blindstromanteil \Rightarrow oberhalb Optimum
 Hoher Leistungsfaktor \Rightarrow niedriger Blindstromanteil \Rightarrow unterhalb Optimum

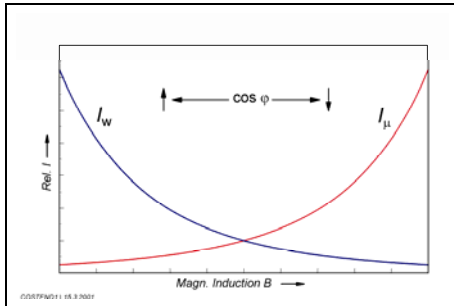


Bild 5.7
 Leistungsfaktor als Maßstab für die optimale Flussdichte

Beim Vergleich mit Abschnitt 5.6 lassen sich folgende Zusammenhänge ableiten :

- Bei Motoren mit einem Leistungsfaktor $> 0,85$ liegt die Bemessungsspannung unterhalb des Optimums
- Bei Motoren mit einem Leistungsfaktor von $0,7 \dots 0,85$ liegt die Bemessungsspannung nahe beim Optimum
- Bei Motoren mit einem Leistungsfaktor $< 0,7$ liegt die Bemessungsspannung oberhalb des Optimums.

5.8 Empfehlung zum Weiterbetrieb an 400 V

Die nachfolgenden Empfehlungen gelten für

- Drehstrom-Asynchronmotoren mit Wicklung für 380 V, 50 Hz
- übliche Auslegung, z. B. Katalog-Typen

ohne Explosionsschutz

- Betriebsart S1 nahe oder bei Bemessungsleistung.

Sie sind unter Berücksichtigung des jeweiligen Einzelfalls in eigener Verantwortung anzuwenden.

Bei kleinen Drehstrommotoren (unter etwa 1,1 kW und/oder mit einem Leistungsfaktor < 0,7) kann die Stromaufnahme je nach Auslegung teilweise schon bei geringer Belastung über den Bemessungsstrom ansteigen. Ein Motorschutzschalter kann auslösen und Gefahr melden – wenn er nicht vorsorglich höher eingestellt wurde, damit der Betrieb weiterlaufen kann. Bei dieser Motorengruppe wird sich i. A. eine höhere Wicklungstemperatur einstellen, die je nach den thermischen Reserven zu einer Verminderung der Lebensdauer führen kann.

Es wird empfohlen, kleine Drehstrommotoren und die zugehörigen Motorschutzschalter zu überprüfen und – falls erforderlich – vorsorglich auf die neue Bemessungsspannung 400 V umwickeln zu lassen.

Für jeden Motor – auch für die mittleren und großen Leistungen – empfiehlt sich eine Umstellung auf 400 V, falls eine Neuwicklung aus anderen Gründen erforderlich wird.

Sind allerdings **explosionsgeschützte Motoren** betroffen, so ist die Anpassung an die neue Spannung keine Ermessensfrage: Diese Motoren müssen unabhängig von Größe und Auslastung unter Einschaltung einer "**befähigten Person**" des Herstellers an die neue Netzspannung angepasst werden.

Ob dazu eine Umwicklung erforderlich ist, muss von Fall zu Fall entschieden werden (s. auch Publikation EP 306).

5.9 Bezeichnung der Netzart

Ein Netz mit 400 V (Drehstrom) zwischen den Außenleitern und 230 V (Einphasenstrom) zwischen Außenleiter und Neutralleiter wird nach DIN 40004 bezeichnet

mit 3/PEN ~ 400 V oder 3/PEN AC 400 V.

Weitere eindeutige Angaben sind:

Drehstrom 400 V oder 3 x 400 V oder 3 x 400 V / 1 x 230 V oder 400 V 3 ~ / 230 V 1N ~.

Die gleichzeitig verfügbare Einphasenspannung 230 V ist für die Auslegung eines Drehstrommotors ohne jede Bedeutung.

Es ist nicht nur unnötig, sondern auch irreführend, wenn dieses Netz mit 230/400 V oder 400/230 V bezeichnet wird.

Weitere Beispiele für die Bezeichnung von Netzarten nach DIN 40004 (1983):

II ELEKTRISCHE KENNGRÖSSEN VON KÄFIGLÄUFERMOTOREN

Ungekürzte Schreibweise	Gekürzte Schreibweise mit grafischem Symbol	Gekürzte Schreibweise mit Kurzbezeichnung
Gleichspannung 220 V	220 V	DC 220 V
Wechselspannung 230 V	~ 230 V	AC 230 V
Gleich- oder Wechselspannung	250 V	UC 250 V
Einstellbare Gleichspannung 0 bis 440 V	= 0 ... 440 V	DC 0 ... 440 V
Einphasen-Zweileitersystem mit 2 Außenleitern 220 V	2 ~ 220 V	2 AC 220 V
Einphasen-Dreileitersystem mit 1 Außenleiter, 1 Neutraleiter und 1 Schutzleiter 230 V	1/N/PE ~ 230 V	1/N/PE AC 230 V
Einphasen-Dreileitersystem mit 2 Außenleitern und 1 Neutraleiter 220 V, 50 Hz	2/N ~ 50 Hz 220 V	2/N AC 50 Hz 220 V
Drehstrom-Dreileitersystem 245 kV	3 ~ 245 kV	3 AC 245 kV
Drehstrom -Vierleitersystem mit kombiniertem Schutz- und Neutraleiter 380 V	3/PEN ~ 380 V	3/PEN AC 380 V
Drehstrom-Fünfleitersystem mit getrenntem Neutral- und Schutzleiter 400 V	3/N/PE ~ 400 V	3/N/PE AC 400 V
Anmerkung: Schrägstriche zwischen den Leiterangaben können weggelassen werden		

5.10 Motoren für zwei Netzspannungen

5.10.1 Netz 220 V nicht mehr gebräuchlich

In den alten Bundesländern Deutschlands sind alle Netze mit einer Außenleiterspannung von 3 x 380 V bzw. 3 x 400 V ausgeführt.

Nach Auskunft der VDEW haben zurzeit in den neuen Bundesländern noch etwa 5 % der öffentlichen Netze eine Spannung von 3 x 220 V.

Nur für die wenigen Motoren, die zunächst an 3 x 220 V und nach einer Netzumstellung an 3 x 380 V angeschlossen werden sollen, ist daher eine spannungsumschaltbare Ausführung vorzusehen.

Ähnliches gilt für ortsveränderliche Antriebe (z. B. Baumaschinen), die wahlweise an beiden Netzen arbeiten sollen.

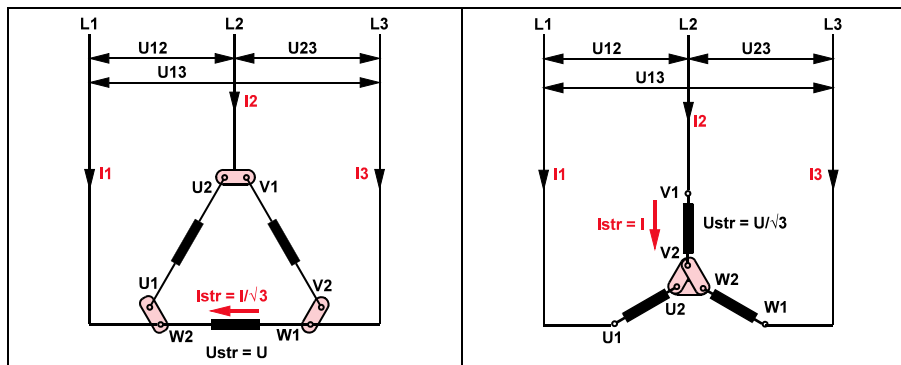
5.10.2 Bezeichnung 660 V mit doppelter Bedeutung

Die Forderung nach einer spannungsumschaltbaren Ausführung zwingt den Motorhersteller zu einer ganz eindeutigen Zuordnung von Spannung und Klemmschaltung und schließt dadurch eventuell andere Schaltarten (z. B. Stern-Dreieck-Anlauf oder Polumschaltung) aus.

Vor allem bei kleinen Motoren ist für den Anschluss an 660 (690) V teilweise eine Vergrößerung des Klemmenbrettes und damit des Klemmenkastens erforderlich. Drehstrommotoren sollten daher nur dann spannungsumschaltbar für zwei Netzspannungen (z. B. 220/380 V) bestellt werden, wenn tatsächlich ein Anschluss an wahlweise 220 oder 380 V infrage kommen kann. Sofern das Netz eindeutig festliegt (z. B. 380 V), sollte nur eine Spannung in der Bestellung genannt werden.

5.10.3 Spannungsumschaltung Δ/Y im Verhältnis $1:\sqrt{3}$

Die Anpassung von Drehstrommotoren an zwei verschiedene Drehstromnetze, deren Spannungen zwischen den Hauptleitern im Verhältnis $1:\sqrt{3} = 1 : 1,73$ stehen (z. B. 3 x 220 und 3 x 380 V), erfolgt durch eine einfache Klemmen-Umschaltung auf Dreieck bzw. auf Stern.



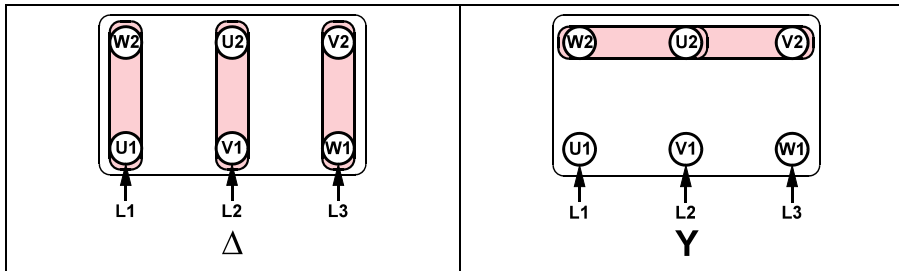


Bild 5.10.3 Klemmenschalung eines Drehstrommotors für 2 Netzspannungen im Verhältnis 1:√3 (Δ/Y-Schalung)

Durch die oben gezeigte Umschaltung am Klemmenbrett (Δ/Y-Schalung) wird erreicht, dass sich trotz der geänderten Netzspannung für die Wicklungsstränge die gleiche spezifische Beanspruchung ergibt. Die Leistungscharakteristik und die Wicklungserwärmung sind völlig unverändert.

Dreieckschalung:

Spannung zwischen den Außenleitern $U = U_{12} = U_{23} = U_{31} = U_{\Delta}$ (z. B. 220 V)

Spannung an einem Wicklungsstrang $U_{str} = U_u = U_v = U_w = U_{\Delta}$ (z. B. 220 V)

Strom im Außenleiter $I = I_1 = I_2 = I_3 = I_{\Delta}$ (z. B. 17 A)

Strom im Wicklungsstrang $I_{str} = I_u = I_v = I_w = \frac{I_{\Delta}}{\sqrt{3}}$ (z. B. 10 A)

Leistungsabgabe $P_{mec} = 3 \cdot U_{str} \cdot I_{str} \cdot \cos \varphi \cdot \eta$
 $= 3 \cdot U_{\Delta} \cdot \frac{I_{\Delta}}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta$
 $= U_{\Delta} \cdot I_{\Delta} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot \eta$

Sternschaltung:

Spannung zwischen den Außenleitern $U = U_{12} = U_{23} = U_{31} = U_Y$ (z. B. 380 V)

Spannung an einem Wicklungsstrang $U_{str} = U_u = U_v = U_w = \frac{U_Y}{\sqrt{3}}$ (z. B. 220 V)

Strom im Außenleiter $I = I_1 = I_2 = I_3 = I_Y$ (z. B. 10 A)

Strom im Wicklungsstrang $I_{str} = I_1 = I_2 = I_3 = I_Y$ (z. B. 10 A)

Leistungsabgabe $P_{mec} = 3 \cdot U_{str} \cdot I_{str} \cdot \cos \varphi \cdot \eta$
 $= 3 \cdot \frac{U_Y}{\sqrt{3}} \cdot I_Y \cdot \cos \varphi \cdot \eta$
 $= U_Y \cdot I_Y \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot \eta$

Relativer Strom im Hauptleiter $\frac{I_Y}{I_\Delta} = \frac{U_\Delta}{U_Y}$

5.10.4 Spannungsumschaltung $\Delta\Delta/\Delta$ im Verhältnis 1: 2

Vor allem in den USA gibt es Drehstromnetze von 3 x 220 V und 3 x 440 V, die seit einiger Zeit auf 230 bzw. 460 V umgestellt wurden. Die Drehstrommotoren sind für diese beiden Bemessungsspannungen durch eine Sonderschaltung (Parallel- und Serienschaltung) mit 9poligem Klemmbrett auszuführen (s. Abschnitt 18).

6 Bemessungsleistung

Bei den meisten elektrischen Antrieben setzt sich die erforderliche Gesamtleistung nach erfolgtem Hochlauf aus folgenden zwei Hauptanteilen zusammen (**Bild 6.2**). Die dynamisch erforderlichen Drehmomente (z. B. für Anlauf oder Beschleunigung) sind getrennt zu berücksichtigen.

6.1 Hubleistung

$$P_H = \frac{m \cdot g \cdot v_{\text{vert}}}{\eta \cdot 1000}$$

6.2 Reibungsleistung

$$P_R = \frac{F_R \cdot v}{1000}$$

$$F_{R1} = \mu \cdot m \cdot g$$

$$F_R = F_{R1} + F_{R2} + F_{R3}$$

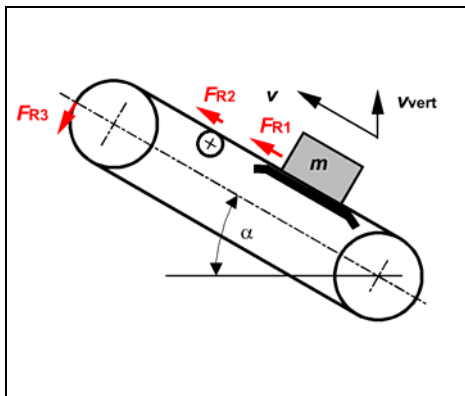


Bild 6.2

Schema zur Ermittlung der Leistung eines elektrischen Antriebs

P - Leistung in kW

F_R - Reibwiderstand in N

m - Masse (Gewicht) in kg

g - Fallbeschleunigung (9,81 m/s²)

v - Geschwindigkeit in m/s

η - Wirkungsgrad der äußeren

Übertragung als Dezimalbruch

μ - Reibungszahl

Index H: Hub

Index R: Reibung

Index vert: in senkrechter Richtung

Bei geringer Schalthäufigkeit und normaler Hochlaufzeit kann die Beschleunigungsleistung bei der Bestimmung der Bemessungsleistung eines Antriebs unberücksichtigt bleiben, da fast alle Elektromotoren im Hochlauf etwa das 2fache Bemessungsmoment entwickeln und somit in der Anlaufperiode kurzzeitig über die Bemessungsleistung (= Beharrungsleistung) hinaus mit dem Beschleunigungsmoment überlastet werden können. In der Regel erhält man:

6.3 Gesamtleistung des Antriebs

$$P = P_H + P_R$$

6.4 Bestimmung der Bemessungsleistung

Wenn irgend möglich, wird man sich bei der Festlegung einer Bemessungsleistung nicht nur auf die Rechnung stützen, sondern vergleichbare ausgeführte Anlagen berücksichtigen oder an fertigen Anlagen Messungen durchführen.

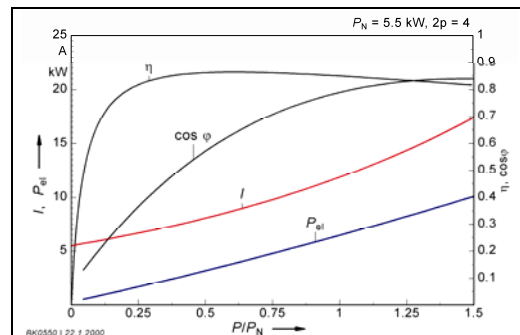
Ist der tatsächliche Leistungsbedarf wesentlich kleiner als die Bemessungsleistung des Motors, so führt das zur Verfügung stehende, überschüssige Beschleunigungsmoment zu einem sehr raschen und möglicherweise stoßartigen Anlauf. Im Betrieb arbeitet der schlecht ausgenutzte Motor mit geringerem Leistungsfaktor und Wirkungsgrad (**Bilder 6.4.1** und **6.4.2**). Ist hingegen der Leistungsbedarf größer als die Bemessungsleistung des Motors, so ergibt sich mit dem zu kleinen restlichen Beschleunigungsmoment ein schleppender oder sogar ganz verhinderter Hochlauf. Im Betrieb wird die Wicklung zu stark erwärmt und kann durchbrennen, sofern nicht ein Motorschutzschalter vorgesehen wurde (s. 39). Bei einem Drehstrom-Asynchronmotor findet man mit Hilfe einfacher elektrischer Messungen die tatsächliche Leistungsabgabe:

$$P_{\text{mec}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{1000}$$

- P_{mec} - mechanische Leistungsabgabe in kW
- U - Netzspannung, gemessen zwischen zwei Außenleitern in V
- I - Stromaufnahme in einem Außenleiter unter Last in A
- $\cos \varphi$ - Leistungsfaktor je nach Motorgröße und Belastungsgrad gemäß Angabe des Motorherstellers, Richtwerte nach **Bild 6.4.2**
- η - Wirkungsgrad je nach Motorgröße und Belastungsgrad gemäß Angabe des Motorherstellers, Richtwerte nach **Bild 6.4.3**.

Für Serienmotoren liegt beim Hersteller aus der Typprüfung eine **Belastungskennlinie** nach Bild 6.4.1 vor, die unter Beachtung von Abschnitt 38 eine einfache und sichere Leistungsbestimmung ermöglicht.

Bild 6.4.1
Belastungskennlinie eines
Drehstrommotors aus der
Typprüfung des Herstellers



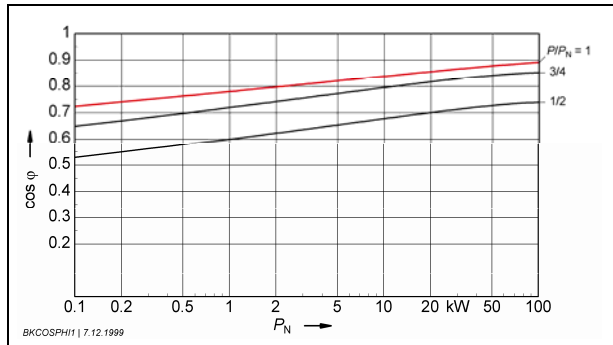


Bild 6.4.2
Richtwerte für den Leistungsfaktor bei listenmäßigen 4poligen Getriebemotoren verschiedener Bemessungsleistungen P_N

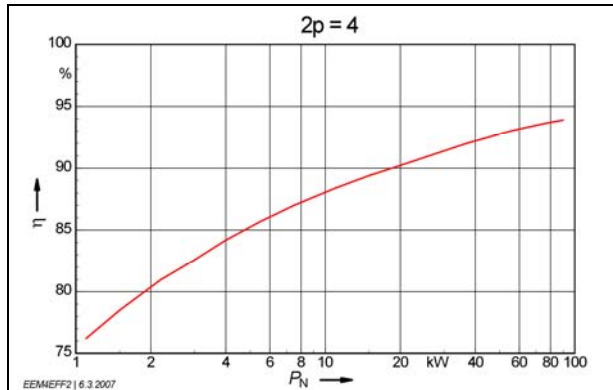


Bild 6.4.3
Mindest-Wirkungsgrad η von 4poligen Motoren der Klasse EFF2

Zur Berücksichtigung »öldichter« Motoren und 2-stufiger Stirnradgetriebe sind etwa 4 ... 5 %-Punkte abzuziehen

Ist der Leistungsbedarf vorwiegend durch Reibung oder Hub bestimmt, so führt eine Drehmomentmessung mit der Federwaage zum Ziel. Bei der Messung ist auf möglichst gleichförmige Bewegung zu achten, damit keine Beschleunigungsanteile mitgemessen werden.

Bei Messungen an Elektromotoren ist zu berücksichtigen, dass kurzzeitige Drehmomentspitzen aus der kinetischen Energie des Motorläufers gedeckt werden können und sich daher nicht in einer entsprechenden elektrischen Leistungsaufnahme bemerkbar machen. Die elektrischen Messwerte (Strom- und Leistungsaufnahme) sind daher zwar stets ein Maß für die thermische Belastung des Motors, jedoch nicht immer für die mechanische Belastung des Untersetzungsgetriebes.

7 Bemessungsstrom

Häufig werden schon im Projektstadium (z. B. für die Bemessung der Leitungsquerschnitte) Richtwerte für die Ströme von Drehstrommotoren benötigt. Für Normalauslegung sind die Bemessungsströme in den entsprechenden Katalogen zu finden.

Als grobe Richtwerte können für eintourige Drehstrommotoren und für Motoren mit zwei Drehzahlen 1 : 2 in Dahlanderschaltung die Werte nach **Bild 7.1**, bei Polumschaltung mit getrennten Wicklungen die Werte nach **Bild 7.2** verwendet werden.

Für die Auswahl und Einstellung von Motorschutzschaltern sind diese Richtwerte nicht geeignet.

Bild 7.1
Richtwerte für den Bemessungsstrom I_N von Drehstrommotoren mit einer Drehzahl oder mit zwei Drehzahlen im Verhältnis 1 : 2 (Dahlanderschaltung) bei 400 V

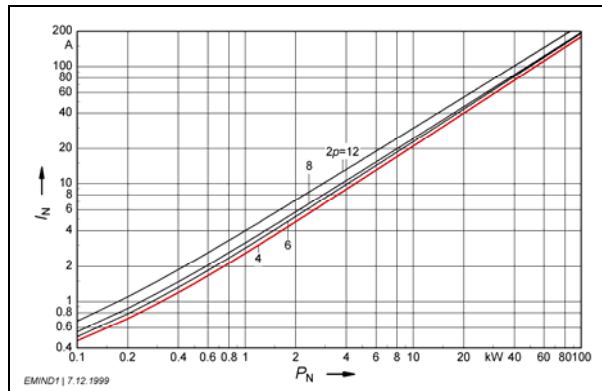
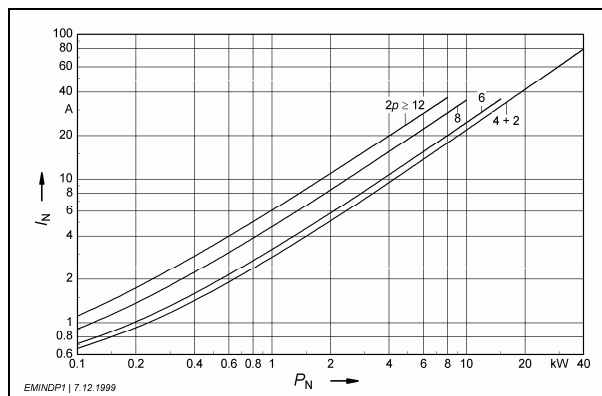


Bild 7.2
Richtwerte für den Bemessungsstrom I_N von polumschaltbaren Drehstrommotoren mit getrennten Wicklungen bei 400 V



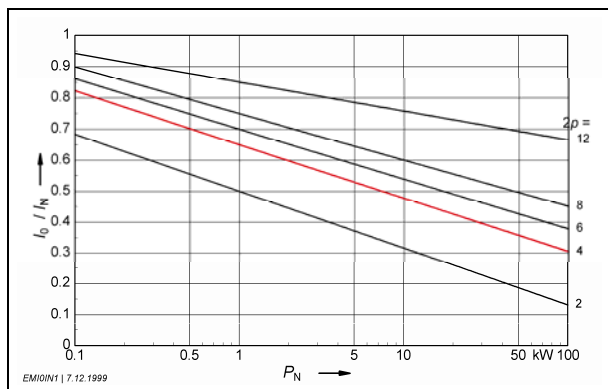


Bild 7.3
Richtwerte für den
relativen
Leerlaufstrom I_0 / I_N
von Drehstrommotoren
mit einer Drehzahl

8 Bemessungsdrehzahl

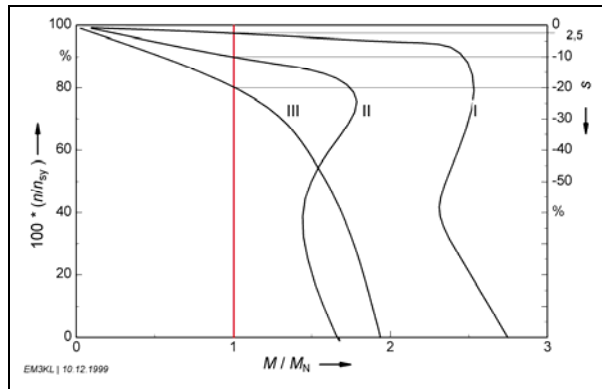
8.1 Asynchronmotoren mit Käfigläufer

Ausgehend von der Leerlaufdrehzahl n_0 , die praktisch der synchronen Motordrehzahl n_{sy} nach Abschnitt 1.1 entspricht, fällt die tatsächliche Drehzahl n eines Asynchronmotors mit zunehmender Belastung. Als **Schlupf** in % wird definiert

$$s = \frac{n_{sy} - n}{n_{sy}} \cdot 100$$

Drehstrom-Asynchronmotoren üblicher Auslegung haben unter Belastung mit Bemessungsdrehmoment M_N einen Bemessungsschlupf s_N , der bei kleinen Motoren (etwa 0,11 kW) etwa um 12 % und bei großen Motoren (etwa 75 kW) um 2 % liegt. Ihre Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik mit dem so genannten **Nebenschlussverhalten** ist in **Bild 8.1** gezeigt.

Bild 8.1
 M/n – Charakteristik:
 Schlupf s und Drehzahl n
 in Abhängigkeit vom
 relativen Drehmoment
 M/M_N für
 I Käfigläufermotor
 Bemessungsleistung
 75 kW
 II Käfigläufermotor
 Bemessungsleistung
 0,37 kW
 III Schlupfläufermotor
 der Typenreihe DL



Neben der durch Bauart, Auslegung und Bemessungsleistung bedingten Größe der Bemessungsdrehzahl bei den verschiedenen Typen ist für die Abweichung innerhalb gleicher Bemessungsdaten nach EN 60034-1/IEC 60034-1 eine Toleranz von $\pm 20\%$ auf den Bemessungsschlupf zulässig.

Für einen praktischen Fall mit angenommener Getriebeuntersetzung $i = 30$ ergeben sich damit folgende rechnerischen Drehzahlen in r/min:

	Läuferwelle	Arbeitswelle
Synchrondrehzahl (etwa gleich Leerlaufdrehzahl)	1500	50
Bemessungsdrehzahl	1330	44,33
Schlupfdrehzahl	170	5,67
Toleranz der Schlupf-Drehzahl	± 34	$\pm 1,13$
Max. zulässige Bemessungsdrehzahl	1364	45,46
Min. zulässige Bemessungsdrehzahl	1296	43,20

Die Arbeitswelle kann also zwischen Leerlauf und Bemessungslast im Rahmen der üblichen Toleranz Drehzahlen zwischen 43,2 und 50 r/min haben.
Zwei Antriebe aus gleicher Serie dürften bei genau gleicher Belastung – die in der Praxis kaum anzutreffen ist – Drehzahlen von 43,2 bzw. 45,5 r/min aufweisen, wenn die zulässige Toleranz voll ausgeschöpft würde.
Obwohl die Norm-Toleranz i. A. nicht voll in Anspruch genommen wird, zeigt das Beispiel, dass bei hohen Anforderungen an Konstanz und Gleichlauf der Drehzahl schon im Projektstadium die Beratung des Herstellers einzuholen ist.

8.2 Bemessungsschlupf

Richtwerte für den Schlupf bei Bemessungsleistung 4poliger Käfigläufermotoren in üblicher Auslegung ergeben sich aus **Bild 8.2**.

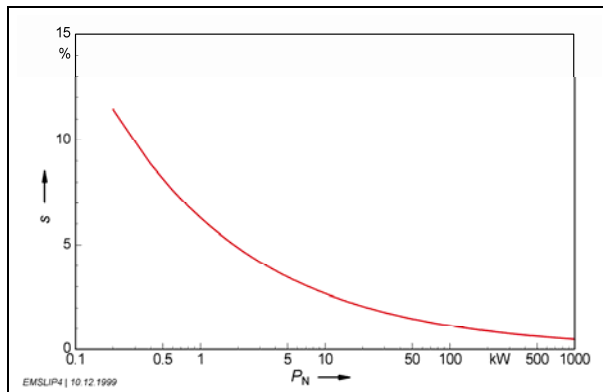


Bild 8.2
Richtwerte für den
Bemessungsschlupf
4poliger
Käfigläufermotoren

(ohne Gitternetz, um
keine "Genauigkeit"
vorzutäuschen)

8.3 Asynchronmotoren mit Schlupfläufer

Für Sonderfälle wird ein besonders »weiches« Drehzahlverhalten, also ein großer Schlupf, gewünscht. Als Typenreihe DL.. haben sich solche Antriebe seit vielen Jahren vor allem als Kran- und Katzfahrantriebe bewährt. Ihre Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik ist als Kurve III in Bild 8.1 zum Vergleich aufgenommen. Für Frequenzsteuerung (Umrichterbetrieb) sind solche Motoren nicht geeignet (s. auch Abschnitt 46).

9 Wirkungsgrad

9.1 Europäische Klasseneinteilung der Wirkungsgrade




Nach einer freiwilligen Vereinbarung zwischen der Generaldirektion DG XVII der Europäischen Kommission und **CEMEP** (Europäisches Komitee der Hersteller elektrischer Maschinen und Leistungselektronik) wurden die Wirkungsgrade von 4- und 2poligen Normmotoren im Leistungsbereich 1,1 ... 90 kW klassifiziert und in Katalogen sowie auf den Leistungsschildern mit einem eigens entwickelten Logo angegeben. Die Vereinbarung betrifft derzeit Drehstrom-Käfigläufermotoren mit folgenden Eigenschaften:

Leistungsbereich 1,1 ... 90 kW
 Schutzart IP54 oder IP55
 Polzahlen 2 oder 4
 Betriebsart S1
 Bemessungswerte 400 V / 50 Hz.

Als Beispiele für **nicht betroffene Ausführungsarten** nennt die Vereinbarung u. a.:

- Motoren für besondere Umgebungsbedingungen
- Motoren für verstellbare Drehzahl, mit oder ohne Frequenzumrichter
- Motoren mit angebauter Bremse
- unbelüftete Motoren (IC410)
- Motoren mit besonderer Kühlart (z.B. IC416, 417, 418 oder mit Wärmetauscher)
- Getriebemotoren in integraler Bauweise**
- Stator - Rotor - Komponenten
- explosionsgeschützte Motoren
- Gekapselte Motoren.

Für den Wirkungsgrad werden drei Klassen gebildet, die in der Dokumentation und auf dem Leistungsschild anzugeben sind. Im **Bild 9.1** sind die Klassen für 4polige Asynchronmotoren in Form eines Diagramms dargestellt; im Einzelfall gelten die Tabellen im Anhang 1 der Vereinbarung.

Klasse	Beschreibung des Niveaus	Kurzzeichen	Geschütztes Logo	Beispiel bei 11 kW 4polig
1	hoch	EFF1		$\eta \geq 91 \%$
2	verbessert	EFF2		$\eta \geq 88,4 \%$
3	normal (durchschnittlich)	EFF3		$\eta < 88,4 \%$

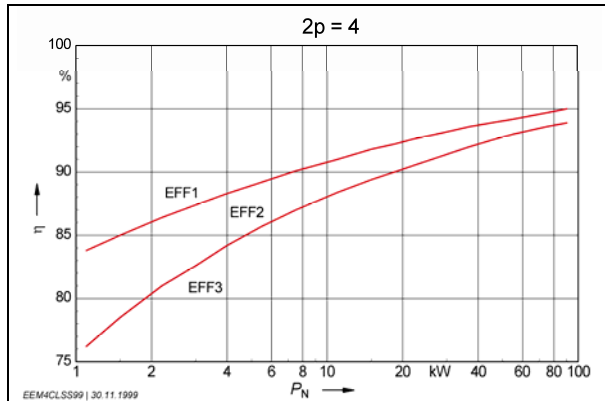


Bild 9.1
Wirkungsgradklassen
4poliger
Drehstrommotoren
EFF1 – hoch
EFF2 – verbessert
EFF3 – normal

9.2 Abhängigkeit von Motorgröße und Auslastung

In **Bild 9.2** sind in Abhängigkeit von der relativen Belastung P/P_N die Wirkungsgrade von 4poligen Drehstrommotoren mit den Bemessungsleistungen 1,5 kW, 15 kW und 132 kW gezeigt. Dieser Vergleich signalisiert zwei wichtige Einflüsse:

- Der Wirkungsgrad im Bemessungspunkt steigt mit der Bemessungsleistung**
- Der Wirkungsgrad ist bei Teil- und Überlast nahezu gleichbleibend.**

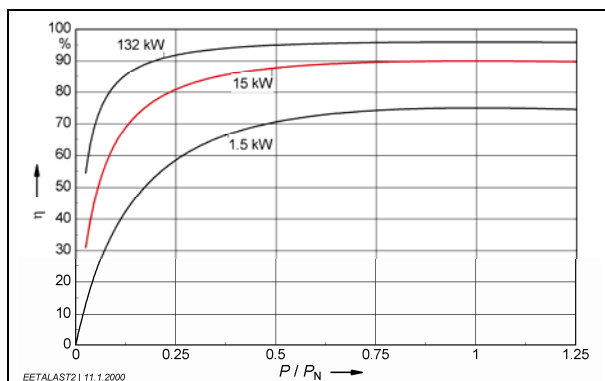


Bild 9.2
Typischer Verlauf des
Wirkungsgrades von
4poligen Käfigläufer-
Asynchronmotoren in
Abhängigkeit von der
relativen Belastung P/P_N

9.3 Akzeptanz der EFF1-Motoren in Europa

Die CEMEP-Statistik für 2005 bestätigt die bis dahin unbefriedigende Akzeptanz der EFF1-Motoren (Bild 9.3).

Es zeigt sich, dass die Entwicklung von Energiesparmotoren und deren weltweite Klassifizierung vorerst überwiegend vom außereuropäischen Ausland forciert wird. Zur energiepolitisch gewünschten Verbesserung der Situation sind derzeit gesetzliche Lenkungsmaßnahmen in der Diskussion, die zu beachten sind.

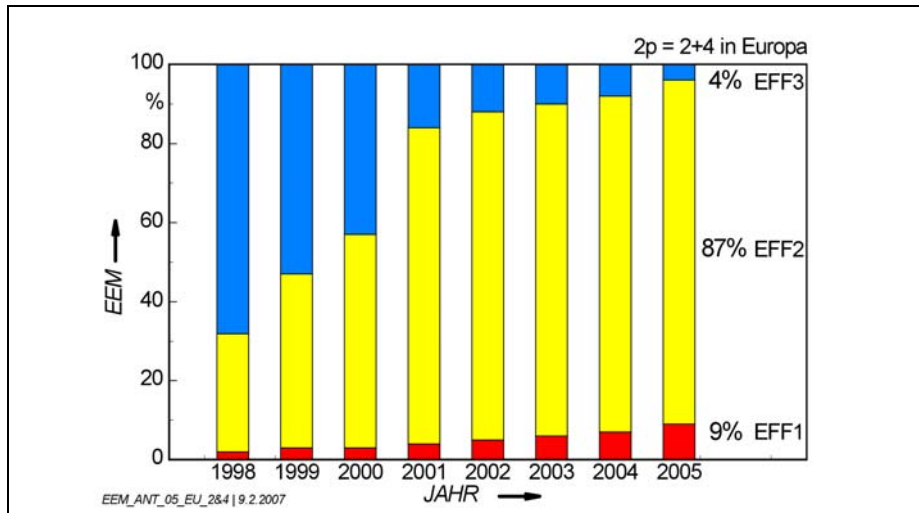


Bild 9.3

Akzeptanz von energieeffizienten Motoren (EEM) der Klassen EFF1, EFF2 und EFF3 mit den Polzahlen 2 und 4 in den Jahren 1998 ... 2005

nach einer Statistik der CEMEP

(European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics = Europäisches Komitee der Hersteller elektrischer Maschinen und Leistungselektronik)

9.4 Weltweite Klassifizierung der Wirkungsgrade

Eine neue Norm wurde mit der Absicht geschaffen, für Motoren im Normbereich 0,75 ... 370 kW Wirkungsgradklassen weltweit zu harmonisieren.

Im Entwurf zu IEC 60034-30 heißt es u.A.:

"Derzeit sind viele verschiedene Energiespar-Standards für Käfigläufermotoren in Gebrauch (NEMA, EPACT, CSA, CEMEP, COPANT, ASINZS, JIS, GB, ...), und neue Klassifizierungen werden derzeit entwickelt. Für Hersteller wird es zunehmend schwieriger, Motoren für einen weltweiten Markt zu entwickeln, und für Anwender wird es schwieriger, Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Standards der verschiedenen Länder zu verstehen.

Die 50 Hz Grenzwerte von Standard- (IE1) und Hoher-Wirkungsgrad (IE2) sind ähnlich den allgemein bekannten CEMEP-EU Grenzwerten für EFF2 und EFF1. Allerdings wurden die Werte angepasst, um die unterschiedlichen Messverfahren zu berücksichtigen:

Bei CEMEP sind die Zusatzverluste pauschal mit 0,5 % der Eingangsleistung bewertet; in der IEC- Norm werden die Zusatzverluste durch Prüfungen ermittelt.

Die 50 Hz Nominalwerte für den Premium-Wirkungsgrad (IE3) wurden mit um rund 15 % reduzierten Verlusten über den Werten für den hohen Wirkungsgrad (IE2) festgelegt.

Die 60 Hz-Nominalwerte für den Standard-Wirkungsgrad (IE1) stimmen mit den brasilianischen Festlegungen überein. Die 60 Hz-Nominalwerte für den hohen Wirkungsgrad (IE2) entsprechen den US-Bestimmungen EPACT.

Die 60 Hz-Nominalwerte für den Premium- Wirkungsgrad (IE3) entsprechen den US-amerikanischen Normen NEMA Premium.




Eine neue Klasse "Super-Premium" wurde in dieser Norm eingeführt. Sie ist derzeit als IE4 im informativen Anhang A festgelegt, da für solche Produkte weitere Erfahrungen notwendig sind, bevor sie genormt werden können.

Es wird nicht davon ausgegangen, dass alle Hersteller Motoren für alle Wirkungsgradklassen fertigen werden.

Die Anwender sollten die Wirkungsgradklasse in abhängig von der Anwendung und der tatsächlichen Betriebszeit wählen. Es macht keinen Sinn, Motoren der Wirkungsgradklassen "hoch" oder "premium" bei Aussetzbetrieb oder Kurzzeitbetrieb zu wählen."

9.4.1 Kennzeichnung der Klasse

Die in den ersten Entwürfen vorgeschlagenen Bezeichnungen wurden verworfen, weil sie (wie übrigens auch die CEMEP-Logos EFF1, EFF2 und EFF3) keine Erweiterungsmöglichkeit für eventuelle künftige Entwicklungen zulassen.

Klassifizierung nach IEC		Klassifizierung nach CEMEP	
Wirkungsgrad	International Efficiency	Wirkungsgrad	Logo
super-premium	IE4	–	–
premium	IE3	–	–
hoch	IE2	hoch	
standard	IE1	verbessert	
unter standard	–	normal	

9.4.2 Vergleichsdiagramme

Das nachfolgende Diagramm soll einen visuellen Vergleich erlauben. Es ist daher ohne Gitternetz erstellt. Die genauen Grenzwerte für die Klassifizierung der Wirkungsgrade sind den ausführlichen Tabellen der Norm zu entnehmen.

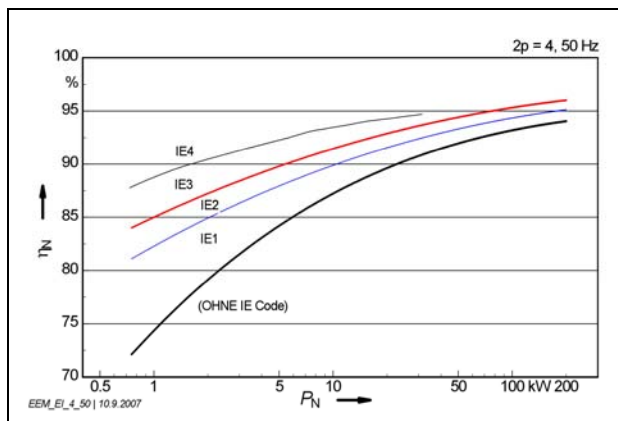


Bild 9.4.2
Vergleich der vier Wirkungsgradklassen am Beispiel 4poliger Motoren für 50 Hz Bemessungsleistungen $P_N = 0,75 \dots 200 \text{ kW}$

(ohne IE-Code)
Unter Standard
(IE1) Standard
(IE2) Hoch
(IE3) Premium
(IE4) Super-Premium

Die "Super-Premium-Wirkungsgrade IE4" sind auf Bemessungsleistungen nach Anhang A der Norm umgerechnet, um einen Vergleich zu erleichtern. Sie sind mit technisch aufwändigen permanent erregten Synchronmaschinen zu erreichen,

9.4.3 Anwendungsbereich der weltweiten Klassifizierung

Im Gegensatz zu der EU-CEMEP-Vereinbarung mit den Klassen EFF1, EFF2 und EFF3 ist bei der globale gültigen IEC-Klassifizierung ein wesentlich breiterer Anwendungsbereich vorgesehen:

Die internationale Norm spezifiziert Wirkungsgradklassen für eintourige, dreiphasige Asynchronmotoren mit Käfigläufer für 50 Hz und 60 Hz mit u. A. folgenden Eigenschaften:

- Bemessungsspannung U_N bis 1000 V;
- Bemessungsleistung P_N zwischen 0,75 kW und 370 kW;
- Polpaarzahl 2, 4 oder 6;
- Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) oder S3 (periodischer Aussetzbetrieb) mit einer Betriebszeit von 80 % oder mehr;
- Schutzart IP2X, IP4X, IP5X oder IP6X nach DIN EN 60034-5;
- Kühlverfahren IC0AX, IC1AX, IC2AX, IC3AX oder IC1AX nach DIN EN 60034-6;
- geeignet für direktes Einschalten am Netz;
- Betriebsbedingungen in Übereinstimmung mit DIN EN 60034-1, Abschnitt 6;
- Getriebemotoren und Bremsmotoren.

Weitere Ausführungsparameter (z. B. Explosionsschutz Ex d, Umrichterbetrieb, Schalthäufigkeit) siehe Norm.

Eine ausführliche Darstellung zum Thema Wirkungsgrad ist in der Danfoss-Bauer-Druckschrift SD 3407 "Energie sparen mit Getriebemotoren" zu finden.

III BAUARTEN UND KENNGRÖSSEN VON GETRIEBEN

10 Stirnradgetriebe mit zentralem Abtrieb

Die Väter des Ende der 20er-Jahre konzipierten ersten Bauer-Getriebemotors stellten sich einen langsam laufenden Elektromotor als Modell vor: Befestigung an den Motorfüßen und zentral abtreibende Arbeitswelle (**Bild 10.1**). Zwar werden heute die zwangsläufig hohen Reaktionskräfte direkt über das Getriebegehäuse zur Grundplatte geleitet – die Grundidee des zentralen Abtriebs wurde aber beibehalten (**Bild 10.2**). Neben vielen Weiterentwicklungen und Varianten dominiert diese »klassische« Bauweise, die dank großer Stückzahlen (**Bild 10.3**) auch besonders kostengünstig gefertigt werden kann (Bild 14.2).



Bild 10.1
BAUER-Getriebemotor
Baujahr 1938

Bild 10.2
Danfoss-Bauer-Stirnrad-
Getriebemotor der
Generation 2000

Bild 10.3
Wertmäßiger Anteil der
vier Getriebebauarten BG,
BF, BK und BS (1999)

Einige der Konstruktionselemente werden innerhalb des Baukastensystems auch bei den anderen Bauarten BF (Abschnitt 11), BK (Abschnitt 12) und BS (Abschnitt 13) benutzt und sollen deshalb nachstehend beschrieben werden.

10.1 Ritzelsitz an der Läuferwelle

In **Bild 10.1.1** ist die Problematik bei der konstruktiven Gestaltung und Anordnung des eintreibenden Ritzels beispielhaft gezeigt:

- AR 1 ist ein Aufsteck-Ritzel mit relativ kräftiger Nabe auf einem entsprechend schwachen Wellenzapfen.
- AR 2 zeigt einen relativ dicken Wellenzapfen. Der Restquerschnitt zwischen Nut und Zahnücke des Ritzels ist zwangsläufig geschwächt.
- AK zeigt eine Lösung, bei der die oben genannten Nachteile vermieden werden sollen. Bei ungünstiger Passung ist jedoch das Ritzel beim Aufpressen wegen der Sprengwirkung der konischen Welle gefährdet.
- ER zeigt ein Einsteck-Ritzel, bei dem alle oben genannten Schwachpunkte vermieden sind. Das ganze Ritzel (einschließlich Schaft) besteht aus hochfestem Einsatzstahl; es wird eingeschrumpft.

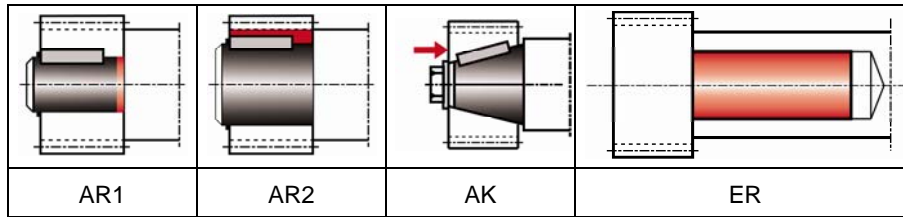


Bild 10.1.1

Beispiele für die konstruktive Gestaltung eines Eintriebs-Ritzels

AR 1 - Aufsteck-Ritzel mit kräftiger Nabe auf schwachem Wellenzapfen

AR 2 - Aufsteck-Ritzel mit schwacher Nabe auf kräftigem Wellenzapfen

AK - Konisches Aufsteck-Ritzel, bei fehlerhaftem Aufpressen gefährdet

ER - Einsteck-Ritzel, Schaft aus hochfestem Einsatzstahl in Bohrung der Antriebswelle eingeschrumpft

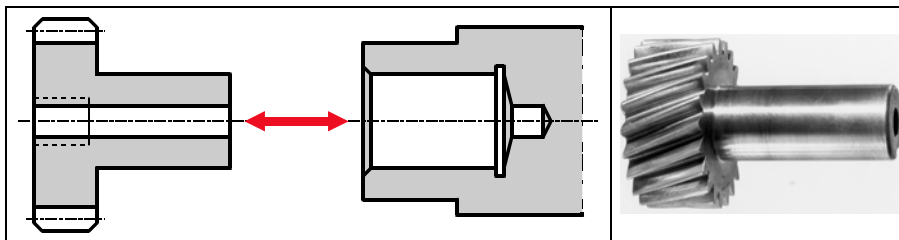


Bild 10.1.2

Einsteckritzel und Läuferwelle mit Bohrung

Bild 10.1.3

Einsteckritzel mit glattem Schaft für Schrumpfsitz

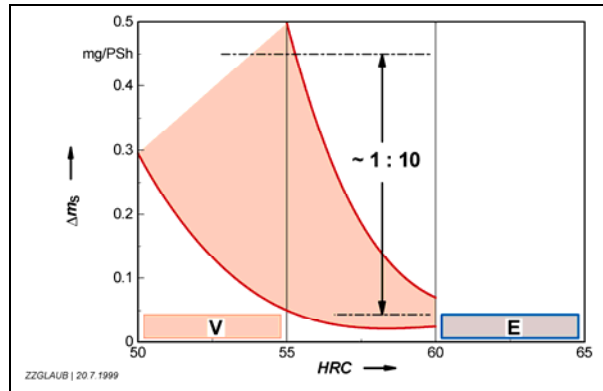
10.2 Zahnradwerkstoff und Härte

Nach Untersuchungen von *Glaubitz* in Anlehnung an die FZG-Verspannungsprüfung nach DIN 51354 zeigt **Bild 10.2**, wie stark der spezifische Verschleiß Δm_s von der Rockwell-Oberflächenhärte HRC der Zähne abhängt: Er liegt bei **Vergütung** (V) etwa 10mal höher als bei **Einsatzhärtung** (E).

Bei Danfoss-Bauer-Stirnradgetrieben sind alle Zahnräder aus hochwertigem Mangan-Chrom-Stahl gefertigt und im Einsatz auf 60 ... 62 HRC gehärtet. Im Vergleich zu durchgehärteten Rädern ergibt der relativ weiche und zähe Kern eine bessere Festigkeit gegen Stoßbeanspruchung und eine günstigere innere Dämpfung gegen Geräuschanregungen. Im Vergleich zu nur vergüteten oder ungehärteten Rädern sind Tragfähigkeit und Verschleißfestigkeit wesentlich besser.

Bild 10.2
Spezifischer Verschleiß
 Δm_s im FZG-Test nach
DIN 51354
bei verschiedenen
Rockwell-
Oberflächenhärten *HRC*
(nach *Glaubitz*)

V Bereich der vergüteten
Räder
E Bereich der
einsatzgehärteten Räder



10.3 Schrägungswinkel

Zahlreiche Erfahrungswerte und auch einige bekannte quantitative Untersuchungen bestätigen die positive Auswirkung der **Zahnschrägung** auf die Geräuschbildung. Im Gegensatz zum gerade verzahnten Stirnrad verläuft die Berührungslinie beim schräg verzahnten Rad nicht parallel zu einer Flankenlinie, sondern schräg über die Zahnflanke. Beim Beginn des Zahneingriffs entsteht daher kein impulsartiger Laststoß, sondern eine gleichmäßige und stetige Lastaufnahme. Zusammen mit der höheren Gesamtüberdeckung wird dadurch eine **geringere Geräuschanregung** erzielt. Durch die Schrägverzahnung entsteht allerdings auch eine unerwünschte Axialkomponente aus der Umfangskraft, die von den Wälzlagern aufgenommen werden muss. Vor allem in den nachgeschalteten Untersetzungsstufen mit relativ hohen Drehmomenten und Umfangskräften können diese Axialkräfte die Bemessung und Lebensdauer der Lager entscheidend bestimmen. Bei Danfoss-Bauer-Stirnradgetrieben werden daher nur die für das Gesamtgeräusch dominierenden ersten Stufen so stark geschrägt, wie es die Geräuschminderung erfordert und die Lagerlebensdauer zulässt. In den an der Geräuschbildung weniger beteiligten langsam laufenden Stufen wird gemäß **Bild 10.3.1** nur eine entsprechend geringe Schrägung vorgesehen, die den Axialschub aus der ersten Stufe weitgehend kompensiert und die Wälzlager entlastet. Diese Zahnschrägung von wenigen Grad hat also nur sekundär mit der Geräuschbekämpfung zu tun.

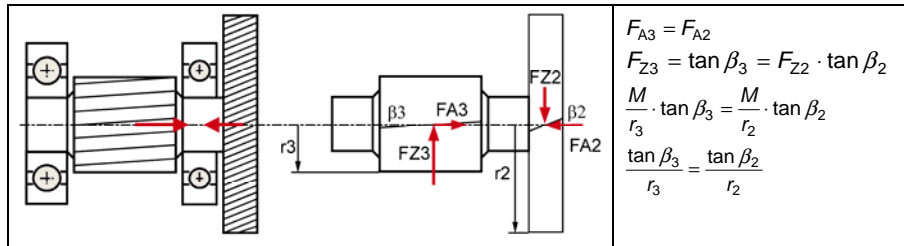


Bild 10.3.1
Grundsätzliche Anordnung der Zahnschrägung in den auf einer »Ritzelwelle« angeordneten Rädern R2 und R3 zur weitgehenden Kompensation der Axialkraft F_{A2} aus der schnell laufenden und geräuschkritisch entscheidenden ersten Stufe

Wird auf diese Entlastung der Wälzlager verzichtet, so führt die zur Geräuschminderung erwünschte Steigerung der Zahnschrägung β_0 in der ersten Stufe zwangsläufig zu einer starken Abnahme der relativen Lebensdauer L_β/L_0 der Wälzlager, wie **Bild 10.3.2** deutlich zeigt.

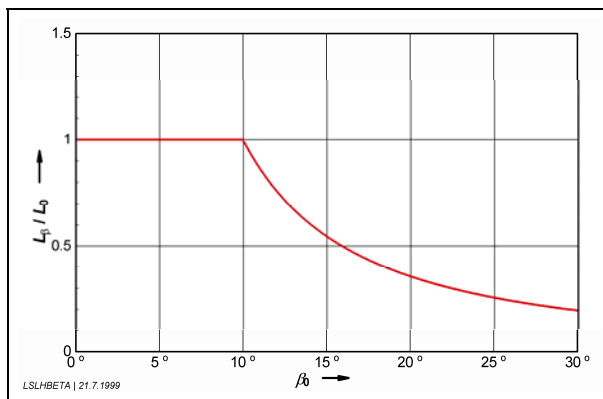


Bild 10.3.2
Relative rechnerische Lebensdauer L_β/L_0 eines Ringrillenslagers in Abhängigkeit vom Schrägungswinkel β_0 einer Stirradstufe

Der Einfluss des Schrägungswinkels auf die Geräuschbildung ist quantitativ nur mit einer großen Streubreite darstellbar. Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Versuchsreihe von Hösel (VDI-Tagung "Zahnräder und Zahnradgetriebe"), wonach durch Steigerung des Schrägungswinkels β_0 von 0° auf etwa 20° unter Beibehaltung der Bearbeitungsqualität eine Geräuschverminderung um bis zu 10 dB, bei Steigerung von 20° auf 30° jedoch nur um etwa 1 ... 2 dB erreicht wurde.

Bei einer optimalen Getriebeauslegung ist daher ein sinnvoller Kompromiss zwischen Geräuscharmheit und Lebensdauer anzustreben

11 Aufsteckgetriebe mit parallelem Abtrieb

Bauart und Vorteile des Aufsteckgetriebes wurden in Abschnitt 1.7 ausführlich dargestellt. Am Beispiel der Baureihe BF werden einige Einzelheiten des **Flachgetriebes** behandelt.

11.1 Ausführung der Hohlwelle

Das Abziehen des Aufsteckgetriebes nach längerer Betriebszeit kann wesentlich erleichtert werden, wenn schon im Projektstadium entsprechende Hilfsmittel an der anzutreibenden Welle eingeplant werden.

11.1.1 Hohlwelle mit Passfeder

Bei dieser Lösung wird ein großer Teil des Drehmoments durch die Reibung im Passsitz übertragen. Zum Auf- und Abziehen der Hohlwelle auf die angetriebene Welle sind daher entsprechende Vorkehrungen erforderlich.

Bild 11.1.1 zeigt die einfache Lösung einer Montagehilfe unter Verwendung der normalen Hohlwelle. Bei der Bemessung und Konstruktion der angetriebenen Zapfenwelle ist allerdings auf diese Zusatzteile Rücksicht zu nehmen.

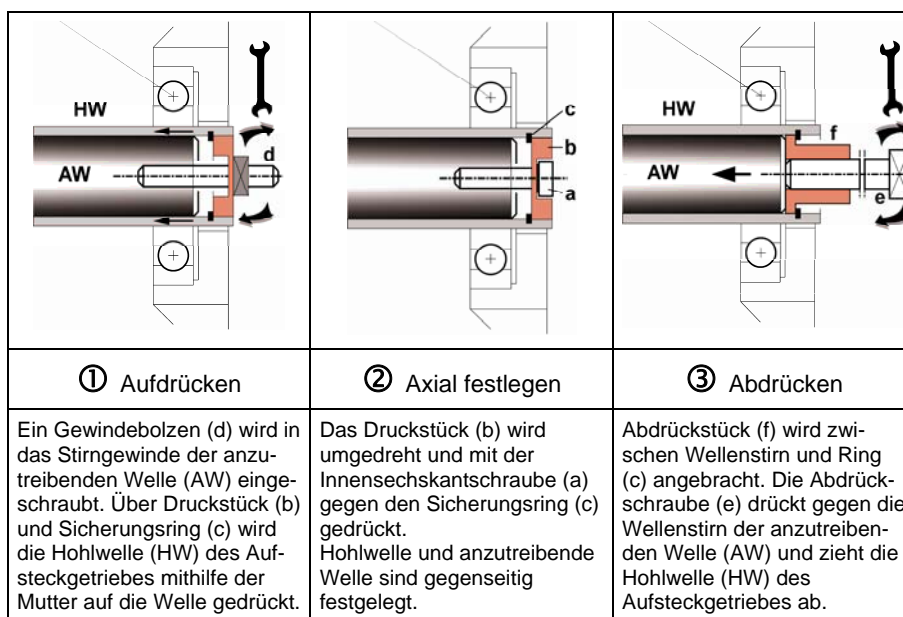


Bild 11.1.1 Montagehilfen für Aufsteckgetriebe

11.1.2 Hohlwelle mit Schrumpfscheibenverbindung (SSV)

Diese Lösung (Prinzip nach **Bild 11.1.2**) bietet folgende Vorteile:

- Schiebeseitige Hohlwelle / Zapfenwelle für Montage und Demontage
- Keine Schwächung der Welle durch Passfedernut
- Größerer Wellendurchmesser bei sonst gleichen Bauteilen – Passfedernut entfällt
- Bei extremen Drehmomentspitzen wirkt die kraftschlüssige Verbindung wie eine Rutschkupplung und vermeidet dadurch schwer wiegende Getriebebeschäden.

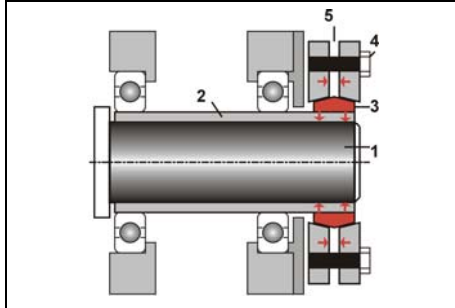


Bild 11.1.2
Prinzip einer Hohlwelle mit Schrumpfscheiben-Verbindung (SSV)
1 - angetriebene Welle
2 - Hohlwelle
3 - Innenring
4 - Spanschrauben
5 - Außenringe

11.2 Drehmomentstütze

Das **Reaktionsmoment** muss über eine geeignete Drehmoment-Abstützung aufgenommen werden. Dabei ist zu beachten, dass diese keine unzulässig hohen Zwangskräfte (z. B. bei unrundem Lauf der angetriebenen Welle) verursacht. Andererseits können durch zu großes Spiel beim Schalten oder Reversieren gefährlich hohe Stoßmomente erzeugt werden. Daher wird die Verwendung von vorgespannten, dämpfenden **Gummielementen** empfohlen.

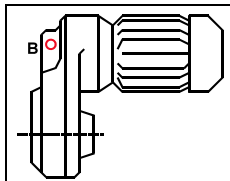


Bild 11.2.1
Konstruktiv vorgesehener Befestigungspunkt (B) für die Drehmomentstütze an einem Aufsteck-Flachgetriebemotor

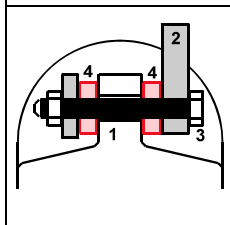
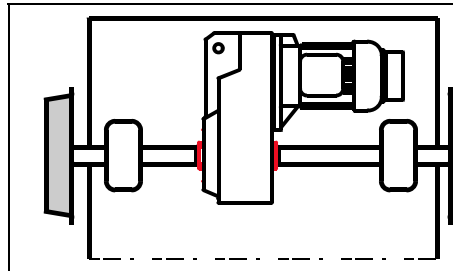


Bild 11.2.2
Vorgespannte Gummipuffer an der Drehmoment-Abstützung (B) zur Vermeidung von Zwangskräften wegen Fluchtungsfehlern und Stoßbelastung infolge Spiels
1 Abstützung (B) am Aufsteckgetriebe
2 Befestigungspunkt an der Arbeitsmaschine
3 Bolzen
4 vorgespannte Gummipuffer

11.3 Anwendungsbeispiel Fahrwagen

Als Beispiel für die platzsparende Anordnung eines Aufsteck-Flachgetriebemotors wird im **Bild 11.3** der Antrieb eines Fahrwagens gezeigt, bei dem der Antriebsmotor das »Fahrprofil« nicht beeinträchtigt.

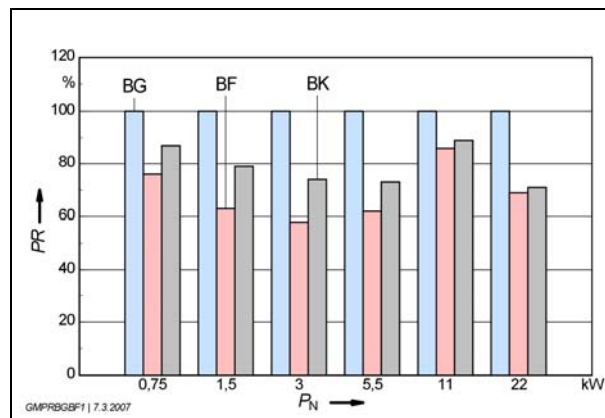
Bild 11.3
Aufsteck-Flachgetriebemotor in platzsparender Anordnung an einem Fahrwagen



11.4 Kostenvergleich

Der Kostenvergleich basiert zwar auf einigen Annahmen, zeigt aber trotzdem einen deutlichen Vorteil für die Aufsteckversion. Die Relation kann sich je nach Kupplungsart und Aufwand für die **Konsole** verschieben. Während die Kosten der Kupplung in einem gewissen Rahmen bleiben, kann der Aufwand für Fundament und Konsole von Fall zu Fall erhebliche Unterschiede aufweisen. Wenn z. B. der Antrieb mit Kupplung und Konsole ausgeführt würde, wäre der Aufwand sicher höher als in der Annahme, die dem Diagramm **Bild 11.4** zugrunde liegt.

Bild 11.4
Kostenvergleich
BG - Getriebemotor mit Kupplung und Konsole
BF - Aufsteck-Getriebemotor mit Hohlwelle, Passfeder
BK - Kegelrad-Getriebemotor in Aufsteckversion mit Hohlwelle, Passfeder



12 Kegelradgetriebe mit rechtwinkligem Abtrieb

Wenn am Aufstellungsort der Platz in axialer Richtung begrenzt ist, kann eine rechtwinklige Anordnung der Arbeitswelle vorteilhaft sein (s. Bild 1.7.4). Die Vor- und Nachteile der infrage kommenden Lösungen mit Kegelrad- oder Schneckenstufe sind je nach Antriebsfall abzuwägen.

12.1 Anordnung der Kegelradstufe

Bei der Suche nach einer Lösung im Rahmen eines Baukastens für Serienprodukte ist zwischen konstruktiven Grundsätzen und optimaler Mehrfachverwendung der Bauteile abzuwägen. **Bild 12.1.1** zeigt den inneren Aufbau und **Bild 12.1.2** eine praktische Anwendung des Kegelradgetriebes der Baureihe BK, bei dem eine schräg verzahnte Stirnradstufe als Eingangsstufe verwendet wird. Dies ergibt zwar relativ große (teure) Stufen an den sich kreuzenden Achsen, erlaubt jedoch die Mehrfachverwendung des Motors und der Stirnradstufe in einem **Baukastensystem**.

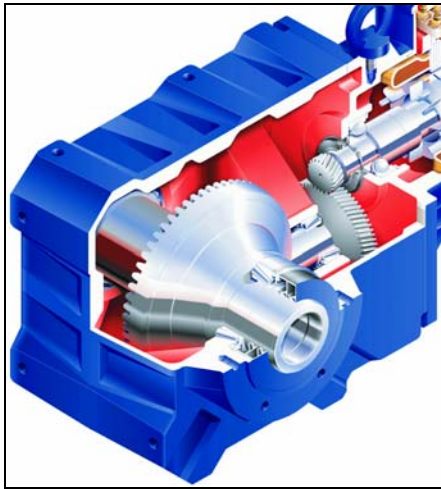


Bild 12.1.1
Schnittbild eines Kegelradgetriebes mit schräg verzahnter Stirnradstufe im Eingang und spiralverzahnter Endstufe



Bild 12.1.2
Anwendungsbeispiel für einen Kegelrad-Getriebemotor der Reihe BK an einem Heber

12.2 Kostenvergleich Kegelradgetriebe – Schneckengetriebe

Das **Kegelradgetriebe** hat im Vergleich zum Schneckengetriebe einen besseren Wirkungsgrad und geringeren Flankenverschleiß.

Vor allem bei Antrieben im **Dauerbetrieb** ist daher das Kegelradgetriebe die bessere Wahl; eventuell höhere Investitionskosten sind über den niedrigeren Energieverbrauch bald kompensiert, wie das Rechenbeispiel in **Bild 12.2** zeigt:

Der Mehrpreis des Kegelradgetriebes ist bei Einschichtbetrieb nach etwa 1,8 Jahren oder 22 Monaten **allein über die Einsparung von Stromkosten** gedeckt – bei Dreischichtbetrieb werden nur etwa 0,6 Jahre oder 7 Monate benötigt. Ab diesem Zeitpunkt arbeitet das Kegelradgetriebe kostengünstiger.

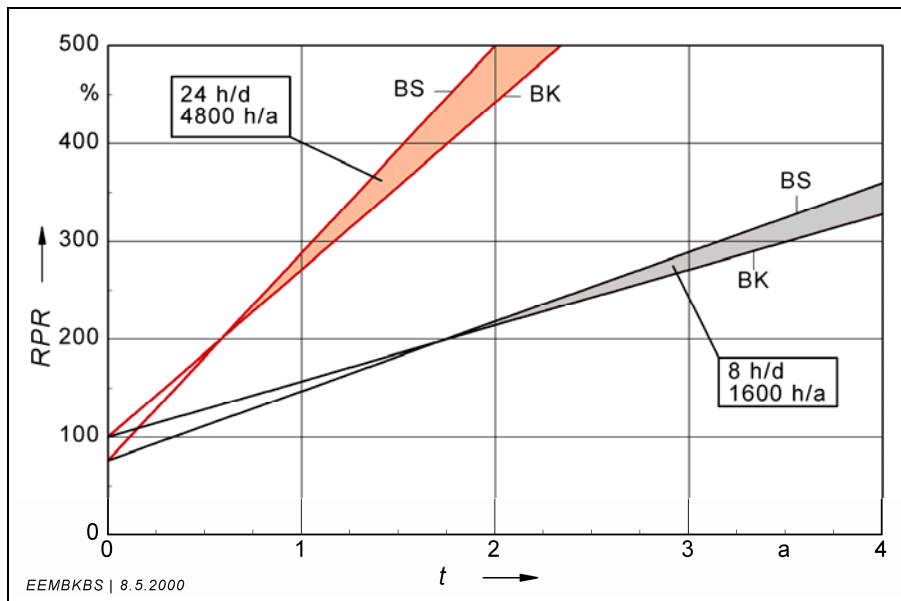


Bild 12.2
Relative Betriebskosten *RPR* (ohne Wartung) bei ca. 500 Nm, 27 r/min in Abhängigkeit von der Betriebszeit *t* (in Jahren)

BK - Kegelrad-Getriebemotor
BS - Schnecken-Getriebemotor

Annahmen für die Betriebszeit:

rot: 24 Stunden pro Tag (h/d), 200 Tage pro Jahr, 4800 Stunden pro Jahr (h/a)
schwarz: 8 Stunden pro Tag (h/d), 200 Tage pro Jahr, 1600 Stunden pro Jahr (h/a)

Leerseite für Notizen

13 Schneckengetriebe mit rechtwinkligem Abtrieb

Schneckengetriebe erlauben sehr hohe Untersetzungen (bis zu $i > 30$) in einer Stufe. Sie haben eine hohe Sicherheit gegen Zahnbruch und laufen sehr geräuscharm. Die Gleitreibung – im Gegensatz zu der weitgehend abrollenden Bewegung an der Evolvente eines Stirnrades – erzeugt aber relativ hohe Reibungsverluste und Temperaturen; ihr Wirkungsgrad sinkt mit zunehmender Untersetzung. Bei hohen Untersetzungen (niedrigen Wirkungsgraden $< 50\%$) tritt **Selbsthemmung** auf – das Getriebe hilft, die Abwärtsbewegung einer Last zu unterbinden.

13.1 Ausführungsbeispiel der Baureihe BS

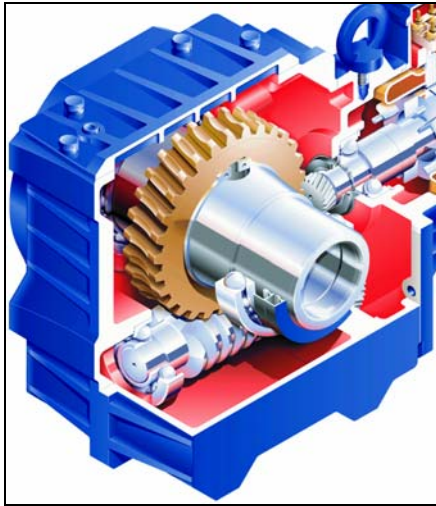


Bild 13.1.1
Schnittbild eines Schneckengetriebes mit schräg verzahnter Stirnradstufe im Eingang und mit Hohlwelle

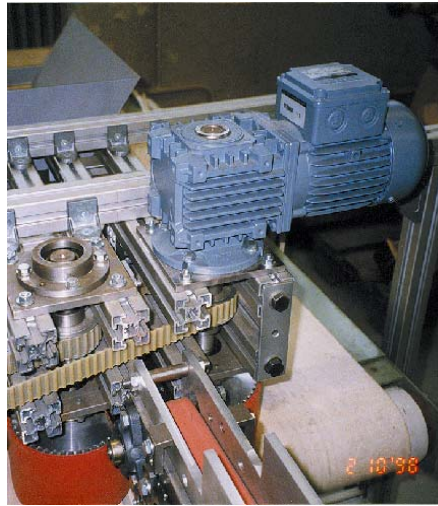


Bild 13.1.2
Anwendungsbeispiel eines Schneckengetriebemotors der Reihe BS

13.2 Preisvergleich Schneckengetriebe – Stirnradgetriebe

Häufig werden Schneckengetriebe preisgünstiger eingeschätzt als Stirnradgetriebe. Diese Annahme mag im Bereich sehr hoher Untersetzungen (kleiner Drehzahlen) und in Ländern mit traditionell hohen Produktionsanteilen von Schneckengetrieben zutreffen – nicht jedoch bei üblichen Drehzahlen und auf Märkten mit einem überwiegenden Produktionsanteil der Stirnradgetriebe. **Bild 13.2.1** zeigt die Anteile von Stirnradgetrieben (H) und Schneckengetrieben (S) deutscher Hersteller am Produktionswert 1998 (nach Angaben des VDMA).

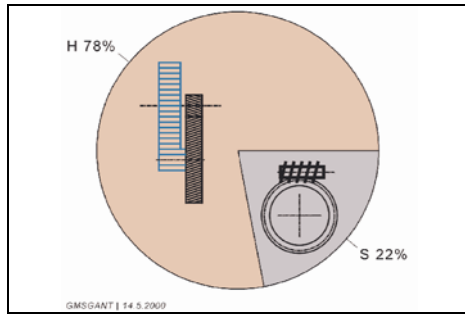


Bild 13.2.1
Anteile der Getriebearten Stirnrad (H) und Schnecke (S) am Produktionswert 1998 in Deutschland (nach Angaben des VDMA)

Dank rationeller Fertigung sind Stirnradgetriebe i. A. preisgünstiger als Schneckengetriebe, wie der Vergleich in **Bild 13.2.2** zeigt.

Der Preis ist also kein Grund, um das Schneckengetriebe mit seinem höheren Energieverbrauch zu wählen.

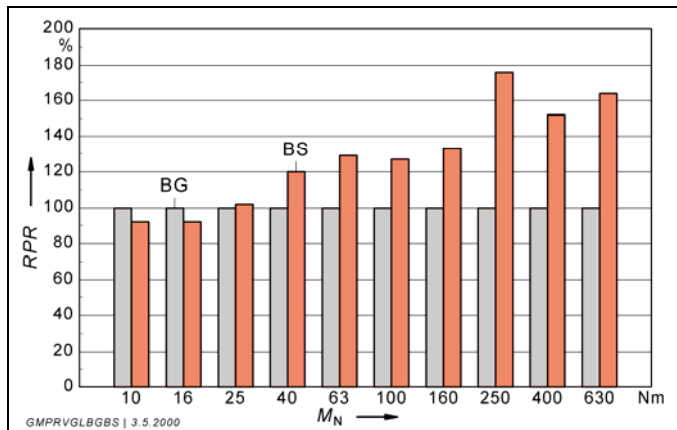


Bild 13.2.2
Preisvergleich

BG-
Stirnrad-
Getriebemotoren

BS-
Schnecken-
Getriebemotoren

bei Bemessungs-
momenten M_N

14 Direktvergleich BG – BF – BK – BS

Meist wird bei der Antriebswahl zunächst entschieden, ob ein rechtwinkliger Abtrieb erforderlich ist. Es stehen daher nur die Alternativen konzentrischer/paralleler Abtrieb (BG/BF) oder Kegelrad/Schnecke (BK/BS) zur Wahl, zu welchen in den Abschnitten 11.4 und 12.2 ausführliche Angaben gemacht wurden.

Die Katalog-CD erlaubt im Gegensatz zum Papierkatalog einen sehr raschen Direktvergleich aller vier Getriebebauarten, wenn z. B. nur nach Preis entschieden werden soll. Im **Bild 14.1** ist das Ergebnis einer Suche nach einem Antrieb für 1,5 kW, ca. 50 r/min bei Betriebsfaktor $f_B \approx 1$ dargestellt.

f	: Netzfrequenz	50 Hz	Suchbereich:					
P ₂	: Bemessungsleistung	1.5 kW	-10% bis 20%					
M _{2<}	: Bemessungsmoment an der Arbeitswelle							
n ₂	: Bemessungsdrehzahl an der Arbeitswelle	50 r/min	-5% bis 5%					
f _B	: Betriebsfaktor	>=1						
i	: Getriebeuntersetzung							
Gefundene Getriebemotoren:								
Typ	Betriebsart	Pnenn	N2	i	M2	FB	Grundpreis	
BG30/D09LA4	S1	1.5	50.0	28.24	285.0	1.05	547	
BG40/D09LA4	S1	1.5	48.0	29.34	295.0	1.45	610	
BF20/D09LA4	S1	1.5	51.0	27.62	280.0	1.5	698	
BG50/D09LA4	S1	1.5	47.5	29.62	300.0	2.1	703	
BS20/D09LA4	S1	1.5	51.0	27.86	215.0	1.15	747	
BF30/D09LA4	S1	1.5	50.0	28.23	285.0	2.0	777	
BK20/D09LA4	S1	1.5	49.0	28.66	260.0	1.25	857	
BF40/D09LA4	S1	1.5	47.5	29.55	300.0	2.7	949	
BS30/D09LA4	S1	1.5	52.0	27.07	225.0	1.8	963	
BK30/D09LA4	S1	1.5	49.0	28.76	260.0	1.75	978	
BG60/D09LA4	S1	1.5	48.0	29.31	295.0	4.1	1057	
BK40/D09LA4	S1	1.5	49.0	28.59	260.0	3.0	1197	
BG70/D09LA4	S1	1.5	52.0	27.21	275.0	8.4	1437	
-----	---	---	---	---	---	---	---	

Bild 14.1 Suchergebnis der Katalog-CD nach den Alternativen für 1,5 kW, 50 r/min, Betriebsfaktor $f_B \approx 1$; geordnet nach Preis (Stand 2007)

Im **Bild 14.2** ist für sechs Leistungsstufen im Bereich 0,75 ... 22 kW für jeweils etwa 50 r/min ein Trend ersichtlich, der jedoch nicht in jedem konkreten Einzelfall gelten muss: Am preisgünstigsten ist das Stirnradgetriebe BG – am teuersten das Kegelradgetriebe BK. Bei diesem »Direktvergleich« sind jedoch die erheblichen Vorteile der Lösung »Aufsteckgetriebe« (s. Abschnitt 11.4) nicht berücksichtigt.

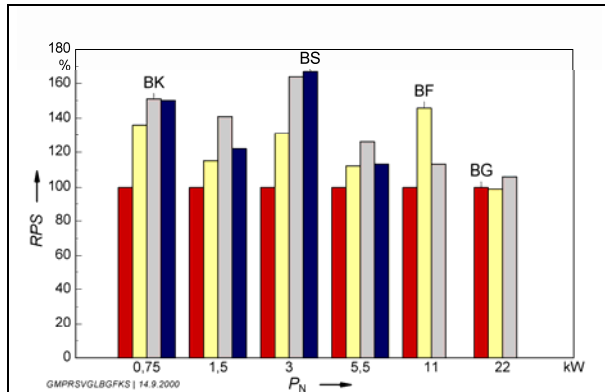


Bild 14.2
Direktvergleich der relativen Bruttopreise von Getriebemotoren der Bauarten
BG Stirnrad (konzentrisch)
BF Aufsteck-Flachgetriebe
BK Kegelradgetriebe
BS Schneckengetriebe jeweils etwa 50 r/min

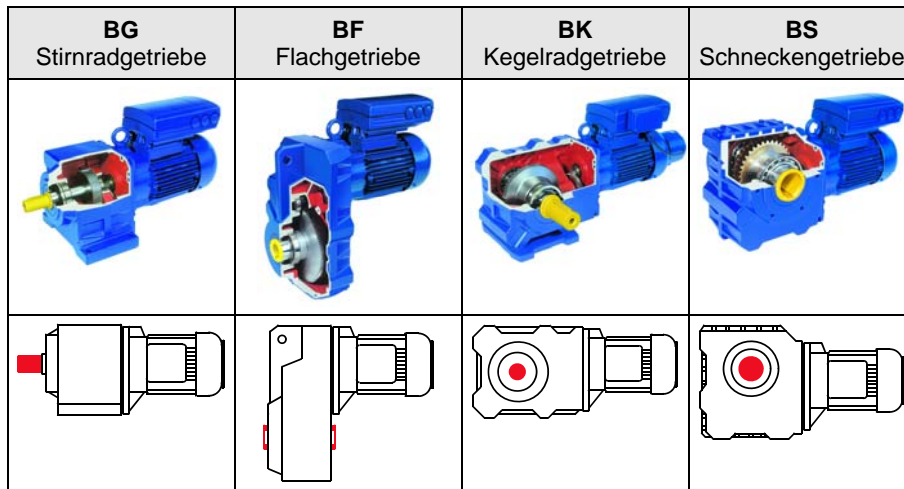


Bild 14.3 Prinzipdarstellung der vier Getriebebauarten der Danfoss Bauer GmbH (Motoren jeweils mit angebautem Umrichter Eta-K)

15 Getriebewirkungsgrad

In der Ausgabe 1972 der DIN VDE 0530 war in Abschnitt 27 festgelegt, dass sich bei Getriebemotoren die Leistungsangabe auf die Enddrehzahl der langsam laufenden Welle beziehen soll. Diese Klarstellung wurde der internationalen Harmonisierung geopfert; ein entsprechender Hinweis ist lediglich noch in DIN 42961 "Leistungsschilder für elektrische Maschinen" im Abschnitt 9 zu finden. Häufig werden Normmotoren mit eigenem Leistungsschild an ein getrennt beschildertes Untersetzungsgetriebe angebaut, dessen Wirkungsgrad vom Anwender dann abzuschätzen ist.

15.1 Stirnradgetriebe und Kegelradgetriebe

Bei diesen Getriebebauarten rechnet man mit einem Verlust von etwa 2 % pro Stufe, bezogen auf die Endauslastung des Getriebes. Fast die Hälfte dieser Verluste tritt schon im Leerlauf auf – hauptsächlich als **Planscharbeit** im Schmierstoff (**Bild 15.1**), die mit der Drehzahl etwas ansteigt.

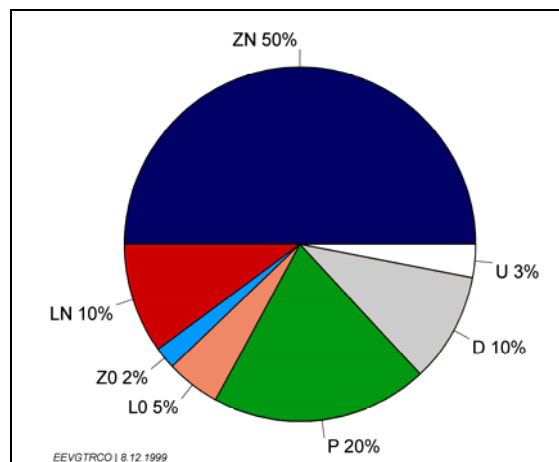
Bild 15.1
Komponenten der
Getriebeverluste bei
ölgeschmierten Stirnradgetrieben

Leerlauf:

Z0 - Verzahnung
L0 - Lager
P - Planschen
D - Dichtungen
U - Zusatz

Nennlast:

ZN - Verzahnung
LN - Lager



Die Größe der Untersetzung pro Stufe hat **keinen** praktisch **messbaren Einfluss** auf den Wirkungsgrad (**Bild 15.2**).

Ausführliche Angaben zum Getriebewirkungsgrad im Sonderdruck SD 34.. "Energie sparen mit Getriebemotoren" der Fa. Danfoss Bauer GmbH.

15.2 Schneckengetriebe

Im Gegensatz zu den Stirnradgetrieben sind die Verluste bei Schneckengetrieben direkt von der Untersetzung abhängig. Bei sehr hohen Untersetzungen haben Schneckengetriebe deutliche Preisvorteile gegenüber Stirnradgetrieben – allerdings verbunden mit erheblich schlechterem Wirkungsgrad (**Bild 15.2**).

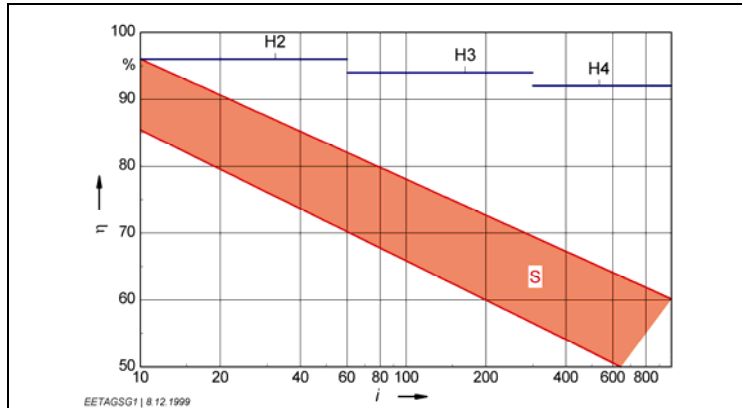


Bild 15.2 Richtwerte für den Wirkungsgrad η von schräg verzahnten Stirnradgetrieben (H) mit 2, 3 oder 4 Stufen im Vergleich zu Schneckengetrieben (S), abhängig von der Untersetzung i , bezogen auf die Bemessungsleistung des Getriebes

An den Gesamtverlusten von Schneckengetrieben sind beteiligt:

- Schraubwälzreibung (Gleitreibung)
- Planscharbeit
- Lagerreibung
- Dichtungsreibung.

Schon bei kleinen Untersetzungen überwiegt die **Gleitreibung**; sie wird bei mittleren und höheren Untersetzungen zum bestimmenden Anteil. Verbesserte Schmierstoffe (z. B. synthetische Öle statt Mineralöl) können die Gleitreibung deutlich reduzieren und damit den Getriebe-Wirkungsgrad nennenswert (z. B. nach neueren Literaturangaben und Messungen um bis zu 10 ... 15 Prozentpunkte) verbessern. Änderungen dieser Größe sind messtechnisch nachweisbar – sie führen auch zu einer verminderten Betriebstemperatur und zu einer verlängerten Lebensdauer.

Die genannten Zahlen entsprechen dem derzeitigen Stand der Schmiertechnik und den Herstellerangaben. Weitere Verbesserungen sind angesichts der prinzipbedingten relativ hohen Verzahnungsverluste bei Schneckengetrieben nicht unmittelbar zu erwarten.

16 Querkraftbelastung der Arbeitswelle

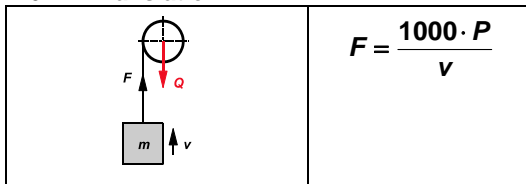
Wo langsam laufende Antriebe – also Getriebemotoren – eingesetzt sind, werden meist auch **hohe Antriebskräfte** verlangt. Bei Verwendung einer direkten Kupplung treten diese äußeren Kräfte als Paar auf und stellen daher keine zusätzliche Belastung für den Wellenstumpf und die Lager der Arbeitswelle dar. Meist werden die Antriebskräfte jedoch über form- oder kraftschlüssige Zugmittel – z. B. Ketten oder Riemen – übertragen und wirken dabei in ihrer Reaktion als Querkräfte auf die Arbeitswelle.

In den folgenden Abschnitten wird beschrieben, dass diese Querkräfte bei ungünstiger Wahl der Übertragungsmittel unzulässig hohe Werte erreichen können, ohne dass die Bemessungsgrenzen von Leistung, Drehmoment, Strom oder Temperatur überschritten werden. Der Schutz gegen Querkraft-Überlastung kann daher nicht sekundär mit irgendwelchen Überwachungseinrichtungen, sondern nur primär durch **richtige Projektierung** erfolgen (s. Abschnitt 39).

16.1 Höhe und Richtung der Querkraft

Die Antriebseinheit Getriebemotor ist thermisch und mechanisch für die Übertragung eines bestimmten Nenndrehmoments M_N im Dauerbetrieb bemessen. Am äußeren Übertragungsmittel – z. B. Kettenrad, Zahnrad, Keilriemenscheibe, Kurbel – wird dieses Nenndrehmoment in eine nutzbare Antriebskraft F umgesetzt, die nach folgenden Beziehungen berechnet werden kann:

16.1.1 Translation

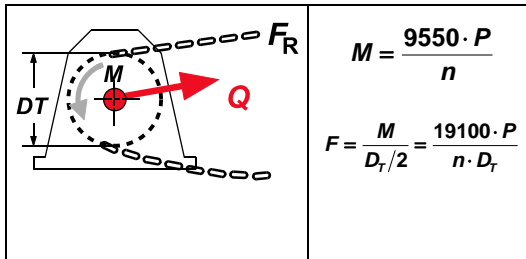


$$F = \frac{1000 \cdot P}{v}$$

Bild 16.1.1

F - Antriebskraft in N
 P - Antriebsleistung in kW
 v - Geschwindigkeit in m/s
 Q - Querkraft auf die Arbeitswelle

16.1.2 Rotation



$$M = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

$$F = \frac{M}{D_T/2} = \frac{19100 \cdot P}{n \cdot D_T}$$

Bild 16.1.2

M - Antriebsmoment in Nm
 P - Antriebsleistung in kW
 n - Antriebsdrehzahl in r/min
 F - Antriebskraft in N
 D_T - Teilkreis-Durchmesser des Antriebselements (z. B. Zahnrad, Kettenritzel) in m

16.2 Antriebs-elemente mit formschlüssiger Kraftübertragung

Bei Verwendung **formschlüssiger** Übertragungselemente, wie Ketten, Zahnräder, Zahnriemen, Schubstangen, Exzenter, Kurvenscheiben, wirkt der Widerstand gegen die nutzbare Antriebskraft F als Querbelastung Q auf die Arbeitswelle des Getriebemotors ein (Bild 16.3.1).

16.3 Kettenantrieb

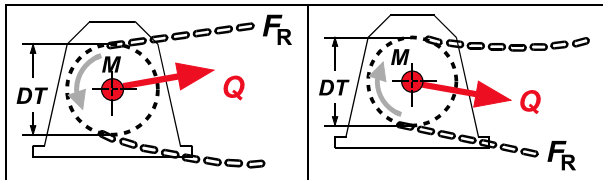


Bild 16.3.1
Belastung der
Arbeitswelle
bei einem Kettenantrieb

Der Kettenzug F wirkt als Querkraft Q auf die Arbeitswelle in Richtung des ziehenden Kettentrums. Die Kette liegt in Form eines Vieleckes auf dem Kettenrad; daher schwanken der wirksame Teilkreis-Durchmesser und die Kettengeschwindigkeit im Verhältnis $1 : \cos \alpha$, wobei α der halbe Winkel zwischen zwei Zähnen des Kettenrades ist ($\alpha = 180/Z$). Dieser **Polygoneffekt** ist umso ausgeprägter, je niedriger die Zähnezahl Z des Kettenrades ist. Neben anderen Gründen ist dies der Anlass, dass in DIN 8195 "Auswahl von Kettentrieben" empfohlen wird, Kettenräder mit mindestens 17 Zähnen zu wählen. Die Kettenradhersteller schließen sich zwar meist dieser Empfehlung an, bieten aber auch noch 10 oder 11 Zähne als untere Grenze an.

16.4 Antrieb über Stirn-Zahnräder

Die bei Stirn-Zahnradern auftretende Zahnkraft F wirkt unter dem **Zahneingriffswinkel** von 20° zur gemeinsamen Tangente der Teilkreise von treibendem und getriebenem Rad (Bild 16.4.1). Auf das getriebene Rad wirkt die treibende Zahnkraft F (graue Pfeile). Auf das treibende Rad wirkt sie als Reaktionskraft zurück (schwarze Pfeile). In der Wirkung auf die Arbeitswelle kann diese Reaktionskraft als Querkraft Q an der Welle angreifend gedacht werden (rote Pfeile).

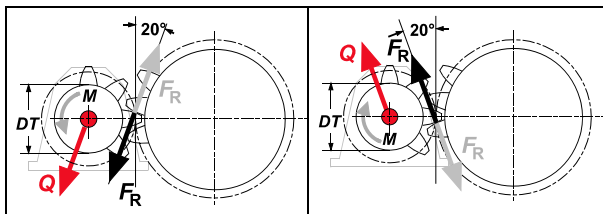


Bild 16.4.1
Belastung der
Arbeitswelle bei
einem Antrieb über
Stirn-Zahnräder

16.5 Antriebs Elemente mit reibschlüssiger Kraftübertragung

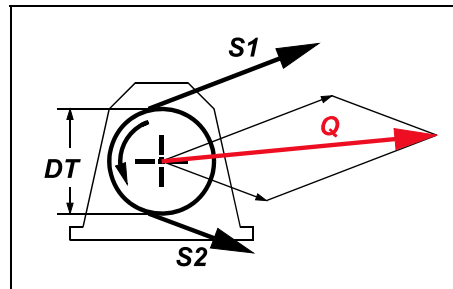
Bei Verwendung **reibschlüssiger** Übertragungselemente, wie Flachriemen oder Keilriemen, ist zur Erreichung eines Kraftschlusses eine **Vorspannung** notwendig. Als Querbelastung auf die Arbeitswelle wirkt daher nicht nur der nutzbare Riemenzug, sondern zusätzlich noch die Vorspannkraft.

Die Vorspannkraft sollte mit Rücksicht auf Riemen und Lager möglichst nur so hoch gewählt werden, wie es zu einer sicheren schlupffreien Kraftübertragung notwendig ist. Da jedoch die Riemen-Spanneinrichtungen oftmals ein müheloses und unkontrollierbares Anspannen gestatten, findet man in der Praxis häufig unnötig stark vorgespannte Riementriebe. Es empfiehlt sich daher, bei der Berechnung der resultierenden Querkraft entsprechend hohe Sicherheitsfaktoren einzusetzen und die Arbeitswellen-Lager reichlich zu bemessen.

16.6 Riemenantrieb

Bild 16.6

Querkraft Q auf die Arbeitswelle
als Wirkung der Riemenkräfte
 S_1 und S_2 bei einem Riementrieb



S_1 und S_2 sind Riemenkräfte im Betrieb, hervorgerufen durch Vorspannung und Riemenzug F .

Q ist die auf die Arbeitswelle einwirkende Querkraft. Sie liegt zwischen ziehendem Trum und Lostrum, etwas zum ersteren hingeneigt. Je nach der Vorspannung ist

- bei Keilriemen: $Q = (2 \dots 2,5) \cdot F$
- bei Flachriemen: $Q = (2 \dots 3) \cdot F$.

Die Lager der Arbeitswelle sind für die Gesamtkraft Q zu bemessen.

16.7 Antrieb über Reibrad

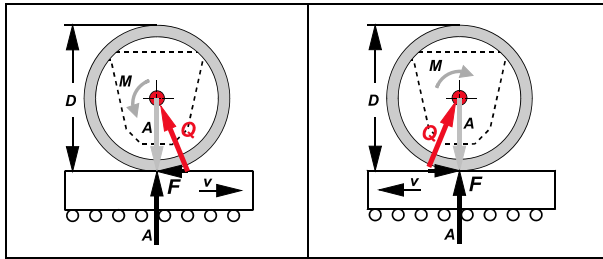


Bild 16.7
Belastung der
Arbeitswelle bei einem
Antrieb über Reibrad

Zur Übertragung der nutzbaren Umfangskraft F auf das Transportgut ist es erforderlich, das Reibrad mit der **Anpresskraft A** gegen das Transportgut zu drücken (Bild 16.7). Die erforderliche Anpresskraft ist mindestens

$$A = \frac{F}{\mu} \quad \text{wobei } \mu \text{ die Reibungszahl zwischen Reibrad und Transportgut ist.}$$

Als Querbelastung auf die Arbeitswelle wirkt die resultierende Kraft

$$Q = \sqrt{A^2 + F^2}$$

Unter üblichen praktischen Verhältnissen wird $Q = (3 \dots 4) \cdot F$.

16.8 Belastbarkeit der Arbeitswellenlager

Die Gesamtbelastung der Arbeitswellenlager eines Getriebemotors setzt sich aus der im Getriebe selbst auftretenden Zahnkraft und der äußeren Querkraft zusammen.

Die zulässige Radialbelastung ist den Katalogangaben zu entnehmen. Die Querkraft kann durch ungünstige Wahl von Durchmesser und Anordnung eines Übertragungsmittels unzulässig hohe Werte annehmen, ohne dass die Bemessungsleistung überschritten wird. Diese Überlastungsart äußert sich also **weder durch überhöhte Stromaufnahme oder Erwärmung noch durch Überschreiten des Bemessungsdrehmoments und kann daher durch thermisch wirkende Methoden nicht erfasst werden**. Die zulässige Querkraft hängt darüber hinaus noch von vielen weiteren Faktoren ab: Getriebegröße und Lagerbestückung an der Arbeitswelle, Krafrichtung, Drehrichtung sowie Drehmoment und Drehzahl der Arbeitswelle.

Der Schutz gegen eine Überlastung durch zu hohe Querkräfte muss daher schon bei der **Projektierung** der Übertragungsmittel einsetzen. Die maximal zulässigen Querkräfte sollten beim Hersteller des Getriebemotors unter Schilderung aller Kriterien angefragt werden. Größe und Anordnung des Übertragungsmittels (z. B. eines Kettenrades) können die Lebensdauer entscheidend beeinflussen.

**Weitere Angaben zu diesem Thema im Danfoss-Bauer-Buch
"Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren".**

16.9 Gehäuseoptimierung mit der Finite-Elemente-Methode (FEM)

Bei der Berechnung der zulässigen Radialkraft auf die Arbeitswelle eines Getriebemotors sind u. a. zu beachten:

- Höhe der Radialkraft
- Abstand des Angriffspunkts vom Lager und vom Wellenbund
- Krafrichtung
- Drehrichtung
- innere Radialkraft und Axialkraft (aus Zahnschrägung) am Endrad
- Abstand der Arbeitswellenlager
- Tragzahl der Wälzlager
- Drehzahl der Arbeitswelle.

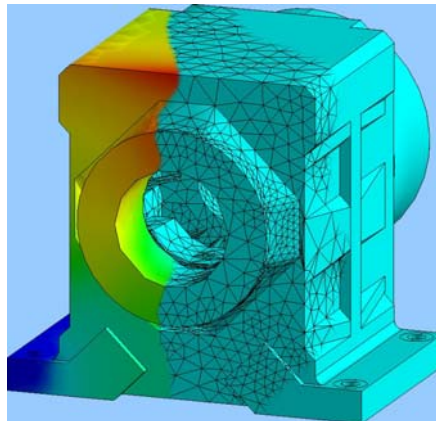
Trotz dieser vielen Parameter ist die Belastung von Welle und Lager mit konventionellen Rechenmethoden vergleichsweise einfach zu ermitteln.

Raumbedarf und Gewicht des Getriebes sind weitgehend vom Gehäuse bestimmt. Zur Optimierung der komplizierten geometrischen Form des Getriebegehäuses kann in komplexen Rechenprogrammen die **Finite-Elemente-Methode (FEM)** verwendet werden. Im **Bild 16.9** sind drei verschiedenen Einzelbilder vereinigt: Rechts das Gehäuse in der normalen Ansicht, in der Mitte die Vernetzung des Modells mit manueller Anpassung in den für die Festigkeitsbetrachtung wichtigen Bereichen; links die durch Farbabstufung dargestellte Beanspruchung des Gehäuses. Die rechnerische Beanspruchung des Gehäuses durch die maximal zulässige Radialkraft von 20 000 N liegt im zulässigen Bereich. Auch unter Worst-case-Annahmen hat das Gehäuse eine ausreichende Sicherheit gegen Bruch.

Bild 16.9
Simulation einer von unten auf die Arbeitswelle wirkenden Radialkraft von 20 000 N auf das Getriebegehäuse BG70 der Danfoss-Bauer-Reihe 2000

Bewertung der Farbskala für die Beanspruchung:

dunkelblau	keine
hellblau	gering
grün	mittel
gelb	hoch
rot	maximal



Leerseite für Notizen

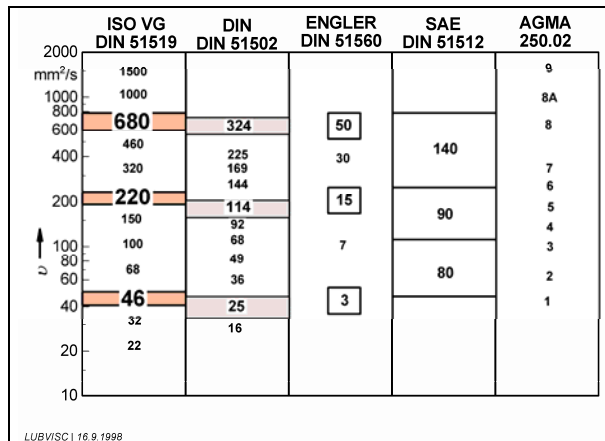
17 Schmierung

Im Gegensatz zu den teilweise genormten Elektromotoren gibt es bei den Untersetzungsgetrieben große Unterschiede in Konstruktion, Ausnutzung und Ausführung. Die nachfolgenden, allgemein gehaltenen Hinweise beziehen sich auf eine Schmierung mit hochwertigem Mineralöl; sie sind durch die speziellen Wartungsvorschriften für den jeweiligen Typ zu ergänzen.

17.1 Viskosität

Die Viskosität (**Zähigkeit**) eines Öls ist zusammen mit dem Viskositäts-Temperatur-Verhalten (dargestellt im VT-Diagramm) vor allem für den Anlauf bei niedrigen Umgebungstemperaturen und für die Abdichtbarkeit bei hohen Betriebstemperaturen maßgebend. Für die **Druckaufnahmefähigkeit** ist sie bei langsam laufenden, hoch belasteten Getrieben von sekundärer Bedeutung. In **Bild 17.1** sind einige in der Praxis gebräuchliche Viskositätsklassen gegenübergestellt. Die Einteilung in **ISO-Viskositätsklassen** (ISO VG) wurde international eingeführt und wird von den Mineralöllieferanten angewendet. Die früher gebräuchlichen **Engler-Grade** wurden in den Vergleich einbezogen, weil sie mit ihrer Relation zur Auslaufzeit von Wasser (1 °E) sehr anschaulich sind.

Bild 17.1 Vergleich von international gebräuchlichen Viskositätsklassen (kinematische Viskosität ν bei Bezugstemperatur 40 °C)



17.2 Hochdruckeigenschaften

Da bei Untersetzungsgetrieben in den langsam laufenden Stufen kein **hydrodynamischer Schmierkeil** zwischen den Zahnflanken zustande kommt, werden in moderne Hochleistungsschmierstoffe chemisch wirkende Zusätze eingebracht, die an der Flankenoberfläche eine Grenzschicht aufbauen und so auch unter hohem Zahndruck den metallischen Kontakt verhindern: Das Öl wird »gedopt« oder »legiert«. Die Mindestanforderungen an die Eigenschaften von Schmierstoffen für die Zweitbefüllung sind für Schmieröle CLP in DIN 51517-3 beschrieben oder können den Betriebsanleitungen des Getriebeherstellers entnommen werden.

17.3 Schmierfrist

Die Betriebstemperatur hat starken Einfluss auf die Lebensdauer eines Mineralöles. Pauschale Angaben für die richtige Schmierfrist sind daher recht problematisch. Als Anhaltspunkt für die Praxis hat sich eine Schmierfrist von etwa 10 000 ... 15 000 Betriebsstunden, längstens jedoch etwa 3 ... 4 Jahre, bewährt. Dieses relativ lange Intervall erscheint für den Anwender zumutbar, vor allem wenn man es mit den bei einem KFZ-Getriebe üblichen Schmierfristen vergleicht: Das hier übliche Wartungsintervall von 50 000 km ergibt bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h eine Betriebszeit von nur 1 000 Stunden! Es erscheint darüber hinaus angebracht, die Schmierfrist von 10 000 Stunden bzw. 3 Jahren einmal mit den in der Praxis üblichen Laufzeiten zu vergleichen (**Bilder 17.3.1 und 17.3.2**):

Bei der üblichen 5-Tage-Woche (5 d/w) darf die tägliche Laufzeit bis zu etwa 13 Stunden (13 h/d) betragen, ohne dass der Grenzwert von 3 Jahren = 36 Monate (36 m) vermindert wird. Erst bei täglicher Benützung von mehr als 13 h/d dominiert die 10 000-Stunden-Grenze und vermindert die Wartezeit bis zum nächsten Ölwechsel.

Bei einer 7-Tage-Woche (7 d/w) liegen die Grenzwerte niedriger (**Bild 17.3.2**).

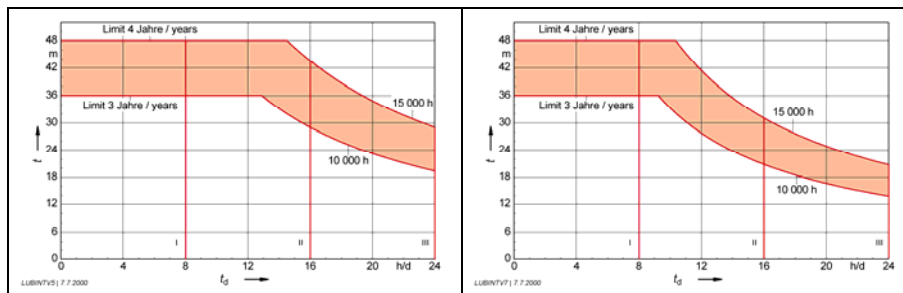


Bild 17.3.1
5-Tage-Woche

Bild 17.3.2
7-Tage-Woche

Wartezeit t (in Monaten m) für den Ablauf einer Schmierfrist von 10 000... 15 000 Stunden bzw. 3 ... 4 Jahren bei verschiedenen Betriebszeiten t_d in Stunden pro Tag

5-Tage-Woche

Beispiel	Schichten pro Tag	Stunden pro Tag	Schmierfrist in Monaten
I	1	8	36 ... 48
II	2	16	29 ... 43
III	3	24	19 ... 29

7-Tage-Woche

Beispiel	Schichten pro Tag	Stunden pro Tag	Schmierfrist in Monaten
I	1	8	36 ... 48
II	2	16	21 ... 31
III	3	24	14 ... 21

Die Diagramme zeigen, dass bei den meisten praxisüblichen Laufzeiten die Schmierfrist von 3 ... 4 Jahren in Anspruch genommen werden kann. Diese Aussage gilt für übliche Umgebungstemperaturen (bis zu etwa 30 °C) und für hochwertige Mineralöle.

Eine **Einlauf-Schmierfrist** (z. B. 200 oder 300 Stunden) ist nur notwendig, wenn mit dem Einschluss von Fremdkörpern im Getriebegehäuse oder mit einem Abrieb der Zahnflanken gerechnet werden muss.

Werden die Gehäuse gründlich gereinigt und mit einer gut haftenden Farbe innen gestrichen und kommen reichlich bemessene, einatzgehärtete und genau bearbeitete Zahnräder zum Einsatz, so kann auf diesen zusätzlichen ersten Schmierstoffwechsel ohne Nachteil verzichtet werden.

17.4 Synthetische Schmierstoffe

Neben Mineralölen, deren Eigenschaften bei den meisten Anwendungsfällen ausreichen, werden synthetische Schmierstoffe (z. B. Schmieröle PGLP – Polyglykole und synthetische Kohlenwasserstoffe) angeboten, die hauptsächlich folgende Vorteile bieten:

- hoher Viskositäts-Index (VI), also Eignung für extrem große Temperaturbereiche
- gute Oxidations- und Alterungsstabilität, also längere Lebensdauer
- niedriger Reibungskoeffizient, der vor allem bei Getrieben mit hohem Gleitanteil (Schneckengetriebe) zu niedrigeren Verlusten und längerer Lebensdauer beitragen kann.

Nachteile:

- die Beeinträchtigung gewisser Werkstoffe im Getriebe (z. B. Innenanstrich, Dichtungsmaterialien, Kunststoff-Lagerkäfige bei Temperaturen etwa >130 °C)
- schlechtere Verfügbarkeit
- höherer Preis
- Polyglykole sind mit Mineralölen nicht mischbar und nicht verträglich
- besondere Entsorgung.

Die im Zusammenhang mit synthetischen Schmierstoffen gelegentlich verwendeten Begriffe wie »**Lebensdauerschmierung**« oder »**sealed for life**« sind kritisch zu betrachten, da Wartungsintervalle und Lebensdauer eines Getriebes nicht nur vom Schmierstoff abhängen.

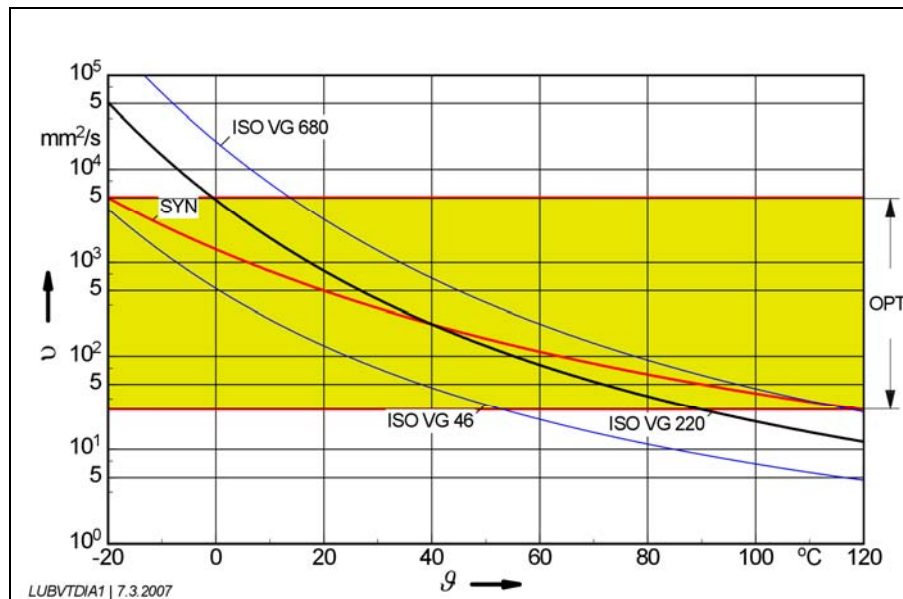


Bild 17.4

Kinematische Viskosität ν in Abhängigkeit von der Temperatur θ (VT-Verhalten) Mineralöle ISO VG 46, 220 und 680 im Vergleich zu einem synthetischen Öl (SYN)

Im mit **OPT** markierten Viskositätsbereich kann das synthetische Öl ohne Sortenänderung bei Temperaturen von -20 °C bis +120 °C eingesetzt werden. Bei gleichen Anforderungen an eine »optimale Viskosität« sind bei einem Mineralöl zwei Viskositäts-Stufen erforderlich.

Ausführliche Angaben zum Thema Schmierung im Danfoss-Bauer-Buch "Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren".

18 Trommelmotoren

Seit mehreren Jahrzehnten haben Trommelmotoren zum Antrieb von **Bandförderern** einen festen Platz in der Fördertechnik. Die zahlreichen Vorteile dieses Antriebs werden von den Herstellern und Benutzern von Förderanlagen gleichermaßen geschätzt:

- Motor, Untersetzungsgetriebe und Antriebstrommel sind eine Einheit
- minimaler Platzbedarf
- günstiges Gewicht
- vollkommen geschlossene Bauweise (Schutzart IP65 nach EN 60529), also staub- und strahlwassersicher
- keine äußeren Untersetzungsglieder, daher kein umständliches Ausrichten bei der Montage und keine aufwändigen Sicherheitsvorrichtungen
- geräuscharmer Lauf durch hochwertige Getriebe, präzise Fertigung und schalldämpfende Fettschmierung
- einfache und saubere Installation
- geringer Wartungsaufwand, Nachschmierung erst nach etwa 10 ... 15 000 Betriebsstunden. Die Lebensdauer eines Trommelmotors ist dank seiner reichlichen Bemessung, seiner robusten Konstruktion und seiner geschlossenen Bauweise sehr hoch, vor allem, wenn die Hinweise für die Auswahl und den Einbau des Antriebs beachtet werden.

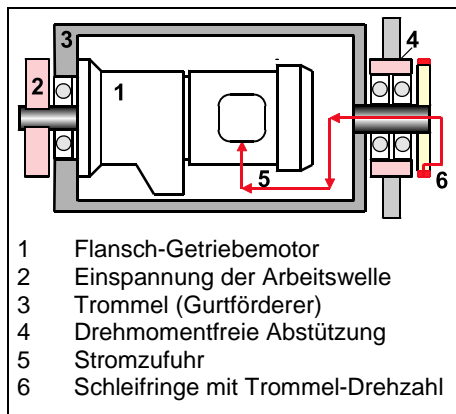


Bild 18.1
 Konstruktive Verwandtschaft des
 Trommelmotors mit dem Getriebemotor



Bild 18.2
 Trommelmotoren in einer Gießerei unter
 Bedingungen, die für einen offenen
 Kettentrieb nicht zulässig wären

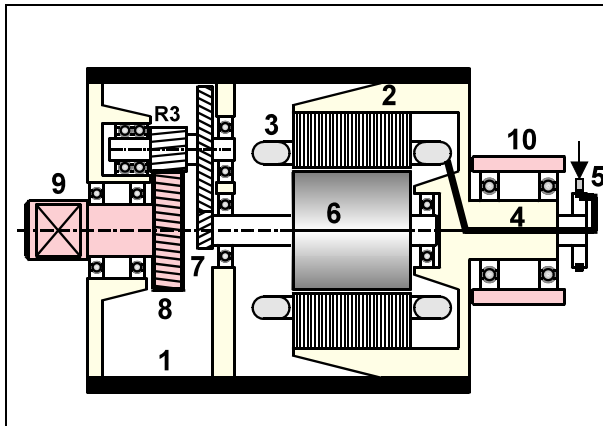


Bild 18.3
Schematisches Schnittbild
eines Trommelmotors
1 Trommelmantel
2 Reduziergehäuse für
Motorpaket
3 Wicklung
4 Hohlwelle
5 Schleifringe für Wicklung
6 Kurzschlussläufer
7 Getriebestufe I
8 Getriebestufe II (Endrad
stationär)
9 Arbeitswelle (stationär)
10 Laufbüchse

Die Wirkungsweise und die konstruktive Verwandtschaft des Trommelmotors mit dem Getriebemotor gehen aus **Bild 18.1** hervor:

Denkt man sich einen Getriebemotor (1) an seiner Arbeitswelle (2) festgehalten, so würde sich das ganze Gehäuse um diese Welle mit einer langsamen, der Untersetzung entsprechenden Drehzahl drehen. Ein auf beiden Seiten abgestütztes Rohr (3), in welchem der Getriebemotor befestigt ist, bildet den Trommelmantel. Die Stromzufuhr zu der langsam mit der Trommel rotierenden Wicklung (5) kann über Schleifringe und Hohlwelle (6) vorgenommen werden.

Bei der tatsächlichen Konstruktion, die in **Bild 18.3** gezeigt ist, bildet die Antriebstrommel ebenfalls den Träger für alle Einbauteile, welche hier jedoch der runden Form des Rohres vollkommen angepasst sind. Auf der einen Seite wird der Reduzierkasten für das Motorteil, auf der anderen Seite der Getriebekasten eingepresst. Bei gleichem Trommeldurchmesser, aber verschiedenen Trommellängen ändern sich lediglich die Längen von Trommelmantel und Läuferwelle, alle übrigen Bauteile bleiben gleich. Die unvermeidbare Verlustwärme der Wicklung kann bei dieser Konstruktion auf direktem, gut leitendem Wege zur Trommeloberfläche abfließen, wo sie vom Förderband wie von einer sich stets erneuernden, kühlenden Kompressur abgenommen wird.

Bei anderen Bauarten, bei denen zwischen der still stehenden Wicklung und der rotierenden Trommel ein wärmedämmender Luftzwischenraum die Kühlung erschwert, muss die geringere Wärmeabfuhr bei der Wicklungsauslegung entsprechend berücksichtigt werden. Der Trommelmantel wird mit ausgeprägten, jedoch nicht scharfkantigen Riefen gedreht und hat in der Mitte der Trommellänge seinen größten Durchmesser, sodass das Band möglichst gut mitgenommen und mittig geführt wird.

IV BETRIEBSARTEN

19 Einteilung der Betriebsarten

Abgesehen von speziellen Antrieben (z. B. Hebezeuge) sind listenmäßige Motoren stets für Dauerbetrieb bemessen. Wird der Antrieb mit hoher Schalthäufigkeit betrieben, so kann dies die Wahl eines vergrößerten Motormodells in Sonderauslegung erforderlich machen, während umgekehrt bei ausgesprochenem Kurzzeitbetrieb oft ein wesentlich kleineres Modell gewählt werden kann. **Es ist deshalb technisch erforderlich oder wirtschaftlich vorteilhaft, dem Motorhersteller jede vom Dauerbetrieb abweichende Betriebsart anzugeben.** Die zunehmende Automatisierung von Fertigungsabläufen brachte es mit sich, dass elektrische Antriebe immer häufiger im Taktbetrieb oder zur Positionierung, also im Schalt- und Bremsbetrieb, eingesetzt werden. Für eine klare Beschreibung der thermischen Belastung des Antriebs mussten daher die bewährten Begriffe wie »Dauerbetrieb«, »Aussetzbetrieb« oder »Kurzzeitbetrieb« durch zusätzliche Definitionen ergänzt werden. Für die Beschreibung der »Betriebsart« in der international harmonisierten Fassung von IEC 60034-1 und EN 60034-1 werden 13 A4-Seiten benötigt. Er wird nachstehend auszugsweise wiedergegeben, soweit dies für einen raschen Überblick notwendig erscheint. Die schematischen Diagramme und die Kurzzeichen für die Größen wurden gegenüber der Norm abgeändert, um die Darstellung besser lesbar zu machen.

19.1 Begriffe

- Betrieb**
Festlegung der Belastung der Maschine, einschließlich – soweit zutreffend – Anlauf, elektrisches Bremsen, Leerlauf und Pausen sowie deren Dauer und zeitlicher Reihenfolge.
- Betriebsart**
Dauerbetrieb, Kurzzeitbetrieb oder periodischer Betrieb, der durch eine oder mehrere Belastungen gekennzeichnet ist und während einer bestimmten Dauer unverändert bleibt, oder nichtperiodischer Betrieb, bei dem sich i. A. Belastung und Drehzahl innerhalb des zulässigen Betriebsbereiches ändern.
- Pause**
Stillstand der Maschine ohne Zufuhr elektrischer Energie und ohne mechanischen Antrieb.
- Relative Einschaltdauer**
Verhältnis von Betriebszeit unter Belastung – einschließlich Anlaufzeit und Bremszeit – zur Spieldauer, in Prozent ausgedrückt.

19.2 Angabe des Betriebes

Es liegt in der Verantwortung des Käufers, den Betrieb anzugeben. Die Betriebsart darf durch eine Abkürzung gekennzeichnet werden. Die festgelegten Kennzeichnungen müssen hinter den Belastungswert geschrieben werden. Wenn der Käufer keinen Betrieb angibt, muss der Hersteller annehmen, dass Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) gilt.

19.3 Betriebsarten nach Norm

Erläuterung der Abkürzungen in der nachfolgenden Tabelle:

M	Belastung	t_N	Betriebszeit mit konstanter Belastung
V	elektrische Verluste (P_V)	t_{Br}	Zeit mit elektrischer Bremsung
t	Zeit	t₀	Stillstand mit stromlosen Wicklungen
t_{cyc}	Spieldauer	Relative Einschaltdauer = $(t_a + t_N + t_{Br}) / t_{cyc}$	
t_a	Anlaufzeit		

Frühere Bezeichnung Vereinfachtes Schema	Kurzzeichen und Definition nach Norm
DB — Dauerbetrieb	S1
	Dauerbetrieb Betrieb mit einer konstanten Belastung, die so lange ansteht, dass die Maschine den thermischen Beharrungszustand erreichen kann. Die entsprechende Kennzeichnung ist S1 oder DB.
KB — Kurzzeitbetrieb	S2
	Kurzzeitbetrieb Betrieb mit konstanter Belastung, dessen Dauer nicht ausreicht, den thermischen Beharrungszustand zu erreichen, und einer nachfolgenden Zeit im Stillstand mit stromlosen Wicklungen von solcher Dauer, dass die wieder abgesunkenen Maschinentemperaturen nur noch weniger als 2 K von der Temperatur des Kühlmittels abweichen. Beispiel: S2 — 10 min
AB — Aussetzbetrieb	S3
	Periodischer Aussetzbetrieb Ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine Betriebszeit mit konstanter Belastung und eine Stillstandszeit mit stromlosen Wicklungen umfasst, wobei der Anlaufstrom die Übertemperatur nicht merklich beeinflusst. Die Kennzeichnung ist S3, ergänzt durch die relative Einschaltdauer. Beispiel: S3 — 25 %

<p>ASB – Aussetz Schaltbetrieb</p>	<p>S4</p>
	<p>Periodischer Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufvorgangs Ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine merkliche Anlaufzeit, eine Betriebszeit mit konstanter Belastung und eine Stillstandszeit mit stromlosen Wicklungen umfasst. Die entsprechende Kennzeichnung ist S4, ergänzt durch die relative Einschaltdauer, das Massenträgheitsmoment des Motors (J_M) und das Massenträgheitsmoment der Belastungsmaschine (J_{ext}), beide auf die Motorwelle bezogen. Beispiel: S4 — 25 % $J_M = 0,15 \text{ kgm}^2$</p>
	<p>S5</p>
	<p>Periodischer Aussetzbetrieb mit elektrischer Bremsung Ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine Anlaufzeit, eine Betriebszeit mit konstanter Belastung, eine Zeit mit schneller, elektrischer Bremsung und eine Stillstandszeit mit stromlosen Wicklungen umfasst. Die entsprechende Kennzeichnung ist S5, ergänzt durch die relative Einschaltdauer, das Massenträgheitsmoment des Motors (J_M) und das Massenträgheitsmoment der Belastungsmaschine (J_{ext}), beide auf die Motorwelle bezogen. Beispiel: S5 — 25 % $J_M = 0,15 \text{ kgm}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kgm}^2$</p>
	<p>S6</p>
	<p>Ununterbrochener periodischer Betrieb Ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine Betriebszeit mit konstanter Belastung und eine Leerlaufzeit umfasst. Es tritt keine Stillstandszeit mit stromlosen Wicklungen auf. Die entsprechende Kennzeichnung ist S6, ergänzt durch die relative Einschaltdauer. Beispiel: S6 — 40 % (vgl. auch Betriebsart S3 mit stromlosen Pausen)</p>

<p>DSB — Durchlauf-Schaltbetrieb</p>	<p>S7</p>
	<p>Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung</p> <p>Ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine Anlaufzeit, eine Betriebszeit mit konstanter Belastung und eine Zeit mit elektrischer Bremsung umfasst. Es tritt keine Stillstandszeit mit stromlosen Wicklungen auf. Die entsprechende Kennzeichnung ist S7, ergänzt durch das Massenträgheitsmoment des Motors (J_M) und das Massenträgheitsmoment der Belastungsmaschine (J_{ext}), beide auf die Motorwelle bezogen.</p> <p>Beispiel: S7 — $J_M = 0,4 \text{ kgm}^2$ $J_{ext} = 7,5 \text{ kgm}^2$ Relative Einschaltdauer = 1</p>
	<p>S8</p>
	<p>Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Last- / Drehzahländerungen</p> <p>Ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt; jedes dieser Spiele umfasst eine Betriebszeit mit konstanter Belastung und bestimmter Drehzahl und anschließend eine oder mehrere Betriebszeiten mit anderen konstanten Belastungen entsprechend den unterschiedlichen Drehzahlen. (Dies wird beispielsweise durch Polumschaltung von Induktionsmotoren erreicht.) Es tritt keine Stillstandszeit mit stromlosen Wicklungen auf.</p> <p>Die entsprechende Kennzeichnung ist S8, ergänzt durch das Massenträgheitsmoment des Motors (J_M) und das Massenträgheitsmoment der Belastungsmaschine (J_{ext}), beide auf die Motorwelle bezogen, sowie die Belastung, die Drehzahl und die relative Einschaltdauer für jede infrage kommende Drehzahl.</p> <p>Beispiel: S8 — $J_M = 0,5 \text{ kgm}^2$ $J_{ext} = 6 \text{ kgm}^2$ 16 kW 740 r/min 30 % / 40 kW 1460 r/min 30 %</p>

Bei den periodischen Betriebsarten (S3 ... S8) beträgt die genormte Spielzeit 10 min (Abschnitt 5.4 in DIN EN 60034-1).

	<p>S9</p> <p>Betrieb mit nichtperiodischen Last- und Drehzahländerungen Ein Betrieb, bei dem sich i. A. Belastung und Drehzahl innerhalb des zulässigen Betriebsbereichs nichtperiodisch ändern. Bei diesem Betrieb treten häufig Überlastungen auf, die weit über der Vollast liegen dürfen. Die entsprechende Kennzeichnung ist S9. Für diese Betriebsart wird eine konstante Belastung entsprechend Betriebsart S1 als Referenzwert (M_{ref}) für die Überlastung passend ausgewählt.</p>
	<p>S10</p> <p>Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen Ein Betrieb, der nicht mehr als vier einzelne Belastungswerte (oder gleichwertige Belastungen) enthält, von denen jeder einzelne über eine ausreichende Zeit aufrecht erhalten bleibt, die es der Maschine erlaubt, den thermischen Beharrungszustand zu erreichen. Die kleinste Belastung innerhalb eines Betriebsspiels darf den Wert Null besitzen (Leerlauf oder Stillstand mit stromlosen Wicklungen).</p> <p>Die entsprechende Kennzeichnung ist S10, ergänzt durch die bezogene Größe $p/\Delta t$ für die jeweilige Belastung und ihre Einwirkdauer sowie die bezogene Größe TL für die relative thermische Lebenserwartung des Isoliersystems. Der Bezugswert für die thermische Lebenserwartung ist die thermische Lebenserwartung bei Bemessung für Dauerbetrieb und mit den zulässigen Grenzwerten der Übertemperatur entsprechend Betriebsart S1. Für eine Zeit im Stillstand mit stromlosen Wicklungen muss die Belastung durch den Buchstaben r gekennzeichnet sein.</p> <p>Beispiel: S10 $p/\Delta t = 1,1/0,4, 1/0,3, 0,9/0,2, r/0,1, TL = 0,6$</p> <p>Der Zahlenwert von TL sollte auf 0,05 gerundet werden.</p> <p>Für diese Betriebsart muss eine konstante Belastung entsprechend Betriebsart S1 als Referenzwert für die einzelnen Belastungen passend ausgewählt werden.</p> <p>ANMERKUNG: Die einzelnen Lastwerte stellen üblicherweise einen gleichwertigen Dauerbetrieb dar, welcher auf der Integration über eine bestimmte Zeitspanne basiert. Es ist nicht erforderlich, dass alle Lastspiele exakt gleich sind; allerdings muss jede Belastung innerhalb eines Spiels so lange aufrecht erhalten werden, dass thermische Beharrung erreicht wird, und jedes Lastspiel muss integral auf die gleiche relative thermische Lebenserwartung führen.</p>

20 Dauerbetrieb S1

Beim Dauerbetrieb wird definitionsgemäß der **thermische Beharrungszustand** erreicht – dazu werden je nach Größe und Belüftung des Motors mindestens 1 ... 6 h benötigt (s. Teil VII). Elektromotoren und Getriebemotoren werden üblicherweise für Dauerbetrieb S1 bemessen und angeboten, obwohl diese Betriebsweise bei vielen Anwendungsgebieten – vor allem aber in der Fördertechnik – nicht typisch ist.

Danfoss Bauer bietet daher auf der Katalog-CD wahlweise zu S1 die Betriebsarten S3-60% und S6-60% an, die bei gleicher Getriebegröße – also gleicher mechanischer Sicherheit – und einer angepassten Motorgröße teilweise erhebliche Preisvorteile bieten (**Bild 20.1**). Die Betriebsart S6-60 % liegt häufig vor, wenn ein Fördersystem diskontinuierlich oder manuell beschickt wird (**Bild 20.2**).

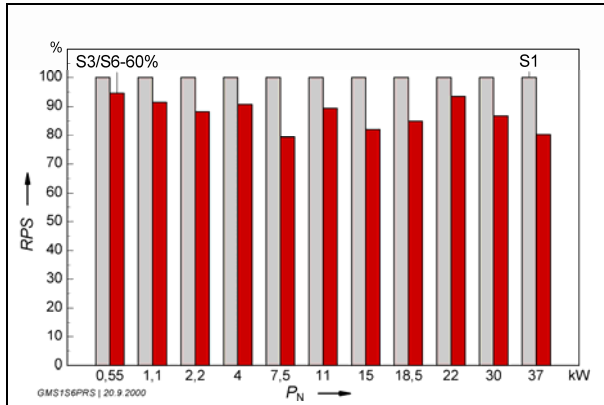


Bild 20.1
Preisvergleich (RPS) bei
Getriebemotoren mit
Bemessungsleistungen
 P_N und Drehzahl etwa
100 r/min, BF = 1

S1
für Dauerbetrieb
S3/S6-60 %
für Aussetzbetrieb oder
Durchlaufbetrieb mit
aussetzender Belastung
60 % ED

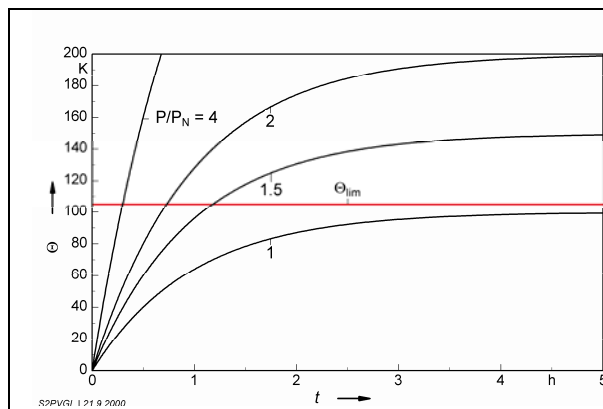


Bild 20.2
Anwendungsbeispiel für
die Betriebsart S6-60 %:
Trommelmotor
zum Abtransport
des diskontinuierlich
geförderten Aushubs
eines Schwimmbaggers

21 Kurzzeitbetrieb S2

In **Bild 21** ist schematisch gezeigt, wie die Wicklungserwärmung bei erhöhter relativer Belastung $P/P_N = 1 / 1,5 / 2 / 4$ ansteigen würde. Bei höherer Belastung (Verlustwärme) würde sich im Dauerbetrieb S1 eine höhere End-Übertemperatur Θ_{\max} einstellen; der Erwärmungsanstieg muss daher durch eine Begrenzung der Zeit in den zulässigen Grenzen gehalten werden. Das Diagramm zeigt, dass die zulässige Betriebszeit bei S2 umso kürzer ist, je mehr die Maschine überlastet wird.

Bild 21
Änderung des
Temperaturanstiegs bei
verschiedenen relativen
Auslastungsgraden
 $P/P_N = 1, 1,5, 2$ und 4
 Θ_{\lim} - Grenz-
Übertemperatur für
Wärmeklasse F



Die **Leistungssteigerung** bei kürzer werdenden S2-Zeiten findet im maximal erreichbaren Drehmoment seine natürliche Grenze. Relativ kleine Maschinen (z. B. unter 1 kW) haben meist relativ niedrige Kippmomente und hohen Bemessungsschlupf; ihre S2-Ausnutzung kann auch mit einer »härteren« Wicklungsauslegung (höhere Flussdichte) nicht sehr weit gesteigert werden. Die magnetische Sättigung setzt hier Grenzen. Mittlere und größere Maschinen bringen schon in der S1-Auslegung relativ hohe Kippmomente und können daher in der Betriebsart S2 entsprechend hoch überlastet werden. Mit Sonderwicklungen (höherer Flussdichte) kann der **Ausnutzungsfaktor** bis etwa 2 gesteigert werden.

Die folgenden Faktoren stellen einen Richtwert für 4polige Motoren dar, der je nach Auslegung auch andere Werte aufweisen kann.

Motor Typ	D05 ... D08	D09 ... D11	D13 ... D18	DNF22 ... DNF28
S2 – 5 min	1,6	2,0	2,3	2,3
S2 – 10 min	1,25	1,6	1,7	2,2
S2 – 30 min	1,03	1,15	1,25	1,4
S2 – 60 min	1,0	1,1	1,1	1,15

Markierte Felder : mit Sonderwicklung

22 Aussetzbetrieb S3 und Durchlaufbetrieb mit Aussetzbelastung S6

Für den Faktor der Leistungssteigerung f_{Sx} bei reduzierter Einschaltdauer ED wird üblicherweise genannt:

bei S3: $f_{S3} = \sqrt[3]{\frac{100}{ED}}$

bei S6: $f_{S6} = \sqrt{\frac{100}{ED}}$

Es ergeben sich relativ hohe S3/S6-Leistungen, die üblicherweise nicht voll ausgenutzt werden. Die Tabelle enthält Richtwerte für 4polige Motoren, die sich je nach Auslegung ändern können. Bei S6 begrenzt die sättigungsbedingte Leerlauf-erwärmung eine Steigerung des Kippmoments und damit der Bemessungsleistung.

Motor Typ ⇒	D04 ... D08		D09 ... DNF280	
↓ ED	S3	S6	S3	S6
15 %	1,6	1,3	1,8	2
25 %	1,5	1,3	1,6	1,8
40 %	1,3	1,3	1,4	1,6
60 %	1,2	1,3	1,2	1,3

Markierte Felder: mit Sonderwicklung

Bei den Betriebsarten S2, S3 und S6 stellt der Strom allein kein Maß für die Erwärmung dar; stromabhängig thermisch verzögerte Bimetallrelais sind daher lediglich als Schutz bei Blockierung mit festgebremstem Läufer geeignet. Es muss die **Betriebszeit** oder die **Wicklungstemperatur** überwacht werden.

Bei der Betriebsart S2 ist häufig die Laufzeit auf natürliche Weise begrenzt: Fabrikto-re, Rollläden, Hebezeuge sind Beispiele für solche Anwendungen.

In anderen Fällen müssen die Laufzeit und die Dauer der anschließenden Pause überwacht werden. Der thermische Motorschutz (TMS) mit Thermistoren ist eine andere, sichere Methode.

Bei den Betriebsarten S3 und S6 wird die Zeitüberwachung zu kompliziert; hier bietet sich der **Schutz durch TMS** an.

23 Aussetz-Schaltbetrieb S4

Diese Betriebsart erfordert eine Nachrechnung unter Berücksichtigung von

- relativer Einschaltdauer
- Zahl und Art der Schaltvorgänge (z. B. Anlauf, Reversierung, Polumschaltung)
- Massenträgheitsmoment (FI)
- Gegenmoment beim Hochlauf
- Auslastung im stationären Betrieb.

Ausführliche Darstellung im Danfoss-Bauer-Buch "Anlaufen, Bremsen, Positionieren mit Drehstrom-Asynchronmotoren".



Bild 23.1
Anwendungsbeispiel für Getriebemotoren im Aussetz-Schaltbetrieb S4:
Fahrwerk, Drehwerk und Hubwerk an einem Turmdrehkran

Leerseite für Notizen

V NORMEN FÜR MOTORAUSFÜHRUNGEN

24 Schutzart (IP-Code)

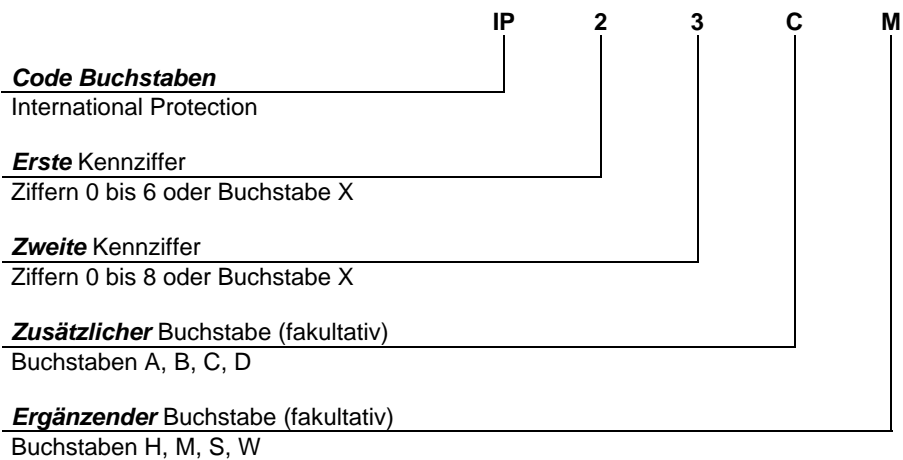
Die Europäische Norm EN 60529 ist die Weiterentwicklung eines Bezeichnungssystems, das 1934 in Deutschland eingeführt und dann in verschiedene nationale und internationale Normen übernommen wurde. **Ausführliche Darstellung im Sonderdruck SD 1.. "IP-Schutzarten bei Getriebemotoren" und im Danfoss-Bauer-Buch "Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren".**

24.1 Bezeichnung der Normen

Internationaler Standard IEC 60529 (2001), Ausgabe 2.1
 Europäische Norm EN 60529 : 1991 + A1 : 2000
 Deutsche Norm DIN EN 60529 (VDE 0470 Teil 1) : 2000

24.2 Anordnung des IP-Code

Alphanumerisches Kurzzeichen für die Schutzart durch ein Gehäuse:



Wo eine Kennziffer nicht angegeben werden muss, ist sie durch den Buchstaben X zu ersetzen. Zusätzliche Buchstaben und / oder ergänzende Buchstaben dürfen ersatzlos weggelassen werden. Wenn mehr als ein ergänzender Buchstabe verwendet wird, ist die alphabetische Reihenfolge einzuhalten.

Hat ein Gehäuse unterschiedliche Schutzarten für unterschiedlich vorgesehene Montageanordnungen, so müssen die betreffenden Schutzarten vom Hersteller in den Anleitungen, die den jeweiligen Montageanordnungen zugeordnet sind, angegeben werden.

24.3 Bedeutung des IP-Code

Bestandteil	Ziffern oder Buch- staben	Bedeutung für den Schutz des Betriebsmittels	Bedeutung für den Schutz von Personen
Code	Buchstaben	IP	-
Erste Kennziffer	0 1 2 3 4 5 6	gegen Eindringen von festen Fremdkörpern (nicht geschützt) ≥ 50 mm Durchmesser ≥ 12,5 mm Durchmesser ≥ 2,5 mm Durchmesser ≥ 1,0 mm Durchmesser staubgeschützt staubdicht	gegen Berühren von gefährlichen Teilen mit (nicht geschützt) Handrücken Finger Werkzeug Draht Draht Draht
Zweite Kennziffer	0 1 2 3 4 5 6 7 8	gegen Eindringen von Wasser mit schädlichen Wirkungen (nicht geschützt) senkrecht Tropfen Tropfen (15 ° Neigung) Sprühwasser Spritzwasser Strahlwasser starkes Strahlwasser zeitweiliges Untertauchen dauerndes Untertauchen	- - - - - - - - -
Zusätzlicher Buchstabe (fakultativ)	A B C D	- - - -	gegen Berühren von gefährlichen Teilen mit Handrücken Finger Werkzeug Draht
Ergänzender Buchstabe (fakultativ)	H M S W	ergänzende Information speziell für Hochspannungsgeräte Bewegung bei Wasserprüfung Stillstand bei Wasserprüfung Wetterbedingungen	- - - -

24.4 Fakultativer Zusatzbuchstabe für den Berührungsschutz

In der ersten Fassung der IEC 60529 und in DIN 40050 war die Einhaltung eines hohen Berührungsschutzgrades an eine entsprechend **kleine Öffnungsweite**, also an einen hohen Fremdkörperschutzgrad, gekoppelt. Diese Festlegung war eine unnötige Erschwerung für in sauberen Räumen aufzustellende Betriebsmittel, die große Belüftungsöffnungen benötigen und die durch entsprechende Abstände der inneren, unter Spannung stehenden Teile berührungssicher sind.

Die Neufassung gibt die Möglichkeit, diesen **Berührungsschutz durch Abstände oder Abdeckungen** in Form der Zusatzbuchstaben A, B, C oder D auszuweisen. Dieser Zusatzbuchstabe kann wahlweise verwendet werden, wenn der Berührungsschutz höher ist, als es durch die erste Kennziffer angezeigt wird, oder wenn auf die Angabe des Fremdkörperschutzes verzichtet wird. Es bleibt den einzelnen Normengremien vorbehalten, ob sie in ihren Produktnormen von dieser Erweiterung der Kennziffer für die IP-Schutzart Gebrauch machen wollen oder nicht.

Die für Schutzarten elektrischer Maschinen zuständigen nationalen und internationalen Gremien haben sich gegen die Einführung dieses Zusatzbuchstabens in ihrer Produktnorm – also in DIN EN 60034-5 (VDE 0530 Teil 5) und in IEC 60034-5 – entschieden: **Bei elektrischen Maschinen wird der Berührungsschutz überwiegend durch eine Begrenzung der Öffnungsweiten erreicht und kann deshalb mit der ersten Kennziffer im Rahmen eines IP-Code mit zwei Ziffern beschrieben werden.** Auch andere Fachbereiche haben von der Option Zusatzbuchstaben kaum Gebrauch gemacht.

24.5 Häufig verwendete Schutzarten bei elektrischen Maschinen

Aus der Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten der Schutzgrade für den Berührungs- und Wasserschutz haben sich in der Praxis eine Reihe von typischen Kombinationen eingebürgert. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über häufig verwendete IP-Schutzarten (vgl. Anhang A aus der früher gültigen DIN VDE 0530 Teil 5 / EN 60034 Teil 5). In der Neufassung DIN EN 60034-5 (VDE 0530 Teil 5) ist auch der konstruktiv aufwändige Staubschutzgrad IP6X vorgesehen.

2.Kennziffer ⇒	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1.Kennziffer ↓									
0									
1			IP12						
2		IP21	IP22	IP23					
3									
4					IP44				
5					IP54	IP55			
6						IP65	IP66		IP68

25 Kühlverfahren (IC-Code)

Neben dem »IP-Code« für die Schutzart und dem »IM-Code« für Bauform und Aufstellung bezeichnet ein neuer »IC-Code« die Kühlverfahren. Diese Angabe ist für eine bestimmungsgemäße Verwendung sicherheitstechnisch so relevant, dass Planer und Anwender von elektrischen Maschinen dem IC-Code in der Dokumentation und auf dem Leistungsschild begegnen werden.

25.1 Ursprung des Bezeichnungssystems

Schon in der ersten Norm VDE 50 für die "Kurzzeichen für Schutzarten elektrischer Maschinen" aus dem Jahr 1934 (!) wurde der enge Zusammenhang zwischen Schutzart und Kühlmethode erkannt und im Prinzipbild (**Bild 25.1**) einer Maschine mit Zu- und Abluftkanälen (Rohranschluss) dargestellt.

Diese Schutz- und Kühllart bezeichnete man jahrzehntelang als IP33R.

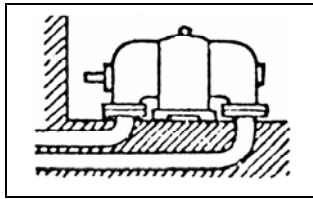


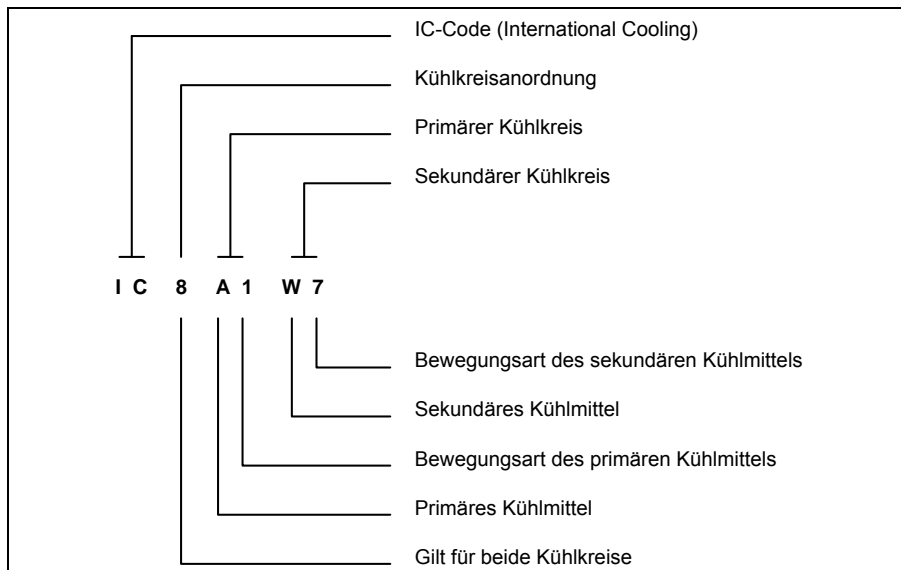
Bild 25.1
Prinzipdarstellung einer durchzugbelüfteten
Maschine mit Rohranschluss für Zu- und Abluft

Schutzart IP33R nach VDE 50,
Ausgabe November 1934

Ende der 80er Jahre begannen dann im IEC SC 2H unter maßgebender deutscher Beteiligung die Arbeiten an einer Revision des Systems, die schließlich im Oktober 1991 zu einer zweiten Ausgabe des IEC-Standards führten:

- IEC 60034-6
Rotating electrical machines
Part 6 : Methods of cooling (IC Code)
Die sachlich unveränderte Übersetzung erschien im November 1993 als
Europannorm
- EN 60034-6 : 1991
Diese Norm wurde im August 1996 in das deutsche Normenwerk übernommen
als
- DIN EN 60034-6 (VDE 0530 Teil 6)
Drehende elektrische Maschinen
Teil 6 : Einteilung der Kühlverfahren (IC-Code)

25.2 Ausführliches Bezeichnungssystem



25.3 Vereinfachtes Bezeichnungssystem

Die Norm sieht ein vereinfachtes Bezeichnungssystem vor; in diesem kann entfallen:

- Kennbuchstabe A für das häufig benutzte Kühlmittel Luft
- Kennziffer 7 für die häufig benutzte Bewegungsart des Kühlmittels Wasser im Sekundärkreis durch getrennte, unabhängige Baugruppe.

Das obige Beispiel reduziert sich dann zu **IC 81 W**.

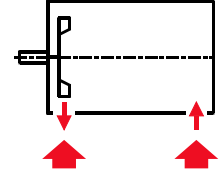
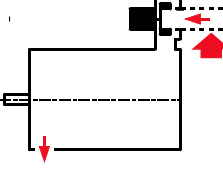
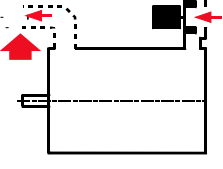
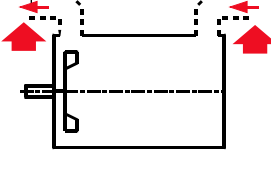
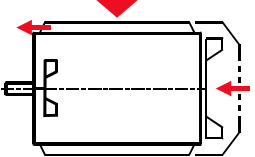
Bei der Mehrzahl der kleinen und mittleren Maschinen wird Luft als primäres und als sekundäres Kühlmittel verwendet: Bei einer geschlossenen, oberflächenbelüfteten Maschine für den inneren Luftumlauf und für die äußere, meist axiale Luftströmung. In diesem Fall verkürzt sich die ausführliche Bezeichnung IC 4A1A1 zu IC 411. Die vereinfachte, in der Praxis meist anzutreffende Bezeichnung ist erkenntlich an der Folge von zwei oder drei Kennziffern (ohne Buchstaben) oder an einem Kennbuchstaben am Ende der Bezeichnung.

25.4 Kennziffer für Kühlkreisordnung

Kennziffer	Kurzbezeichnung	Beispiel
0	freier Kühlkreis	Durchzugbelüftung
1	Kühlkreis mit Zuführung über Rohr oder Kanal	Durchzugbelüftung mit Zuführung über Rohr
2	Kühlkreis mit Abführung über Rohr oder Kanal	Durchzugbelüftung mit Abführung über Rohr
3	Kühlkreis mit Zu- und Abführung über Rohre oder Kanäle	Durchzugbelüftung mit Zu- und Abführung über Rohr
4	Oberflächenbelüftung	Oberflächenbelüftung Rippen zur verbesserten Wärmeübertragung
5	eingebauter Wärmetauscher (umgebendes Kühlmittel)	Oberflächenbelüftung eingebauter Wärmetauscher zur verbesserten Wärmeübertragung
6	angebauter Wärmetauscher (umgebendes Kühlmittel)	Oberflächenbelüftung angebauter Wärmetauscher zur verbesserten Wärmeübertragung
7	eingebauter Wärmetauscher (zugeführtes Kühlmittel)	Wasserkühlung eingebauter Wärmetauscher
8	angebauter Wärmetauscher (zugeführtes Kühlmittel)	Wasserkühlung angebauter Wärmetauscher
9	getrennt angeordneter Wärmetauscher (umgebendes oder nicht umgebendes Kühlmittel)	Wasserkühlung getrennter Wärmetauscher

Die Kennziffer für die Kühlkreisordnung ergibt sich also aus dem Konstruktionsprinzip der Maschine. Für kleinere und mittlere Maschinen kommen hauptsächlich die Kennziffern 0 ... 4 zur Anwendung.

In der nachfolgenden Tabelle sind die für diese ersten Kennziffern relevanten Merkmale symbolisch deutlich gemacht.

Kennziffer für die Kühlkreisordnung	Häufig verwendete Ausführung
IC0X	
IC1X	
IC2X	
IC3X	
IC4X	

Häufig vorkommende Ausführungsarten der Kühlkreisordnung
(Merkmal durch Pfeil ↓ markiert)

25.5 Kennbuchstabe für das Kühlmittel

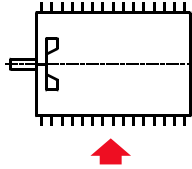
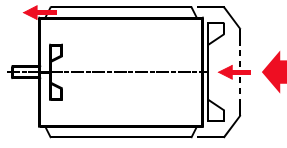
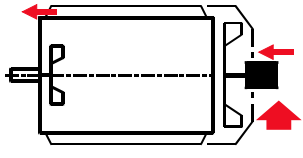
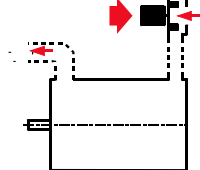
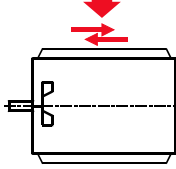
Kennbuchstabe	Kühlmittel	abgeleitet von
A	Luft	<u>A</u> ir
F	Frigen	-
H	Wasserstoff	<u>H</u> ydrogen
N	Stickstoff	<u>N</u> itrogen
C	Kohlendioxid	<u>C</u> arbon dioxide
W	Wasser	-
U	Öl	<u>H</u> uile
S	jedliches andere Kühlmittel (im Klartext)	-
Y	noch nicht bestimmt (z. B. im Planungsstadium, später durch endgültiges Kühlmittel zu ersetzen)	-

In der vereinfachten Bezeichnung kann der Kennbuchstabe A weggelassen werden.

25.6 Kennziffer für Bewegungsart des Kühlmittels

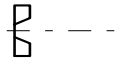
Kennziffer	Kurzbezeichnung	Beispiel
0	freie Kühlung	freie Konvektion durch Temperaturdifferenz
1	Eigenkühlung	Eigenbelüftung durch Ventilator mit Drehzahl der Hauptmaschine
2, 3, 4		freigehalten für zukünftige Verwendung
5	eingebaute, unabhängige Baugruppe	Eingebauter Fremdlüfter mit eigenem elektrischem Antrieb
6	angebaute, unabhängige Baugruppe	angebauter Fremdlüfter mit eigenem elektrischem Antrieb
7	getrennte, unabhängige Baugruppe oder Kühlmittel-Betriebsdruck	getrennter Fremdlüfter, z. B. gemeinsame Luftzufuhr für mehrere Maschinen
8	Antrieb durch relative Bewegung	Fahrmotor
9	Antrieb durch sonstige Bewegungsarten	

Für die Bewegungsart des Kühlmittels sind folgende Beispiele besonders häufig oder typisch
 (Merkmale durch Pfeil ↓ markiert):

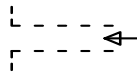
Kennziffer für die Bewegungsart	Häufig verwendete Ausführung
ICX0	
ICX1	
ICX6	
ICX7	
ICX8	

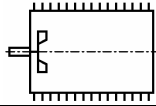
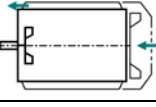
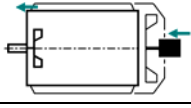
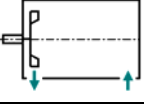
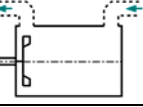
25.7 Allgemein gebräuchliche Bezeichnungen

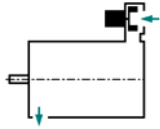
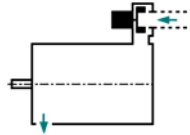
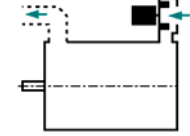

In einer Auswahltabelle werden einige der gebräuchlichen Kühlmethoden mit ihrem neu festgelegten IC-Code gezeigt. Als »Übersetzungshilfe« ist der veraltete Code nach der 1. Ausgabe von IEC 34-6 zusätzlich aufgeführt. In Anlehnung an IEC 60034-6 verwendet man dabei folgende Symbole:

 eingebauter oder angebauter, abhängiger Lüfter

 unabhängige Antriebsgruppe (Lüfteraggregat)

 Rohr oder Kanal, nicht Teil der Maschine

IC-Code nach IEC 60034-6 2. Ausgabe		Prinzipbild	Code nach IEC34-6 1. Ausgabe
vereinfacht	vollständig		(veraltet)
IC 410	IC 4A1A0		IC 40
IC 411	IC 4A1A1		IC 41
IC 416	IC 4A1A6		IC 46
IC 01	IC 0A1		IC 01
IC 31	IC 3A1		IC 31

IC 06	IC 0A6		IC 06
IC 16	IC 1A6		IC 16
IC 26	IC 2A6		IC 26
IC 36	IC 3A6		IC 36

Auswahltabelle für häufig benutzte IC-Kühlmethoden elektrischer Maschinen

25.8 Kennzeichnung auf dem Leistungsschild

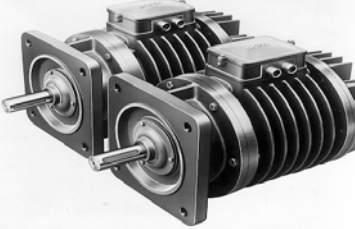

Derzeit gibt es noch keine Festlegung (z. B. in IEC 60034-1 oder EN 60034-1), die eine IC-Kennzeichnung auf dem Leistungsschild vorschreibt. Bei bestimmten Kühlmethoden kann es jedoch notwendig sein, durch geeignete Angabe des IC-Codes zu dokumentieren, dass bei Errichtung und Anschluss der Maschine zusätzliche Maßnahmen in der Anlage erforderlich sind. Dies gilt beispielsweise für Maschinen mit Rohranschlüssen oder wenn obligatorische Komponenten (z. B. Lüfteraggregate) getrennt mitgeliefert werden. Je nach Kühlmethode kann es nötig sein, weitere technische Daten (z. B. Kühlmittel-Volumenstrom, Druckabfall in der Maschine) zumindest in der zugehörigen Dokumentation anzugeben.

Da eine »bestimmungsgemäße Verwendung« nur bei entsprechender Instruktion möglich ist und dem Hersteller bzw. Errichter aus der Produkthaftung gewisse Verpflichtungen erwachsen, wird der IC-Code zunächst in Unterlagen, wie Kataloge, Aufstellungs- und Betriebsanleitungen, einfließen und sicher bald auch auf dem Leistungsschild zu finden sein – sei es auch nur als Vorgriff auf eine vermutlich zu erwartende Festlegung in VDE-Bestimmungen oder Normen.

25.9 Zusammenfassung

Mit dem IC-Code für die Kühlmethoden umlaufender elektrischer Maschinen nach DIN IEC 60034-6 steht ein einfaches Verständigungsmittel zwischen Hersteller einerseits und Planer oder Betreiber andererseits zur Verfügung. Der Code wird nach einer unvermeidlichen Eingewöhnungszeit sicher bald zum Sprachgebrauch des Elektromaschinenbauers und Anwenders elektrischer Maschinen gehören. Die Tabellen und Erläuterungen in dieser Abhandlung sind auf die in der Praxis üblichen Ausführungsarten gekürzt – sie sollen und können das Studium der vollständigen Norm nicht ersetzen.

25.10 Beispiele von gelieferten Antrieben

IC410		Bild 25.10.1 unbelüftet vollkommen geschlossen Drehstrom-Rollgangmotor
IC411		Bild 25.10.2 eigenbelüftet vollkommen geschlossen Drehstrom-Käfigläufermotor mit angebautem Kegelartrieb
IC416		Bild 25.10.3 fremdbelüftet vollkommen geschlossen Drehstrom- Käfigläufermotor mit angebautem Stirnradgetriebe
IC06		Bild 25.10.4 fremdbelüftet offen, durchzugbelüftet Gleichstrom-Nebenschlussmotor mit angebautem Stirnradgetriebe

26 Aufstellung (IM-Code)

Eine der wichtigen Grundnormen für den Elektromaschinenbau ist im Juni 1996 neu erschienen als

DIN EN 60034-7 (VDE 0530 - 7)

Drehende elektrische Maschinen –Klassifizierung der Bauarten, der Aufstellungsarten und der Klemmenkasten-Lage (IM-Code).

Für die Bauformen elektrischer Maschinen gab es in Deutschland schon 1924 mit VDE 2950 die ersten Festlegungen. Über DIN 42950 wurde das in vielen Ländern akzeptierte und benutzte Kurzzeichen im Jahr 1972 als »Code I« in die internationale Norm IEC 60034-7 übernommen. Ein ausführlicher, systematisch angelegter »Code II« hat sich bisher noch nicht allgemein durchgesetzt. Die neue Norm beruht auf

- IEC 60034-7 2. Ausgabe (1992) Rotating electrical machines Part 7 : Classification of types of construction and mounting arrangements (IM Code)**
- Deutsche Version der Europäische Norm EN 60034-7 : 1993**

Zur Anwendung der IM-Kennzeichnung auf Leistungsschildern von Maschinen sind zurzeit keine Festlegungen in IEC 60034-1 oder DIN EN 60034-1 (VDE 0530 - 1) enthalten. Die Bauform muss jedoch zur Definition des »bestimmungsgemäßen Gebrauchs« in geeigneter Weise dokumentiert werden. Dies sollte vorzugsweise auf dem Leistungsschild erfolgen, zumindest in der begleitenden Dokumentation.

Schon in der vorangegangenen Norm wurden die Begriffe »Bauform« und »Aufstellung« voneinander abgegrenzt, weil sich die Norm einerseits mit konstruktiven Merkmalen (Bauformen, wie Fuß, Flansch, Stehlager) befasst und andererseits eine Maschine gleicher »Bauform« in verschiedenen »Aufstellungen«, wie B3, B6, B7, V5, V6 verwendet werden kann.

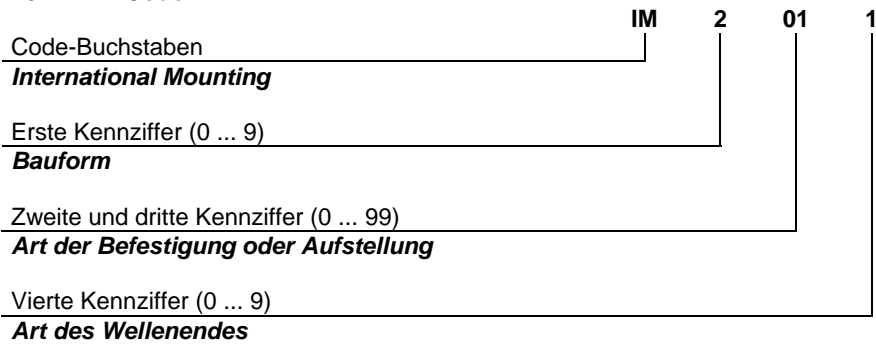
Diese Unterscheidung sollte auch in den allgemeinen Sprachgebrauch übernommen werden.

26.1 Aufbau des Kennzeichens

26.1.1 DIN 42950 (überholt) sowie Code I in den gültigen Normen

- A - Maschinen ohne Lager, waagrechte Anordnung (überholt)
- B - Maschinen mit Lagerschilden, waagrechte Anordnung**
- C - Maschinen mit Lagerschilden und Stehlagern, waagrechte Anordnung (überholt)
- D - Maschinen mit Stehlagern, waagrechte Anordnung (überholt)
- V - Maschinen mit Lagerschilden, senkrechte Anordnung**
- W - Maschinen ohne Lagerschilden, senkrechte Anordnung (überholt)

26.1.2 Code II



26.1.3 Bedeutung der ersten Kennziffer im Code II

Die Bedeutung der zweiten und dritten Ziffer ist abhängig von der jeweiligen ersten Ziffer; d. h. wechselnde Logik von Tabelle zu Tabelle.

- 0 - (nicht bestimmt)
- 1 - Maschinen für Fußanbau, nur mit Schildlager(n)
- 2 - Maschinen für Fuß- und Flanschanbau, nur mit Schildlager(n)
- 3 - Maschinen für Flanschanbau, nur mit Schildlager(n), mit Flansch als Teil des Lagerschildes
- 4 - Maschinen für Flanschanbau, nur mit Schildlager(n), mit Flansch nicht als Teil des Lagerschildes, sondern als Teil des Gehäuses oder eines anderen Bauteils
- 5 - Maschinen ohne Lager
- 6 - Maschinen mit Schildlager(n) und Stehlager(n)
- 7 - Maschinen nur mit Stehlager(n)
- 8 - vertikale Maschinen, deren Bauart nicht durch die ersten Ziffern 1 bis 4 abgedeckt ist
- 9 - Maschinen mit besonderer Aufstellung

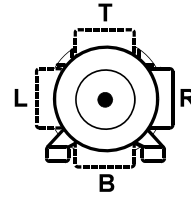
26.1.4 Bedeutung der vierten Kennziffer im Code II

- 0 - kein Wellenende
- 1 - ein zylindrisches Wellenende
- 2 - zwei zylindrische Wellenenden
- 3 - ein konisches Wellenende
- 4 - zwei konische Wellenenden
- 5 - ein Flanschwellenende
- 6 - zwei Flanschwellenenden
- 7 - Flanschwellenende auf Antriebseite und zylindrisches Wellenende auf Nichtantriebseite
- 8 - (nicht bestimmt)
- 9 - andere Ausführungen

26.2 Lage des Klemmenkastens

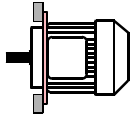
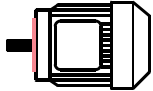
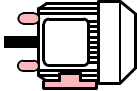
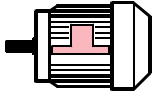
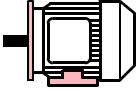
In der Änderung A1 (1999) der eingangs genannten Normen wird nun auch die Lage des Klemmenkastens bei Sicht auf die Wellenstirn und Füße bzw. Entwässerungsöffnung (bei Flanschdurchführung) in der »6-Uhr-Stellung« festgelegt:

Kennbuchstabe	Lage des Klemmenkastens	
R	rechts (right)	3 Uhr
B	unten (bottom)	6 Uhr
L	links (left)	9 Uhr
T	oben (top)	12 Uhr
(ohne)	nicht festgelegt	

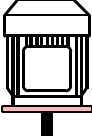
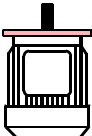


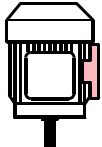
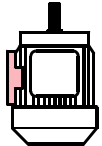
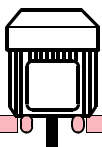
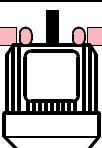
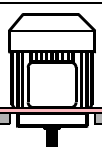
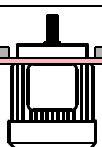
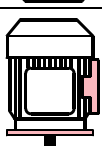
26.3 Maschinen mit Lagerschilden, waagrechte Aufstellung

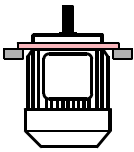
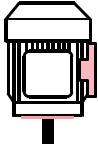
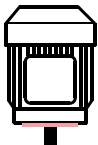
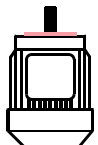
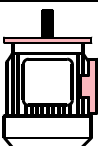
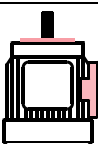
Skizze	Bezeichnung		
	Code I	Code II	DIN 42950
	IM B3	IM 1001	B3
	IM B5	IM 3001	B5
	IM B6	IM 1051	B6
	IM B7	IM 1061	B7
	IM B8	IM 1071	B8
	IM B9	IM 9101	B9

Skizze	Bezeichnung		
	Code I	Code II	DIN 42950
	IM B10	IM 4001	B10
	IM B14	IM 3601	B14
	IM B15	IM 1201	B15
	IM B20	IM 1101	B20
	IM B35	IM 2001	B3 / B5

26.4 Maschinen mit Lagerschilden, senkrechte Aufstellung

Skizze	Bezeichnung		
	Code I	Code II	DIN 42 950
	IM V1	IM 3011	V1
	IM V3	IM 3031	V3

Skizze	Bezeichnung		
	Code I	Code II	DIN 42 950
	IM V5	IM 1011	V5
	IM V6	IM 1031	V6
	IM V8	IM 9111	V8
	IM V9	IM 9131	V9
	IM V10	IM 4011	V10
	IM V14	IM 4031	V14
	IM V15 Änderung A1:1999	IM 2011	V1 / V5

Skizze	Bezeichnung		
	Code I	Code II	DIN 42 950
	IM V16	IM 4131	V16
	IM V17 Änderung A1:1999	IM 2111	V18 / V5
	IM V18	IM 3611	V18
	IM V19	IM 3631	V19
	IM V35 Änderung A1:1999	IM 2031	V3 / V6
	IM V37 Änderung A1:1999	IM 2131	V19 / V6

27 Äußere mechanische Beanspruchung (IK-Code)

Mit DIN EN 50102 (VDE 0470 Teil 100) wurde im September 1997 ein neuer Code IK in Ergänzung zum IP-Code eingeführt. Diese Klassifizierung war bisher im deutschen Normenwerk nicht üblich; sie soll nach dem Vorspann dieser neuen europäischen Norm zu einer Vereinheitlichung der Methoden zur Beschreibung des Schutzes von Gehäusen gegen äußere mechanische Beanspruchung führen und in der Verantwortlichkeit der einzelnen technischen Komitees in die jeweiligen Produktnorm übernommen werden. Der Buchstabe K ist phonetisch von franz. CA = casser = zerbrechen abgeleitet. Die Internationale Norm heißt IEC 62262 : 2002.

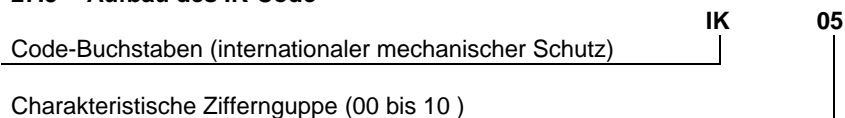
27.1 Hintergründe

In früheren französischen Normen für die IP-Schutzarten (z. B. NF C 20-010 : 1986) war schon immer eine **dritte Kennziffer** für die Klassifizierung der mechanischen Festigkeit von Gehäusen vorgesehen. Da in den französischen Errichtungsbestimmungen Mindestanforderungen für diese Eigenschaft von elektrischen Betriebsmitteln festgelegt sind, wollten die französischen Normenfachleute bei der Neufassung der IEC 60529 : 1989 und der damit harmonisierten EN 60529 : 1991 unbedingt erreichen, dass diese Systematik in die internationalen und regionalen Normen übernommen wird. Das IEC TC 70 hat sich gegen diese Erweiterung des IP-Code entschieden, weil zwangsläufig weitere Kennziffern gefolgt wären (z. B. für den Schutz gegen Korrosion, Sonneneinstrahlung, Vereisung) und dadurch die Akzeptanz dieses bewährten Verständigungsmittels bei den Elektrofachkräften beeinträchtigt worden wäre. Im französischen Normenwerk entstand daher eine Sicherheitslücke, die nun durch die EN 50102 mit dem eigenständigen, vom IP-Code abgekoppelten IK-Code geschlossen werden soll. Im deutschen Normenwerk sind derzeit die Anforderungen an die mechanische Festigkeit von Gehäusen – soweit erforderlich – ohne die Verwendung einer speziellen Kennzeichnung beschrieben. Es besteht daher kein dringender Anlass, den IK-Code in Produktnormen und Errichtungsbestimmungen zu übernehmen.

27.2 Anwendungsbereich der Norm

Die Norm für die Klassifizierung der Schutzgrade gegen äußere mechanische Beanspruchung von Gehäusen ist nur anzuwenden, wenn in der Produktnorm ein IK-Code vorgesehen ist. Sie gilt auch für Leergehäuse, wenn die allgemeinen Prüfanforderungen erfüllt werden.

27.3 Aufbau des IK-Code



27.4 Bedeutung des IK-Code

IK-Code	IK 00	IK 01	IK 02	IK 03	IK 04	IK 05	IK 06	IK 07	IK 08	IK 09	IK 10
Beanspruchung in J	¹⁾	0,14	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

¹⁾ - nicht geschützt im Sinne der Norm

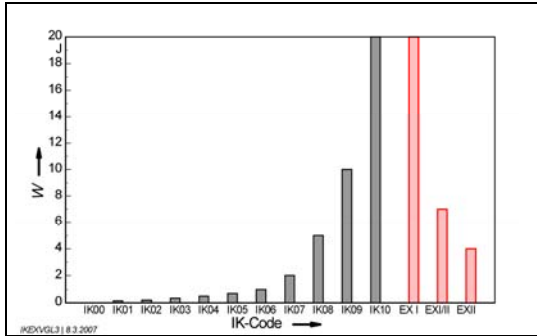


Bild 27.4
Abstufung der mechanischen Stoßfestigkeit elektrischer Betriebsmittel im neuen IK-Code nach EN 50102 im Vergleich zu den Festlegungen für explosionsgeschützte Betriebsmittel (EX)

27.5 Zusammenfassung

Mechanische Beschädigungen durch äußere, nicht vom elektrischen Betriebsmittel selbst verursachte Einflüsse sind relativ häufig. Bestimmte Einsatzgebiete – Bergbau, Holzverarbeitung, Baustellen – signalisieren eine besonders hohe mechanische Beanspruchung. Häufig sind jedoch die Einsatzbedingungen »normal«, aber die Behandlung lässt das richtige Maß vermissen: Eine Werkzeugmaschine stellt an sich keine schwierige Anwendung dar, aber ein exponiert angebauter Motor oder Schalter kann vom Gabelstapler zu Schrott gefahren werden.

Folgerungen für den Anwender:

Elektrische Betriebsmittel (Motoren, Schalt- und Steuergeräte) sind möglichst so anzuordnen, dass sie vor den bei bestimmungsgemäßer Verwendung zu erwartenden mechanischen Einwirkungen geschützt sind.

In besonderen Fällen kann eine zusätzliche Abdeckung wirksamer und kostengünstiger sein als eine Sonderausführung des Betriebsmittels.



Bild 27.5
Rollgangsmotoren bei den Stahlwerken Peine mit bauseitigem Schutz gegen Stoßbeanspruchung

28 Explosionsschutz

Für elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Betriebsstätten gelten in fast allen Industrieländern besondere Bestimmungen und gesetzliche Regelungen. In Deutschland gehören sie nach dem **Geräte- und Produktsicherheitsgesetz GPSG** zu den »überwachungsbedürftige Anlagen«.

Mit dem "neuen Ansatz" (new approach) in der zur Zeit gültigen Europäischen Richtlinie **94/9/EG "Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen"** (kurz ATEX 95) verbinden sich unter anderem folgende Änderungen:

- Festlegung von Mindestanforderungen ohne festen Bezug auf Normen
- Einbeziehung des Staubexplosionsschutzes
- Einbeziehung der nicht-elektrischen Geräte.

Die Richtlinie wurde am 23.03.1994 erlassen und gilt nach einer langen Übergangszeit seit dem 01.07.2003 allein.

Die Umsetzung der EG-Richtlinie in nationales Recht erfolgte mit der **"Verordnung über das Inverkehrbringen von Geräten und Schutzsystemen für explosionsgefährdete Bereiche – Explosionsschutzverordnung" ExVO** vom 12.12.1996. Sie richtet sich vorwiegend an die Hersteller (Verkäufer) von explosionsgeschützten Geräten (Betriebsmitteln) und Schutzsystemen.

Seit dem 16.12.1999 gilt die an den Arbeitgeber (Betreiber) gerichtete Richtlinie **1999/92/EG "Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können"** (kurz ATEX 137).

Diese Richtlinie wurde am 27.09.2002 in nationales Recht umgesetzt mit der **"Verordnung zur Rechtsvereinfachung im Bereich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, der Sicherheit beim Betrieb von überwachungsbedürftigen Anlagen und der Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes" BetrSichV**.

Eine ausführliche Darstellung finden Sie in der Publikation EP306 "Explosionsschutz bei Getriebemotoren" [V-3] und im Buch [V-4].

Die nachfolgenden Ausführungen befassen sich vorwiegend mit den seit 1996 anwendbaren und seit 01.07.2003 in der EG obligatorischen Bestimmungen nach der EG-Richtlinie 94/9/EG ("ATEX 95").

28.1 EG-Richtlinien (ATEX)

Die Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft (EG) haben sich in den Römischen Verträgen zu einem Abbau der Handelshemmnisse verpflichtet. Die unterschiedlichen Bau- und Prüfvorschriften für explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel und die zum Teil gesetzlich vorgeschriebene Zulassung durch eine nationale Prüfstelle waren ein solches Handelshemmnis. In der "Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend die allgemeinen Bestimmungen für die Bauart bestimmter Zündschutzarten für elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in explosibler Atmosphäre" (kurz: EG-Rahmenrichtlinie) wurde festgelegt, dass die EG-Mitgliedstaaten den freien Warenverkehr nicht verbieten dürfen, wenn elektrische Betriebsmittel den Europäischen Normen entsprechen. In der zugehörigen Einzelrichtlinie sind Einzelheiten der Bescheinigungen und Kennzeichnung festgelegt. Die Prüfbescheinigungen (Zertifikate) der durch die EG »benannten Stellen« sollen in der EG gegenseitig anerkannt werden.

Benannte Stellen in Deutschland (Auswahl):

Stelle	Ort	Reg. Nr.	Stelle	Ort	Reg. Nr.
TÜV Nord	Hannover	0032	DGZM	Frankfurt	0297
TÜV NRW	Köln	0035	FSA	Mannheim	0588
PTB	Braunschweig	0102	BAM	Berlin	0589
TÜV Südd.	München	0123	IBExU	Freiberg	0637
EXAM	Bochum	0158	Zelmex	Braunschweig	0820

Benannte Stellen in Europa (Auswahl):

Stelle	Land	Reg. Nr.	Stelle	Land	Reg. Nr.
ISSeP	BE	0492	KEMA	NL	0344
DEMKO	DK	0539	NEMKO	NO	0470
LOM	ES	0163	VTT	FI	0537
CESI	IT	0722	TÜV-A	AT	0408
LCIE; INERIS	FR	0081; 0080	SE	SP	0163
EECS: SIRA; ITS	GB	0600; 0518 0359			

Die Verpflichtung zur gegenseitigen Anerkennung von Prüfungsscheinen der nationalen Prüfstellen gilt derzeit offiziell nur für die EG-Mitglieder, nicht jedoch für die übrigen CENELEC-Staaten (s. auch Abschn. 28.4.1).

Umsetzung des EWG-Vertrages	
Angeleichung der Rechtsvorschriften zur Schaffung des Binnenmarktes	Sozialvorschriften zur Verbesserung der Arbeitsumwelt
Art. 95 ⇒ ATEX 95 (früher ATEX 100a)	Art. 137 ⇒ ATEX 137 (früher ATEX 118a)
Beschaffenheit	Errichtung und Betrieb
Richtlinie 94/9/EG	Richtlinie 1999/92/EG
Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen	Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können

28.2 Zertifizierung

Prüfungsscheine wurden erteilt, wenn die "Vorschriften für explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel" VDE 0171/2.61 eingehalten waren.

Konformitätsbescheinigungen werden / wurden erteilt, wenn die jeweils zutreffenden harmonisierten europäischen Normen "Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche" DIN EN 50014/VDE 0170/0171 Teil 1 bis DIN EN 50020/VDE 0170/0171 Teil 7 erfüllt sind

EG-Baumusterprüfbescheinigungen werden durch eine »benannte Stelle« erteilt, wenn die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen für die Konzeption und den Bau von Geräten zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen gemäß Anhang II der Richtlinie 94/9/EG eingehalten werden. Solche EG-Baumusterprüfbescheinigungen können seit dem 01.04.1996 erteilt werden. Seit 01.07.2003 dürfen zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen nur noch Betriebsmittel mit einer EG-Baumusterprüfbescheinigung "in Verkehr" gebracht werden.

Bei der **Errichtung von elektrischen Anlagen** sind zu beachten:

- DIN EN 60079-14 (VDE 0165-1): Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche Teil 14: Elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen (ausgenommen Grubenbaue).
- DIN EN 60079-14 (VDE 0165-2): Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub Teil 14: Auswahl und Errichten.

28.3 Zündschutzarten

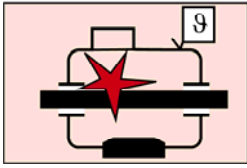
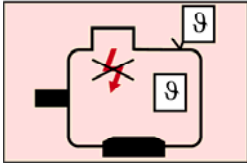
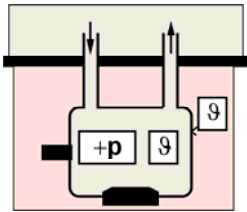
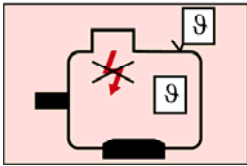
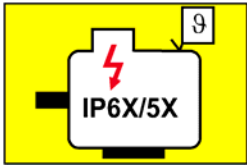
Für elektrische Maschinen sind folgende Zündschutzarten üblich:

- erhöhte Sicherheit "e"
- druckfeste Kapselung "d"
- Überdruckkapselung "p"
- funkenfrei oder schwadensicher "nA"
- staubexplosionssgeschützt "tD".

Ihre Anwendung ergibt sich aus der Art der explosionsfähigen Atmosphäre und der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens (Zone). Innerhalb ihrer Anwendungsgruppe sind die Zündschutzarten "e", "d" und "p" nach den Normen und gesetzlichen Bestimmungen gleichwertig (**Tabelle 28.3.1**). Für den praktischen Einsatz ergibt sich jedoch eine unterschiedliche Bewertung, die teilweise technisch oder wirtschaftlich zu begründen ist, teilweise jedoch auch durch bestimmte Betriebserfahrungen oder (z. B. im angelsächsischen Ausland) durch eine jahrzehntelange andere Normenpraxis zu erklären ist.

Ex-Gefahr	Zone	Zulässige Betriebsmittel	Zugehörige Vorschriften	
			Bau	Errichtung
Brennbarer Staub	20	Motoren nicht zulässig	-	-
	21	EEx tD + IP65	EN 61241-1 (IEC 60079-31)	DIN EN 61241-14 (VDE 0165-2)
	22	Motor und Klemmenkasten IP54	EN 61241-1 (IEC 60079-31)	DIN EN 61241-14 (VDE 0165-2)
Gase und Dämpfe	1	Allgemein EEx e II EEx d II EEx p II	DIN EN 60079-0 DIN EN 60079-7 DIN EN 60079-1 DIN EN 60079-2	DIN IEC 60079-14 (VDE 0165-1)
	2	EEx nA II T3	DIN EN 60079-15	DIN EN 60079-14
Schlagwetter		EEx d I	DIN EN 60079-0 DIN EN 60079-1	DIN VDE 0118
Explosivstoffe		Motor IP44 Klemmenkasten IP54	-	DIN VDE 0166

Tabelle 28.3.1 Zündschutzarten elektrischer Maschinen in Abhängigkeit von der Art der explosionsfähigen Atmosphäre

	Prinzip	Zündschutzart
d		druckfeste Kapselung (flameproof enclosure) Eine Zündschutzart, bei der die Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, in einem Gehäuse angeordnet sind, das bei der Explosion eines explosionsfähigen Gemisches im Inneren deren Druck aushält und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebende explosionsfähige Atmosphäre verhindert. Übliche Anwendung: Umrichtergespeiste Käfigläufermotoren, Gleichstrommotoren
e		erhöhte Sicherheit (increased safety) Eine Zündschutzart, bei der zusätzliche Maßnahmen getroffen sind, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit die Möglichkeit unzulässig hoher Temperaturen und des Entstehens von Funken oder Lichtbögen im Inneren und an äußeren Teilen elektrischer Betriebsmittel, bei denen diese im normalen Betrieb nicht auftreten, zu verhindern. Übliche Anwendung: Drehstrom-Käfigläufermotoren. [1EV 426-08-01]
p		Überdruckkapselung (pressurization) Eine Zündschutzart, bei der die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre im Inneren eines Gehäuses dadurch verhindert wird, dass durch ein Zündschutzgas ein innerer Überdruck gegenüber der umgebenden Atmosphäre aufrecht erhalten wird und dass, wenn notwendig, das Innere des Gehäuses ständig so mit Zündschutzgas versorgt wird, dass die Verdünnung brennbarer Gemische erreicht wird. Übliche Anwendung: Große elektrische Maschinen aller Art
nA		Schwadensicher oder nicht funkend »Zone-2-Betriebsmittel« (restricted breathing oder non-sparking) Eine Zündschutzart elektrischer Betriebsmittel, bei der für den normalen Betrieb und bestimmte anormale Bedingungen, wie sie in der Norm festgelegt sind, erreicht wird, dass die Betriebsmittel nicht in der Lage sind, eine umgebende explosionsfähige Atmosphäre zu zünden. Übliche Anwendung: Drehstrom-Käfigläufermotoren
tD		Schutz durch Gehäuse (protection by enclosures) Maßnahmen, die in der Norm festgelegt sind, (z.B. Schutz gegen das Eindringen von Staub und Begrenzung der Oberflächentemperatur), die an elektrischen Betriebsmitteln mit Schutz durch Gehäuse getroffen sind, um die Zündung einer Staubschicht oder -wolke zu verhindern. Übliche Anwendung: Drehstrom-Käfigläufermotoren

i		<p>Eigensicherheit (intrinsic safety)</p> <p>Eigensicher ist ein Stromkreis, in dem weder ein Funke noch ein thermischer Effekt, der unter den in der Norm festgelegten Bedingungen auftritt, die den ungestörten Betrieb und bestimmte Fehlerbedingungen umfassen, eine Zündung einer bestimmten explosionsfähigen Atmosphäre verursachen kann.</p> <p>Übliche Anwendung: Tacho-Generatoren</p>
---	---	--

Bild 28.3.2 Prinzip der für elektrische Maschinen anwendbaren Zündschutzarten



Bild 28.3.3 Auswirkungen einer Silo-Explosion bei SEMABLA, Blaye, Gironde; Foto: VSD

28.4 Ausländische Ex-Vorschriften

In den meisten Industrieländern ist der Explosionsschutz durch **nationale Normen und Gesetze** geregelt. Beim Export ist daher sorgfältig zu prüfen, ob ein nach Europaanorm gefertigter und geprüfter Motor zugelassen wird.

28.4.1 Europäische Vorschriften

Auf dem Gebiet des Explosionsschutzes wurde schon relativ früh eine weitgehende Harmonisierung der europäischen Normen des CENELEC erreicht. Die Prüfbescheinigungen der im "Amtsblatt der EG" benannten zugelassenen Prüfstellen sollen in der EG gegenseitig anerkannt werden (siehe Abschnitt 28.1). Die Verpflichtung zur gegenseitigen Anerkennung von Prüfungsscheinen der nationalen Prüfstellen gilt derzeit offiziell nur für die EG-Mitglieder, nicht jedoch für die übrigen CENELEC-Staaten. Üblicherweise werden PTB-Prüfungsscheine in **Skandinavien** und **Osteuropa** anerkannt. In der **Schweiz** war früher eine zusätzliche Abnahme durch den SEV (Schweizer Elektrotechnischer Verein) und eine Zulassung durch das Eidgenössische Starkstrominspektorat obligatorisch; diese Forderung ist entfallen. EG-Baumusterprüfbescheinigungen (ATEX) werden anerkannt.

28.4.2 Nordamerikanische Vorschriften

Folgende Zündschutzarten sind nach den nordamerikanischen Bestimmungen vorgeschrieben :

Class I	Division 1 :	USA-NEC	Article 501-8 a)
		CANADA-CEC	Section 18-112

Druckfeste Kapselung (flameproof enclosure), **mit** Abnahme (Certificate oder Approval).

Class I	Division 2 :	USA-NEC	Article 501-8 b)
		CANADA-CEC	Section 18-164

Kurzschlussläufermotoren ohne Schleifkontakte (non-sparking) in normaler, nicht Ex-Ausführung, **ohne** Abnahme (Certificate oder Approval), **jedoch Bremsen** wie für Division 1.

Class II	Division 1 :	USA-NEC	Article 502-8 a)
		CANADA-CEC	Section 18-210

Staubexplosionsschutz (dust ignition proof = DIP), **mit** Abnahme (Certificate oder Approval).

Class II	Division 2 :	USA-NEC	Article 502-8 b)
		CANADA-CEC	Section 18-260

Vollkommen geschlossen (staubdicht gekapselt), **ohne** Abnahme (Certificate oder Approval); in Kanada mit eingebautem thermischem Motorschutz, **jedoch Bremsen** wie für Division 1.

Motoren der Zündschutzart "e" oder in der für Danfoss Bauer normalen Schutzart IP65 entsprechen **technisch** weitgehend den nordamerikanischen Anforderungen »non-sparking« für Anwendung in Class I, Div. 2 oder Class II, Div. 2, sofern sie keine Anbauten oder Einbauten erhalten, die Funken geben oder sich unkontrollierbar erwärmen können (Thermostate, Antikondensatheizung, Bremsen u. dgl.).

Da auch bei nordamerikanischen Anwendern häufig unklar ist, welche Vorschriften in der Class I, Division 2 anzuwenden sind, wird nachfolgend auszugsweise aus NEMA MG2, 3.5, zitiert:

"Es sind offene oder nicht-explosionsgeschützte geschlossene Motoren zulässig, sofern sie keine Bürsten, Schalter oder ähnliche funkende Bauteile haben. Der Anwender kann solche Antriebe auswählen und den örtlichen Behörden zur Zulassung vorschlagen. Da das Gehäuse nicht explosionsgeschützt ist, muss der Anwender die Temperaturen von äußeren und inneren Oberflächen berücksichtigen, zu welchen die umgebende Atmosphäre Zutritt hat."

Die Norm gibt Richtwerte für die zu erwartenden maximalen Temperaturen von Ständerwicklung und Kurzschlusskäfig in Abhängigkeit von der Isolierstoffklasse (Wärmeklasse).

Die Zündschutzart "d" entspricht **technisch** weitgehend den nordamerikanischen Anforderungen flameproof für die Class I, Division 1, sofern der Klemmenkasten in Zündschutzart "d" vorgesehen ist und am Aufstellungsort eine druckfeste Leitungseinführung verwendet wird.

Die andere Einteilung von explosionsfähiger Atmosphäre ist zu beachten:

Class I	-	Gase und Dämpfe		
	Group	A	entspricht etwa	IIC
		B		IIB
		C		IIA
		D		IIA
Class II	-	Stäube		
	Group	E	leitfähig $R < 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$	
		G	nicht leitfähig $R > 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$	
Class III	-	Textilfasern		

Tabelle 28.4.2

Einteilung explosionsfähiger Atmosphären nach dem NEC

Neben den oben genannten nationalen nordamerikanischen Vorschriften kann neuerdings auch gemäß dem neu aufgenommenen NEC Article 502 nach den internationalen Normen der Reihe IEC 60079 geprüft und zugelassen werden. In den **USA** werden bei den Zündschutzarten "e" und "d" einige über IEC hinausgehende Anforderungen gestellt, die eine zusätzliche Prüfung durch UL oder FMR notwendig machen.

In **Kanada** wird das Zertifikat einer nationalen Prüfstelle (z. B. PTB oder BVS) anerkannt, muss jedoch durch ein Prüfzeichen der CSA ergänzt werden.

NEC 505	Division 1		Division 2
IEC / CENELEC	Zone 0 Zone 20	Zone 1 Zone 21	Zone 2 Zone 22

Ex-Normen werden seit einigen Jahren bei IEC im sogenannten Parallelverfahren unter Mitwirkung aller interessierten Länder entwickelt und dann bei CENELEC als **EN** (Europannorm) gelistet, gedruckt und angewendet.

In den USA werden sie mit gleicher Nummer und gleichem Inhalt als **ISA** gelistet, zum Beispiel:

Region	Norm	Zündschutzart
IEC	IEC 60079-1	Ex d
Europa	EN 60079-1	EEx d
USA	ISA 60079-1	AEx d
Kanada	CSA E 60079-1	Ex d

Es bleiben aber noch einige Probleme:

Prüfzertifikate der durch die EU benannten Prüfstellen müssen nur innerhalb der EU gegenseitig anerkannt werden. Die Behörden und Abnehmer in den USA bestehen weiterhin auf einer Prüfung durch UL oder FM.

Selbst in neu eingeführtes, theoretisch global gültiges Zertifikat "IECEx" wird in den USA noch nicht anerkannt oder umgeschrieben. Es muss nochmals eine volle Prüfung durchlaufen werden. (In Australien wird ohne weitere Prüfung umgeschrieben).

Ein weiteres Hindernis für den US-Markt sind die Sachversicherer, die auf dem "UL-Label" bestehen.

Hinzu kommen unterschiedliche Prozeduren in den US-Bundesstaaten.

29 Ausländische Vorschriften

Beim Export von Elektromotoren verlangt der Besteller häufig die Beachtung der im Bestimmungsland gültigen Vorschriften. Ein nach EN 60034-1 (DIN VDE 0530-1) "Drehende elektrische Maschinen; Bemessung und Betriebsverhalten" gebauter Motor entspricht in elektrischer Hinsicht auch einer Norm der »International Electrotechnical Commission« (IEC 60034-1, Rotating electrical machines; Part 1: Rating and performance), die von allen wichtigen Industrieländern anerkannt wird. Darüber hinaus sind bei Danfoss-Bauer-Antrieben folgende Punkte beachtet:

29.1 Leistungsschild mit internationalen Symbolen

Die Abkürzungen auf dem Leistungsschild sind international verständlich, sodass bei direktem oder indirektem Export am Aufstellungsort eine wichtige Voraussetzung für die Inbetriebnahme des Antriebs erfüllt ist.

BAUER geared motors Danfoss Bauer GmbH · D-73734 Esslingen		BAUER geared motors Danfoss Bauer GmbH · D-73734 Esslingen	
3~ Mot.-No	9999999 -1	10/99	CE
Type	BG70-11/D13MA4		
	7,5 kW	S	
n ₂	36,5 /min	400	V
n ₁	1420 /min	50	Hz
cos φ	0,85	15	A
Isol. Cl. F IP65 IM B3			
	6,5 L	CLP 220	EN 60 034
Bremse/brake/frein:	V	Nm	A
BAUER geared motors Danfoss Bauer GmbH · D-73734 Esslingen		BAUER geared motors Danfoss Bauer GmbH · D-73734 Esslingen	
= Mot.-No	9999999 -2	10/99	CE
Type	BG60-11/G11LA32-FB		
	4,0 kW	Rotor	260 V
n ₂	47 /min	19,2	A
n ₁	3200 /min	Variation	20 :1
		Err.	330 V
			0,42 A
	Variation 1:		
Isol. Cl. F IP44 IM B3			
	5,5 L	CLP220	EN 60 034
Bremse/brake/frein:	V	Nm	A

Bild 29.1.1
Leistungsschild
eines Drehstrom-Getriebemotors

Bild 29.1.2
Leistungsschild
eines Gleichstrom- Getriebemotors

29.2 Anschlussbezeichnungen

Schon 1972 wurden mit IEC 60034-8 die Anschlussbezeichnungen elektrischer Maschinen international vereinheitlicht. Das System wurde mit DIN VDE 0530-8 in Deutschland eingeführt; es ist 2003 nach einer Überarbeitung auch als DIN EN 60034-8 erschienen. Die Anschlussbilder für Danfoss-Bauer-Antriebe sind fast durchweg international abgefasst.

Leider wurden die internationalen Normen in Nordamerika nicht übernommen – dort gelten andere Regeln, z. B. nach NEMA MG1-Section I, Part 2 bzw. ANSI C 6.1.

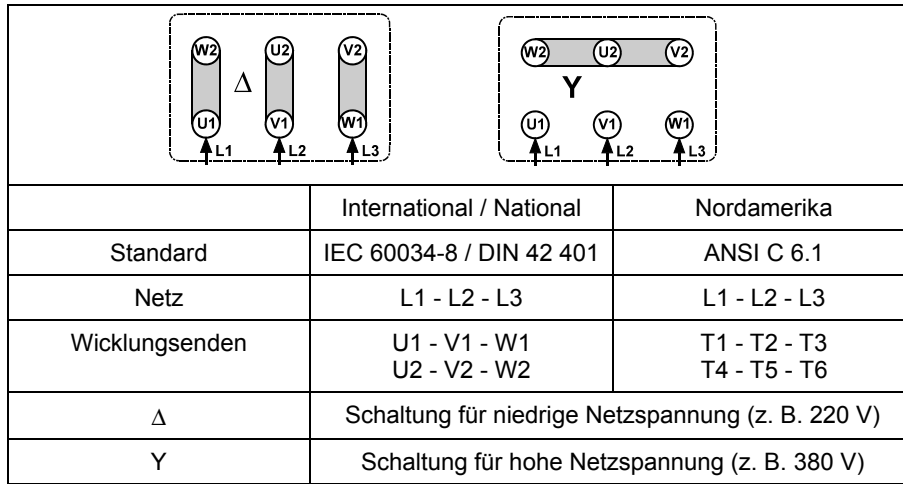


Bild 29.2.1 Internationales Anschlussbild für Spannungsumschaltung im Verhältnis 1 : $\sqrt{3}$ (Δ/Y)

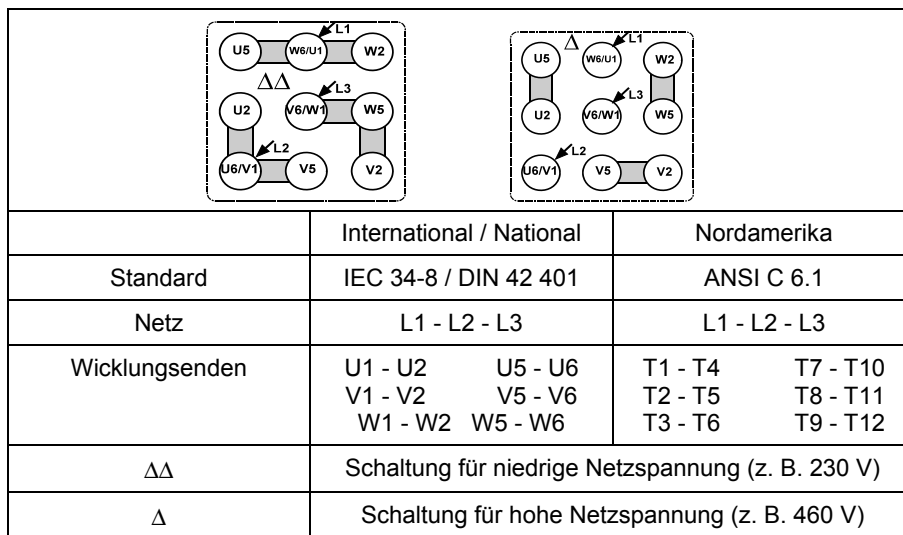


Bild 29.2.2 Internationales Anschlussbild für Spannungsumschaltung im Verhältnis 1: 2 ($\Delta\Delta/\Delta$)

29.3 Netzfrequenz

Für die im Ausland teilweise gebräuchliche Netzfrequenz 60 Hz ist eine Anpassung der Motorwicklung erforderlich. Die Nennzahl eines Asynchronmotors ändert sich mit der Netzfrequenz (s. Abschn. 1.1). Wird ein Drehstrom-Asynchronmotor an falsche Netzfrequenz angeschlossen – z. B. bei der Prüfung einer für USA (60 Hz) bestimmten Anlage im Werk des Herstellers (50 Hz) oder bei Verwendung eines Lagermotors (50 Hz) für einen eiligen Exportauftrag (60 Hz) – so sind folgende Regeln zu beachten:

29.3.1 Anschluss an proportional geänderte Frequenz und Spannung

Wenn sich die tatsächliche Spannung und Frequenz gegenüber den Bemessungsdaten der Wicklungsauslegung proportional ändern – wenn also $U/f = \text{konstant}$ ist – bleibt der magnetische Fluss des Motors gleich stark. Die Höhe des entwickelten Drehmomentes ist also unverändert. Die Drehzahl ändert sich proportional mit der Frequenz. Die zur Verfügung stehende Bemessungsleistung ändert sich also etwa mit der Frequenz, während andererseits bei vorwiegend reibungsbehafteten Antrieben auch der Leistungsbedarf proportional mit der Drehzahl – also der Frequenz – geht.

Beispiel: Nenndaten eines Getriebemotors

Leistung	$P = 7,5 \text{ kW}$	Spannung	$U = 400 \text{ V}$
Drehzahl	$n_2 = 200 \text{ r/min}$	Frequenz	$f = 50 \text{ Hz}$
Drehmoment	$M_2 = 360 \text{ Nm}$		

Dieser Motor soll an 460 V, 60 Hz angeschlossen werden

$$\text{Es ist } \frac{U}{f} = \frac{400}{50} = \frac{460}{60} \approx \text{const.}$$

Daher gelten folgende neue Daten:

Leistung	$P = 1,2 \cdot 7,5 = 9 \text{ kW}$	Spannung	$U = 460 \text{ V}$
Drehzahl	$n_2 = 1,2 \cdot 200 = 240 \text{ r/min}$	Frequenz	$f = 60 \text{ Hz}$
Drehmoment	$M_2 = 360 \text{ Nm}$		

Anschluss an proportional geänderte Spannung und Frequenz ist zulässig. Die geänderte Bemessungsleistung des Motors entspricht etwa dem veränderten Leistungsbedarf, sofern dieser vorwiegend durch Reibung bestimmt ist.

29.3.2 Anschluss an erhöhte Frequenz bei gleicher Spannung

Der magnetische Fluss vermindert sich im umgekehrten Verhältnis zur Frequenz, die Höhe des Anzugs- und Kippmoments vermindert sich quadratisch mit dem Magnetfluss. Die Drehzahl erhöht sich linear mit der Frequenz. Da sich auch die Belüftung verbessert, kann bei den meisten Antrieben ohne thermische Gefährdung die volle Bemessungsleistung zugelassen werden, sofern die verminderte Drehmomentreserve noch ausreicht. Bei vorwiegend reibungsbehafteten Antrieben ist zu beachten, dass sich der Leistungsbedarf mit der Drehzahl (Frequenz) erhöht, sodass der falsch angeschlossene Motor um den Faktor des umgekehrten Frequenzverhältnisses zu klein ist.

Beispiel: Nenndaten eines Getriebemotors

Leistung $P = 7,5 \text{ kW}$
Drehzahl $n_2 = 200 \text{ r/min}$
Drehmoment $M_2 = 360 \text{ Nm}$
Spannung $U = 380 \text{ V}$
Frequenz $f = 50 \text{ Hz}$

Dieser Motor soll an 380 V 60 Hz angeschlossen werden. Daher gelten folgende neuen Daten:

Leistung $P = 7,5 \text{ kW}$
Drehzahl $n_2 = 200 \cdot 60/50 = 240 \text{ r/min}$
Drehmoment $M_2 = 300 \text{ Nm}$
Spannung $U = 380 \text{ V}$
Frequenz $f = 60 \text{ Hz}$
Leistungsbedarf $P_{60} = 7,5 \cdot 60/50 = 9 \text{ kW}$

Vorhandene Leistung nur $7,5/9 = 0,85$ facher Leistungsbedarf, dies ist etwa gleich $50/60 = 0,85$.

Anschluss an erhöhte Frequenz bei unveränderter Spannung ist für den Motor ungefährlich, sofern beachtet wird, dass die verminderten Anzugs- und Kippmomente des Motors etwa 70 % der Werte bei 50 Hz und die Bemessungsleistung etwa 85 % des veränderten Leistungsbedarfs von Reibungsantrieben betragen.

29.3.3 Anschluss an verminderte Frequenz bei gleicher Spannung

Der magnetische Fluss erhöht sich im umgekehrten Verhältnis zur Frequenz. Die Übersättigung des Magnetkreises führt zu einem starken Anstieg des Magnetisierungsstromes. Der Motor erwärmt sich aus diesem Grund auch im Leerlauf schnell und stark.

Ein Probetrieb ist nur kurzzeitig bei laufender Temperaturüberwachung zulässig und nach einigen Minuten abubrechen.

Beispiel: Nenndaten eines Getriebemotors

Spannung $U = 380 \text{ V}$

Frequenz $f = 60 \text{ Hz}$

An einem Netz von 380 V 50 Hz ist nur kurzzeitiger Probetrieb zulässig. Bei Verwendung eines Transformators für etwa 330 V 50 Hz gilt Abschnitt 29.3.1, da dann $U/f = \text{konstant}$ ist.

Anschluss an verminderte Frequenz bei unveränderter Spannung ist nur kurzzeitig bei laufender Temperatur-Überwachung zulässig.

29.4 Verbindliche ausländische Vorschriften

Während bei den meisten ausländischen Vorschriften (z. B. auch der NEMA MG 1 für die USA) eine Einhaltung zwar empfohlen, aber nicht verbindlich vorgeschrieben ist, sind in einigen anderen Anwendungsbereichen amtliche Zulassungen notwendig. Dies trifft beispielsweise zu für

- KANADA: CSA-Approval nach C 22.2 erforderlich
- INTERNATIONALE SCHIFFFAHRT: Abnahme durch British Lloyd Germanischer Lloyd oder American Bureau of Shipping häufig erforderlich
- EXPLOSIONSSCHUTZ: Konformitätsbescheinigungen nach EN 50014 bis EN 50019 müssen nach EG-Richtlinie in den EG-Ländern anerkannt werden.

Vor allem in den oben angeführten Fällen oder im Zweifelsfall empfiehlt sich eine verbindliche Absprache mit dem ausländischen Abnehmer über eventuell einzuhaltende Vorschriften.

30 Besonderheiten bei US-amerikanischen Elektromotoren

"An imported headache for U.S. users – 50 Hz apparatus" : So titelt ELECTRICAL APPARATUS, die wichtige Fachzeitschrift der in der EASA zusammengefassten Service-Werkstätten für Elektromaschinenbau und Antriebstechnik in den USA. Detailliert wird beschrieben, wie die Missachtung von Vorschriften und praxisüblichen Gewohnheiten eine Inbetriebnahme von Maschinen und Anlagen verzögern kann. Wenn sich in den USA schon »conversion shops« auf den Umbau importierter elektrischer Betriebsmittel und Anlagen spezialisiert haben und damit gut beschäftigt sind, kann es sich nicht um Einzelfälle handeln. Die Anwender in Nordamerika schätzen den hohen Stand des europäischen Spezial-Maschinenbaus. Exporteure sind gut beraten, wenn die elektrische Ausrüstung durch Beachtung einiger Grundregeln so an die Bestimmungen in Nordamerika und an die Erwartungen ihrer Abnehmer angepasst wird, dass eine reibungslose Inbetriebnahme möglich ist. In diesem Abschnitt werden – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – einige wichtige Grundregeln für elektrische Maschinen vorgestellt.

30.1 Wichtige elektrotechnische Vorschriften

In Nordamerika bestehen für elektrische Maschinen und Anlagen eine Reihe von Vorschriften, die teilweise von den europäischen und internationalen Normen abweichen. Auf die Prüfpflicht beim Export nach Kanada wird besonders hingewiesen.

NEMA National Electrical Manufacturers Association

Vereinigung der Hersteller von Elektrogeräten (vergleichbar mit dem ZVEI).
Herausgeber der NEMA Standards MG1 Motors and Generators.
Diese Vorschriften sind zwar nicht verbindlich, werden aber in den USA weitgehend befolgt.

UL Underwriters Laboratories Inc.

Herausgeber und Prüfstelle für Geräte zur Verwendung in Bereichen, welche die Sicherheit von Menschen und Anlagen tangieren.
Verbindlich z. B. für Betriebsmittel zur Verwendung in Haushalt oder Büro sowie in explosionsgefährdeten Bereichen.
Explosionsgeschützte Motoren sind als Einzelkomponenten prüfpflichtig und prüffähig.
Einbaumotoren zu Geräten für den Laiengebrauch sind nur mit dem zugehörigen Gerät prüffähig.

NEC National Electrical Code

Allgemeine Errichtungsbestimmungen (vergleichbar mit VDE 0100),
herausgegeben von der NFPA (National Fire Protection Association).
Artikel 430 befasst sich überwiegend mit Auswahl und Einbau von Motoren – durch Einhaltung von NEMA weitgehend erfüllt.
Artikel 500 befasst sich mit dem Explosionsschutz und ist streng zu beachten.

ANSI American National Standards Institute (früher ASA und USASI).
Herausgeber der American National Standards für grundsätzliche Normen, die häufig in NEMA einfließen.

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.
Herausgeber der IEEE Standards
Grundsatznormen für die Elektrotechnik, die teilweise (z. B. Wirkungsgradbestimmung) in NEMA einfließen.

JIC Joint Industry Conference
Gesamtverband der Industrieunternehmen
Herausgeber von Installationsvorschriften, verweist bei Motoren auf NEMA.

30.2 Netzbezeichnung und Bemessungsspannung

Die in Nordamerika gebräuchlichen Bezeichnungen sind verwirrend, weil für ein bestimmtes Netz oft zwei, manchmal sogar noch drei verschiedene Spannungsangaben benutzt werden. Für die Leistungsschildangabe eines Motors ist (auch nach NEMA MG 10) die dritte Spalte in **Tabelle 30.2** maßgebend. Für den Motorhersteller zusätzlich verwirrend sind die Angaben 120/208 V, 240/416 V, 277/480 V und 347/600 V: Sie bezeichnen nicht jeweils zwei verschiedene Dreiphasen-Netze, sondern z. B. ein 3phasen-Netz 480 V mit einer Spannung von 277 V gegen den Neutraleiter. Es ist also **nicht nötig**, die Wicklung **umschaltbar** für z. B. 277 V Δ /480 V Y auszuführen.

Die Unklarheit wird am einfachsten und sichersten beseitigt, wenn der Motor für die Dreiphasen-Spannung, also z. B. für 460 V bestellt und dann auch so auf dem Leistungsschild gekennzeichnet wird. Drehstromnetze 208 V sind typisch für größere Verbraucher in Wohnbereichen (z. B. für die Klimaanlage eines Bürogebäudes). NEMA empfiehlt für diese Netze eine Motor-Bemessungsspannung von 200 V.

	Bemessungsspannung des Netzes	Bemessungsspannung (Betriebsspannung) des Motors	
		üblich	veraltet
	Nominal Power System Voltage	Motor Utilization (Nameplate) Voltage	
USA	120 V (1 ph)	115 V (1 ph)	110 V (1 ph)
	208 V	200 V	190 V
	240 V	230 V	220 V
	480 V	460 V	440 V
Kanada	600 V	575 V	550 V

Tabelle 30.2 Spannungsbezeichnung in Nordamerika – Frequenz jeweils 60 Hz

Während es für die nordamerikanischen Anwender selbstverständlich ist, dass für eine Anlage mit der Netzbezeichnung »480 V« Motoren mit einer Leistungsschildangabe »460 V« geliefert werden, kann diese Handhabung bei europäischen Ausrüstern wegen unzureichender Sachkenntnis Schwierigkeiten bereiten. Im Zweifelsfall empfiehlt sich eine vorherige Klärung oder eine Wicklung und Beschilderung genau nach den Bestellangaben. Nach NEMA MG1-12.45 darf die Spannung um $\pm 10\%$ von der Bemessungsspannung abweichen. An den Grenzen dieses (relativ großen) Spannungsbereichs soll der Motor zufrieden stellend (»successfully«) arbeiten, doch müssen seine Leistungsdaten nicht unbedingt mit den für die Bemessungsspannung festgelegten Werten übereinstimmen (vergleichbar mit Bereich B nach IEC 60034-1).

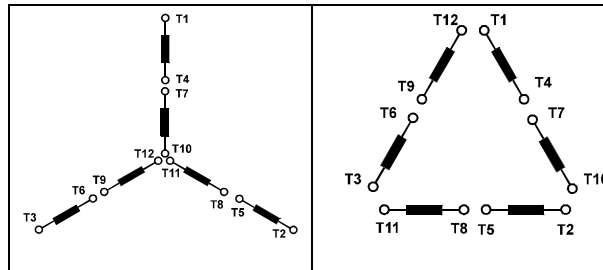
30.3 Anschlussbezeichnung

Eine klare Kennzeichnung der Wicklungsenden ist beim Export nach Nordamerika besonders wichtig: Nach dortiger Praxis werden bei kleineren und mittleren Motoren die **Wicklungsenden als loose leads** in den Anschlusskasten geführt, also nicht auf eine Klemmenplatte gelegt. Der Elektriker verbindet die Wicklungsenden mit den Netzleitern entsprechend Netzspannung und Wicklungsschaltung, meist in Crimp-Technik. Er muss zu diesem Zweck jedes Wicklungsende einzeln identifizieren, während sein europäischer Kollege die Dreieck- oder Stern-Verbindungen »blind« einlegt (**Bild 30.3.1**). Argument amerikanischer Praktiker für diese Anlusstechnik: Bei einem auf dem Boden befestigten Motor mit seitlich angebrachtem Anschlusskasten können die langen, aus dem Kasten herausziehbaren Wicklungsenden von oben leichter identifiziert werden als die fest installierten, im Anschlusskasten versteckten Wicklungsenden oder Einprägungen an der Klemmenplatte!



Bild 30.3.1 Typischer Motor-Anschlusskasten nach nordamerikanischer Praxis: Lose Wicklungsenden (ohne Anschlussplatte) zur »wire-to-wire«-Verbindung mit den Netzleitern

Bild 30.3.2 Anschlussbezeichnung bei Y (YY)- oder Δ ($\Delta\Delta$)-Schaltung (mit Serien- oder Parallel-Schaltung) Spannungsumschaltung 2 : 1, z. B. 460/230 V



30.4 Polumschaltung

Die Dahlanderschaltung ist – wenn überhaupt – in Nordamerika als »tapped wound« oder »two speed consequent pole connection« bekannt. Sie ist weit weniger verbreitet als in Europa. Es sollte daher nicht erwartet werden, dass der Lieferant für einen 1:2 polumschaltbaren Motor automatisch die Dahlanderschaltung Δ/YY vorsieht. Es ist eher wahrscheinlich, dass er die in Nordamerika gebräuchliche, steuerungstechnisch einfachere Schaltung mit zwei getrennten Wicklungen (z. B. Y/Y), also einen »dual wound«-Motor, liefert. Technische Klärung im Vorfeld der Lieferung ist dringend zu empfehlen, und der Begriff »Dahlanderschaltung« ist zu erläutern!

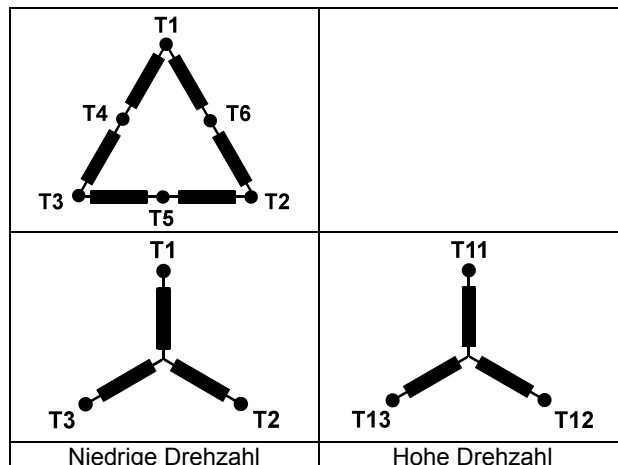


Bild 30.4.1
Klemmenbezeichnung
bei Polumschaltung
 Δ/YY
Dahlanderschaltung =
two speed consequent
pole connection =
tapped wound

Bild 30.4.2
Klemmenbezeichnung
bei Polumschaltung mit
zwei getrennten Y/Y -
Wicklungen = dual
wound

30.5 Anlassverfahren

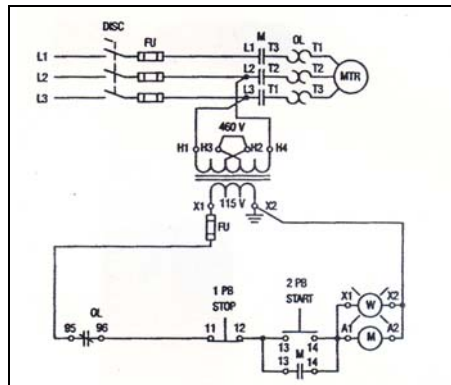
Die in Europa häufig verwendete Y - Δ -Einschaltung zur Verminderung von Anzugsstrom und Anzugsmoment ist in Nordamerika vergleichsweise wenig gebräuchlich. Kenntnis der Schaltungstechnik und Verfügbarkeit gebrauchsfertiger Schützensteuerungen kann nicht immer vorausgesetzt werden. Relativ häufig wird als Anlassverfahren das **part-winding-starting** verwendet, das in NEC 430-3 definiert ist: Voraussetzung ist eine Wicklung, bei der im Normalbetrieb zwei Gruppen parallel geschaltet sind. Für den Anlauf wird die Parallelschaltung aufgehoben, d. h., es ist nur eine der beiden Gruppen aktiv. Dies wirkt wie ein Vorwiderstand und vermindert Anzugsmoment und Anzugsstrom, wenn auch nicht in dem Maße wie bei der Y - Δ -Einschaltung: Der Anzugsstrom wird auf etwa 70 %, das Anzugsmoment auf etwa 50 % reduziert.

Weitere Hinweise im Danfoss-Bauer-Buch "Anlaufen–Bremsen–Positionieren".

30.6 Schaltzeichen für Schaltpläne

Die international z. B. unter IEC 60617 genormten Schaltzeichen wurden in Nordamerika bisher nicht übernommen. Schaltpläne sind für den Praktiker in Nordamerika nur lesbar, wenn sie in »seiner Sprache« erstellt sind.

Bild 30.6
Beispiel eines Schaltplans für einen Direkt-Motorstarter mit Sicherungslasttrenner und Motorschutzrelais mit den in Nordamerika genormten Schaltzeichen (nach Unterlagen der Fa. MOELLER)



Die Schaltgeräte-Hersteller bieten ausführliche Unterlagen zu diesem Thema an und erstellen Schaltschränke und Schaltpläne nach den nordamerikanischen Normen. Es ist darauf hinzuweisen, dass eine Anpassung an nordamerikanische Normen nicht nur eine Änderung des Schaltplans verlangt: Die Gerätebestimmungen erfordern auch eine **andere Auslegung der Komponenten**, z. B. der Schütze.

30.7 Bauform und Aufstellung

Die Kurzzeichen für die wichtigsten Aufstellungsarten sind dem nachstehenden Vergleich zu entnehmen. Kurzzeichen für Bauformen wie »Flansch«, »Stehlager« usw. sind im NEMA-System nicht vorgesehen – dagegen wird die Lage des Anschlusskastens mit einem eigenen Kurzzeichen bedacht. Es ist besonders zu beachten, dass bei üblichen Fußmotoren (F-1) der Klemmenkasten **links** bei Sicht auf die Wellenstirn angeordnet wird. Die in Europa übliche Klemmenkastenlage rechts ist eine Sonderausführung (F-2).

V NORMEN FÜR MOTORAUSFÜHRUNGEN

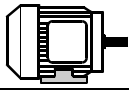
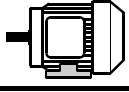










Befestigungsart	Symbol	NEMA	IEC 60034-7	Klemmenkasten
Boden (floor)		F-1	IM B3 IM 1001	links
		F-2	IM B3 IM 1001	rechts
Wand (wall)		W-1	IM B7 IM 1061	rechts
		W-2	IM B6 IM 1051	links
		W-3	IM B7 IM 1061	links
		W-4	IM B6 IM 1051	rechts
		W-5	IM V6 IM 1031	rechts
		W-6	IM V5 IM 1011	links
		W-7	IM V5 IM 1011	rechts
		W-8	IM V6 IM 1031	links
Decke (ceiling)		C-1	IM B8 IM 1071	rechts
		C-2	IM B8 IM 1071	links

Tabelle 30.7 Aufstellung nach NEMA MG1-4.3 im Vergleich zu IEC 60034-7

30.8 Baugröße

In der nachfolgenden Tabelle sind vergleichbare Baugrößen nach IEC/EN bzw. NEMA und die zugeordneten Wellendurchmesser gegenübergestellt.

IEC60072-1/EN 50347		NEMA MG1-4.4		
Baugröße	Wellen-Ø mm	Frame Size	Wellen-Ø inch	mm
90S	24	143T	0,875	22,2
90L	24	145T	0,875	22,2
100L	28	-	-	-
112M	28	184T	1,125	28,6
132S	38	213T	1,375	34,9
132M	38	215T	1,375	34,9
160M	42	254T	1,625	41,3
160L	42	256T	1,625	41,3
180M	48	284T	1,875	47,6
180L	48	286T	1,875	47,6
200L	55	326T	2,125	54
225S	60	364T	2,375	60,3
225M	60	365T	2,375	60,3
250M	65	405T	2,875	73
280S	75	444T	3,375	85,7
280M	75	445T	3,375	85,7

Tabelle 30.8 Wellendurchmesser von 4poligen Drehstrom-Asynchronmotoren vergleichbarer Baugröße nach IEC/EN bzw. NEMA

30.9 Blockier-Scheinleistung (Code Letter)

Die Netzverhältnisse in Nordamerika machen eine Betrachtung der zusätzlichen Belastung beim Einschalten (»inrush«) notwendig. Während in Europa das Anzugsstromverhältnis I_A/I_N als Kennwert benutzt wird, verlangt NEMA MG1-10.37 die Angabe der auf die Abgabe (HP) bezogenen **Blockierscheinleistung** P_A (kVA), also das Verhältnis P_A/P_N in kVA/HP.

Dieser Kennwert wird in Form des »Code Letter« gemäß der folgenden Tabelle angegeben:

Code Letter	kVA/HP	Code Letter	kVA/HP
A	< 3,15	K	≥ 8,0 ... < 9,0
B	≥ 3,15 ... < 3,55	L	≥ 9,0 ... < 10
C	≥ 3,55 ... < 4,0	M	≥ 10 ... < 11,2
D	≥ 4,0 ... < 4,5	N	≥ 11,2 ... < 12,5
E	≥ 4,5 ... < 5,0	P	≥ 12,5 ... < 14
F	≥ 5,0 ... < 5,6	R	≥ 14 ... < 16
G	≥ 5,6 ... < 6,3	S	≥ 16 ... < 18
H	≥ 6,3 ... < 7,1	T	≥ 18 ... < 20
J	≥ 7,1 ... < 8,0	U	≥ 20 ... < 22,4
		V	≥ 22,4

Tabelle 30.9.1 Festlegung des Code Letter nach NEMA MG1-10.37

Für Sonderausführungen ist festgelegt:

- Polumschaltung: höchster Code Letter
- Spannungsumschaltung: höchster Code Letter, sofern abweichend
- Frequenz 50/60 Hz: Code Letter bei 60 Hz
- Y/Δ-Anlauf: Code Letter für Anlassstufe Y
- part winding starting: Code Letter für Direktanlauf bei voller Wicklung

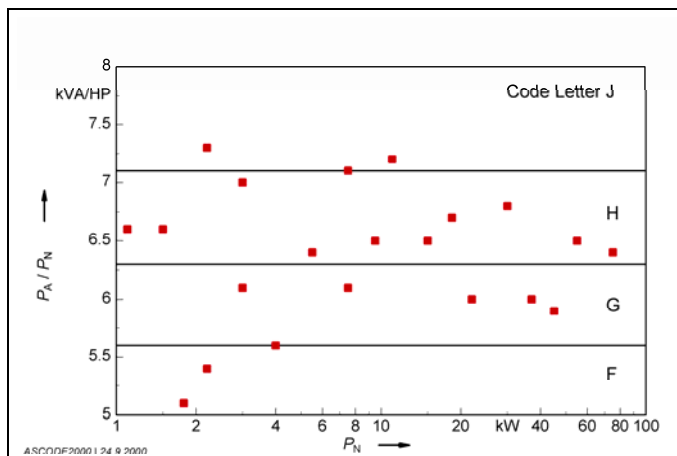
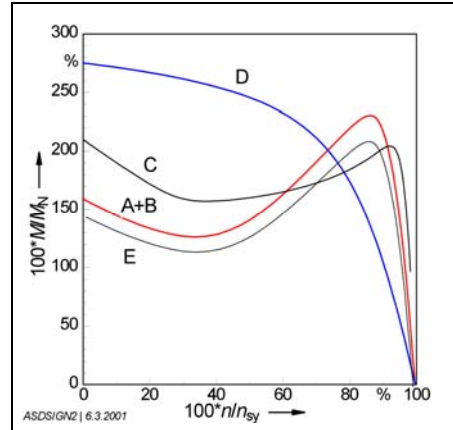


Bild 30.9.1
Streuband des
Code Letters von
4poligen
Katalogmotoren
der
Danfoss Bauer
GmbH

30.10 Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik

NEMA bietet die Auswahl von fünf Varianten, die sich nach dem grundsätzlichen Verlauf des Drehmomentes über der Drehzahl und nach der Höhe des relativen Anzugsstromes unterscheiden. Diese Ausführungen werden als »**Design A, B, C, D, E**« bezeichnet. Design A hat gleiche Drehmoment-Charakteristik wie B, jedoch höheren Anzugsstrom.

Bild 30.10
Grundsätzliche
Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik
bei NEMA Design A, B, C, D, E
(nach NEMA MG10)



Die Grenzen von Anzugsmoment, Kippmoment und Anzugsstrom sind in NEMA MG1 tabellarisch festgelegt. Für übliche Anwendungen wird **meist Design B** verwendet, wobei die Norm allerdings den Schlupf unabhängig von der Baugröße auf 5 % begrenzt (NEMA MG1-1.18.1.2). Dies erscheint für kleine Maschinen technisch nicht notwendig und physikalisch kaum realisierbar.

Design D (weiche Charakteristik ohne ausgeprägtes Kippmoment) wird bei Anwendungen mit hohem Spitzenmoment (Pressen, Scheren, Hebezeuge) bevorzugt.

Mit Design E wird ein Motor mit besonders hohem Wirkungsgrad bezeichnet (höher als gesetzlich nach »EPCA« vorgeschrieben, vgl. Danfoss-Bauer-Sonderdruck SD 34..) – eine Variante, die sich bisher noch nicht allgemein durchgesetzt hat.

30.11 Leitungseinführung in den Anschlusskasten

Im Gegensatz zu Europa, wo vorwiegend 4-adrige Kabel verlegt werden, wird in Nordamerika weitgehend das **Conduit System** bevorzugt: Verlegung in starren Rohren oder flexiblen Schläuchen aus Metall oder Plastik, die mit speziellen Gewinden (**NPT** = National Taper Pipe Thread) verbunden oder eingeführt werden. Die Verlegungstechnik erinnert an die Installation von Gas- oder Wasserleitungen. In den Rohren werden Einzeldrähte geführt. Während also der hiesige Elektroinstallateur an einem polumschaltbaren Motor mit drei Drehzahlen (9 Klemmen) **drei** Pg-Einführungsgewinde (für drei 3(4)-adrige Kabel) erwartet, ist seinem nord-amerikanischen Kollegen mit **einem** möglichst großen Einführungsgewinde am besten gedient.

NPT	ID	Innen-Ø	OD	Außen-Ø	I_{max} nach CSA
inch	inch	mm	inch	mm	A
1/2	0,622	15,8	0,840	21,3	16
3/4	0,824	20,9	1,050	26,7	32
1	1,049	26,6	1,315	33,4	44
1 1/4	1,380	35,1	1,660	42,2	80
1 1/2	1,610	40,9	1,900	48,3	88
2	2,067	52,5	2,375	60,3	130
2 1/2	2,469	62,7	2,875	73,0	190
3	3,068	77,9	3,500	88,9	250
3 1/2	3,548	90,1	4,000	101,6	320
4	4,026	102,3	4,500	114,3	360

Tabelle 30.11.1 Innendurchmesser (ID) und Außendurchmesser (OD) von Rohren mit NPT-Gewinden

Das Gewinde ist konisch, um einen möglichst guten Kontakt zwischen Rohr und Klemmenkasten (Motorgehäuse) herzustellen, weil es erlaubt ist, über das Rohr mit Erde zu verbinden. Wegen der unzureichend definierten »Einschraubdrehmomente« und wegen der Korrosionsgefahr ist diese Erdungsmethode auch in Nordamerika nicht unumstritten, aber im NEC nach wie vor erlaubt. Die Zuordnung der Einführungsgrößen zu den Motorgrößen ergibt sich aus der nachfolgenden Tabelle:

FRAME	14X	18X	21X	25X	28X	32X	36X	40X	44X
NPT	3/4	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	3	3	3

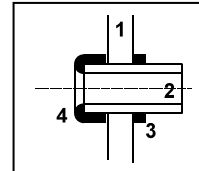
Tabelle 30.11.2 Mindestgröße des NPT-Einführungsgewindes nach NEMA MG1-4.4.1 für NEMA-T-Frames

Das Rohr ragt in den Anschlusskasten hinein; im Inneren muss es vom Installateur mit einer Schutzmutter («bushing») wegen der scharfen Kanten geschützt und außen mit einer Ringmutter gekontert werden: Dies ist einer der Gründe, weshalb im Anschlusskasten sehr **reichliche Abstände** verlangt werden.

Bild 30.11.3

Beispiel für eine Rohreinführung in den Anschlusskasten

- 1 - Wandung des Anschlusskastens
- 2 - Rohr («conduit») zur Einführung der Netzleiter
- 3 - Ringmutter zum Kontern
- 4 - Schutzmutter gegen scharfe Kanten



Folgende Reduziernippel NPT / Pg und NPT / Metrisch werden z. B. von der Fa. R. Stahl Schaltgeräte GmbH angeboten.

NPT	3/8	1/2	1/2	1/2	3/4	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
Pg	7	9	11	13,5	13,5	16	21	29	36	48
M	10	10	-	-	16	-	20/25	32	32	50

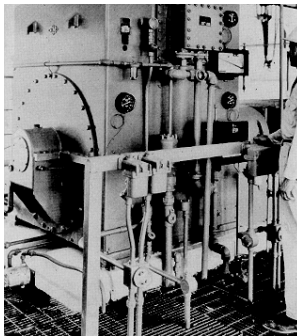


Bild 30.11.4 Beispiele elektrischer Leitungsinstallation im Conduit-System
links: Quelle Worthington Corp rechts: Quelle CEAG

30.12 Häufig verwendete Abkürzungen

Abk.	Bedeutung englisch	Bedeutung deutsch
A	Ampere	Ampere
AC	Alternating current	Wechselstrom
AFD	Adjustable frequency drive	Frequenzumrichter(antrieb)
AMB	Ambient	Umgebung(stemperatur)
AMPS	Ampere	Ampere, Stromstärke
ARM	Armature	Anker
ASD	Adjustable speed drive	Drehzahlverstellbarer Antrieb
ASM	Asynchronous machine	Asynchronmaschine
AVI	Adjustable voltage inverter	Umrichter mit var. U-Zwischenkreis
AWG	American wire gauge	Amerikanische Drahtlehre
BB	Ball bearing	Kugellager
BRG	Bearing	(Wälz)Lager
C	Celsius, Centigrade	°C, Celsiusgrad
C-#	Ceiling mounted	Decken-Anbau
C/S	Cycles per second	Zyklen pro Sekunde, Hz
CAP	Capacitor	Kondensator
CCW	Counterclockwise	Drehrichtung gegen Uhrzeigersinn
CFM	Cubic feet per minute	Kubik-Fuß pro Minute (1 cfm = 28,32 l/min)
CFM	Converter fed machine	Umrichtergespeiste Maschine
CL	Class of insulation	Isolierstoffklasse (Wärmeklasse)
CODE	Code letter	Kennbuchstabe für Blockier-kVA/HP
COMM	Commutating	Kommutierung
COMP	Compensating	Kompensation
CON	Contact	Schalterschütz
CONN	Connection	Schaltung
CONT	Continuous	Dauernd, Dauerbetrieb S1
CPD	Compound	Kompound
CSI	Current source inverter	Umrichter mit Strom-Zwischenkreis
CW	Clockwise	Drehrichtung im Uhrzeigersinn
DC	Direct current	Gleichstrom
DE	Drive end	Antriebsseite
DESIGN #	NEMA Design #	Kennbuchstabe für Drehmoment-Charakteristik
DIAG	Diagram	Diagramm, Schaltbild
DIP	Dust-ignition-proof	Staubexplosionsgeschützt
DP	Drip-proof	Tropfwassergeschützt
DR. END	Drive end	Antriebsseite
DSG	Design	Klassifizierung der Drehmoment-Charakteristik
EEM	Energy efficient motor	Energiesparender Elektromotor
EFF	Efficiency	Wirkungsgrad
ENCL	Enclosure	Gehäuse (Schutzart)
ETD	Embedded temp. detector	Eingebetteter Temperaturwächter
EVSD	Electric variable speed drive	Elektrisch drehzahlverstellbarer Antrieb
EXC	Excitation	Erregung
F	Fahrenheit	Fahrenheit

F-#	Floor mounted	Boden-Aufstellung
FF	Form factor	Formfaktor
FHP	Fractional horsepower	Kleinmotor, Leistung < 1 HP
FLA	Full load amperes	Bemessungsstrom, Volllaststrom
FLD	Field	Feld
FR	Frame	Baugröße
FREQ	Frequency	Frequenz
FV	Open externally-ventilated	Offen, mit Rohranschluss am Lufteintritt, fremdbelüftet
FW	Field weakening	Feldschwächung
GEN	Generator	Generator
GP	General purpose	Offene Maschine für allgemeine Verwendung
GPM	Gallons per minute	Gallonen pro Minute (1 US gal = 3,785 l)
GPS	Gallons per second	Gallonen pro Sekunde (1 US gal = 3,785 l)
GRD	Ground	Erde
H	Henry	Henry
HI	High	Hoch, obere Grenze
HP	Horsepower	Pferdestärke (1 HP = 0,746 kW)
HR	Hour	Stunde
HTR	Heater	Heizelement
HZ	Hertz	Hertz
IND	Induction	Induktion
INS	Insulation (system class)	Isolierstoffklasse, Wärmeklasse
INST	Instrument	(Anzeige) Instrument
INT	Intermittent duty	Aussetzbetrieb
IOL	Instantaneous overload	Plötzliche Überlastung
KVA	Kilovolt-ampere	kVA
KVAR	Reactive kilovolt-ampere	kVar
KW	Kilowatt	kW
L1 (2, 3)	Line 1 (2, 3)	Außenleiter 1 (2, 3)
LB-FT	Pound-feet	Drehmoment-Einheit (1 lb-ft = 1,356 Nm)
LO	Low	Tief, untere Grenze
LRA	Locked rotor amperes	Anzugsstrom
LS	Limit switch	Grenzschalter
MAX	Maximum	Maximum, maximal
MB	Magnetic brake	Magnetbremse
MC	Magnetic clutch	Magnetkupplung
MCS	Motor circuit switch	Motorschütz
MFD	Microfarad	Mikrofarad
MG	Motor-generator	Motor-Generator (satz)
MH	Millihenry	Millihenry
MHP	Millihorsepower	Millihorsepower (1 mHP = 0,746 W)
MIN	Minimum	Minimum, minimal
MIN	Minutes	Minuten
MOUNT	Mounting	Anbau, Aufstellung
MTR	Motor	Motor
NDE	Non-drive ind	Gegen-Antriebsseite

V NORMEN FÜR MOTORAUSFÜHRUNGEN

NEMA	NEMA	Normenorganisation in den USA
NPT	National taper pipe thread	Einführungsgewinde
ODDP	Outdoor drip-proof	Offen, tropfwassergeschützt, Aufstellung im Freien
ODP	Open drip-proof	Offen, tropfwassergeschützt
OL	Overload relay	Überlast-Relais
OPP DE	Opposite drive end	Gegen-Antriebsseite
OZ-FT	Ounce-feet	Drehmoment-Einheit (1 oz-ft = 8,47 cNm)
OZ-IN	Ounce-inch	Drehmoment-Einheit (1 oz-in = 0,706 cNm)
PB	Push button	Drucktaster
PER	Periodic duty	Periodischer Betrieb
PF	Power factor	Leistungsfaktor
PH	Phase(s), Number of phases	Phase(n), Phasenzahl
POT	Potentiometer	Potentiometer
PV	Open pipe-ventilated	Offen, mit Rohranschluss am Lufteintritt, eigenbelüftet
PWM	Pulse width modulation	Pulsbreitenmodulation
QVR	Varistor	Varistor
RB	Roller bearing	Rollenlager
RECT	Rectifier	Gleichrichter
RES	Resistance	Widerstand
RHEO	Rheostat	Einstellbarer Messwiderstand
RMS	Root mean square	Quadratischer Mittelwert
ROT	Rotation	Drehung
RPM	Revolutions per minute	Drehzahl, Umdrehungen pro Minute
RTD	Resistance temp. detector	Widerstandsthermometer
SB	Sleeve bearing	Gleitlager
SCR	Silicon controlled rectifier	Thyristor
SEC	Second (time)	Sekunde
SEC	Secondary	Sekundär
SER	Serial (number)	Seriennummer
SER	Series	Serie
SF	Service factor	Betriebsfaktor
SFA	Service factor amperes	Strom bei Ausnutzung des Betriebsfaktors
SH	Shunt	Nebenschluss
SHP	Shaft horsepower	(Mechanische) Leistung an der Welle
SHTD	Short-time duty	Kurzzeitbetrieb
SOL	Solenoid	Magnetspule
SP	Splash-proof	Spritzwassergeschützt
SPL	Special	Spezial
SR	Synchronous reluctance	Reluktanz-Synchronmotor
STAB	Stabilized, stabilizing	Stabilisierung
STD	Standard	Norm, genormt
T	Transformer	Transformator
T#	Terminal marking	Anschlussbezeichnung
T/C	Thermocouple	Thermoelement
TACH	Tachometer	Drehzahlgeber

TB	Terminal block	Klemmenleiste
TC	Thermocouple	Thermoelement
TE	Totally-enclosed	Völlig geschlossen
TEFC	Totally-enclosed fan-cooled	Völlig geschlossen, oberflächenbelüftet
TEFP	Totally-enclosed flameproof	Völlig geschlossen, druckfest gekapselt
TEFV	Totally-enclosed forced-ventilated	Völlig geschlossen, fremdbelüftet
TEMP RISE	Temperature rise	Temperaturerhöhung, Erwärmung
TENV	Totally-enclosed nonventilated	Völlig geschlossen, unbelüftet
TEPV	Totally-enclosed pipe-ventilated	Völlig geschlossen, mit Rohranschluss für Durchzugbelüftung
TERM	Terminal	Klemme
TEWA	Totally-enclosed water-air-cooled	Völlig geschlossen, Luft/Wasser-Wärmetauscher
TEWC	Totally-enclosed water-cooled	Völlig geschlossen, Leiter direkt wassergekühlt
TH	Thermometer	Thermometer
TIME	Time rating	Auslegung für begrenzte Laufzeit
TORQ	Torque	Drehmoment
TR	Time delay relay	Zeitrelais
TYPE	Type	Typ
TYPE #	NEMA 250 type of enclosure	Gehäuse-Schutzart nach NEMA 250
V	Volts, Voltage	(Bemessungs)spannung in V
VA	Volt-amperes	VA
VAR	Varying duty	Betrieb mit Wechselbelastung
VAR	Reactive volt-amperes	Var
VF	Variable frequency	Verstellbare Frequenz
VFD	Variable frequency drive	Frequenzumrichter(antrieb)
VM	Voltmeter	Spannungsmesser
VOLTS	Volts	(Bemessungs)spannung in V
VSD	Variable speed drive	Antrieb mit verstellbarer Drehzahl
VSI	Voltage source inverter	Umrichter mit Spannungs-Zwischenkreis
VVI	Variable voltage input	Einstellbare Eingangsspannung
W	Watt	Watt
W-#	Wall mounted	Wand-Aufstellung
WDG	Winding	Wicklung
WM	Wattmeter	Leistungsmesser
WP	Weather-protected	Offene, durchzugbelüftet, mit Wetterschutz
WPRF	Water-proof	Völlig geschlossen, strahlwassergeschützt
WRIM	Wound rotor induction motor	Schleifringläufer-Motor
WT	Weight	Gewicht (Masse)
XP	Explosion-proof	Explosiongeschützt

Leerseite für Notizen

VI EMISSIONEN

31 Geräusch

Schon in der Ausgabe von 1966 der VDE 0530 "Bestimmungen für elektrische Maschinen" waren Grenzwerte für die Geräuschstärken enthalten, die auf Entwürfe des Jahres 1962 zurückgingen. Dies dokumentiert die frühzeitigen Bemühungen der Hersteller und Betreiber von elektrischen Maschinen sowie der deutschen Normengremien, einen aktiven Beitrag zum **Umweltschutz** zu leisten – auch ohne Anstoß durch Behörden oder öffentlich propagiertes Umweltbewusstsein. Ausführliche Angaben zu diesem Thema im Danfoss-Bauer-Sonderdruck SD 1800.

31.1 Schalleistungspegel – Schalldruckpegel

Diese beiden Begriffe müssen bei einem Vergleich von Grenzwerten beachtet werden. Schon seit der ersten Ausgabe wird in IEC 60034-9 (z.Zt. Entwurf IEC2/1383/CDV:2006) der **Schalleistungspegel** verwendet. Diese Angabe für eine Geräuschemission wird inzwischen zwar weitgehend in den Normen, jedoch noch nicht allgemein in Katalogen und Spezifikationen verwendet. Es gilt:

$$L_{WA} = L_{pA} + L_S$$

L_{WA} - A-Schalleistungspegel in dB(A)
 L_{pA} - A-Schalldruckpegel in dB(A)
 L_S - Messflächenmaß in dB

$$L_S = 10 \cdot \lg \left(\frac{S}{S_0} \right)$$

S - Messflächeninhalt in m²
 S_0 - Bezugswert 1 m²

Der rein rechnerisch ermittelte Messflächeninhalt S und seine Umrechnung als Messflächenmaß bewerten die geometrischen Abmessungen einer Schallquelle (siehe **Bild 34.1**).

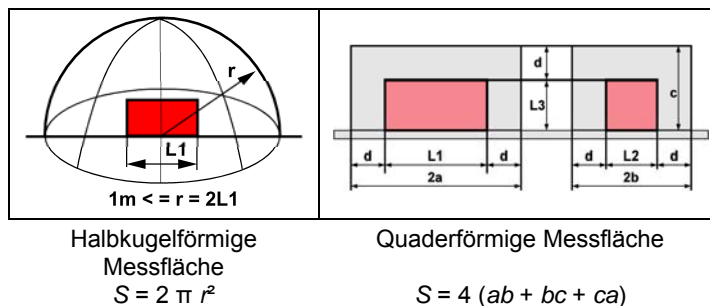


Bild 34.1
 Schema zu Bestimmung der Messfläche als Ausgangswert für das Messflächenmaß

31.2 Messflächenmaß

Zitat aus dem Nationalen Vorwort zur Norm: "Die Bestimmung der Schalleistung über Schalldruckmessungen erfordert eine Festlegung über die Form der zu verwendenden Messfläche. Zwei Varianten – die halbkugelförmige und die quaderförmige Messfläche – sind gebräuchlich. Während die USA die Halbkugel bevorzugen, wird in den Ländern der EU der Quader verwendet. Die Einigung auf eine einzige Messfläche war bei IEC nicht zu erreichen, was zu dem in IEC 60034-9 genannten Kompromiss führte (kleine Maschinen Halbkugel, große Maschinen Quader). In den EU-Gremien befriedigte dieser Kompromiss nicht, so dass man sich zu einer gemeinsamen technischen Abweichung entschloss, die – der europäischen Praxis folgend – den Quader als einheitliche Messfläche vorschreibt. Er wird auch verwendet, wenn aus der Schalleistung Schalldruckpegel berechnet werden sollen."




Normmotor der Achshöhe	Rundwert L_S (dB) aus Kugelform	Rundwert L_S (dB) aus Quaderform	Differenz dB
			
56	9	12	3
63	9	12	3
71	9	12	3
80	9	12	3
90	9	12	3
100	9	12	3
112	9	12	3
132	10	12	2
160	10	13	3
180	10	13	3
200	10	13	3
225	11	13	2
250	11	14	3
280	11	14	3
315	12	14	2
355	12	15	3
400	12	15	3

Tabelle 31.2 Richtwerte für das Messflächenmaß von Käfigläufer-Normmotoren nach verschiedenen Verfahren

31.3 Grenzwerte für alle Maschinenarten

Gewissermaßen als »Dach« für **alle Arten** von drehenden elektrischen Maschinen sind in Tabelle 1 der Norm Grenzwerte für sechs Drehzahlstufen im Bereich $\leq 960 \dots 3750$ r/min, für zehn IC-Kühlarten nach IEC 60034-6 und für vier typische IP-Schutzarten nach IEC 60034-5 festgelegt. Der Auszug in **Tabelle 31.3** beschränkt sich auf den Bereich, der durch mit Normmotoren vergleichbare Baugrößen abgedeckt wird. Die erste Leistungsgruppe ($1,0 < P_N \leq 1,1$) macht wenig Sinn, wird aber von kompetenter Stelle als richtig bezeichnet.

n_N in r/min →		$n_N \leq 960$	960 $< n_N \leq 1320$	1320 $< n_N \leq 1900$	1900 $< n_N \leq 2360$	2360 $< n_N \leq 3150$	3150 $< n_N \leq 3750$
↓ P_N in kW	L_s^* in dB 1) / 2)	Leerlauf - Grenzwert für den A-Schalleistungspegel L_{WA} in dB(A)					
1,0 < $P_N \leq 1,1$	9 / 12	73	76	78	81	84	88
1,1 < $P_N \leq 2,2$	10 / 12	74	78	82	85	88	91
2,2 < $P_N \leq 5,5$	10 / 12	78	82	86	90	93	95
5,5 < $P_N \leq 11$	10 / 12	82	85	90	93	97	98
11 < $P_N \leq 22$	11 / 13	86	88	94	97	100	100
22 < $P_N \leq 37$	11 / 13	90	91	98	100	102	102
37 < $P_N \leq 55$	11 / 14	93	94	100	102	104	104
55 < $P_N \leq 110$	12 / 14	96	98	103	104	106	106
110 < $P_N \leq 220$	12 / 14	99	102	106	107	109	110
220 < $P_N \leq 550$	12 / 15	102	105	108	109	111	113


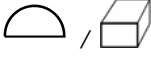
* In der Norm nicht enthaltene Richtwert bei $1320 < n_N \leq 1900$ r/min (z. B. 4poliger DAM)

1) nach DIN 45635, Bl.1/05.74 (überholt) 2) nach DIN EN 21680/11.91

Tabelle 31.3 Geräuschgrenzwerte nach DIN EN 60034-9 (2006) für elektrische Maschinen aller Art im Bereich der genormten Baugrößen; Kühlart IC 411, Schutzart IP44 oder IP54

31.4 Grenzwerte für Drehstrom-Käfigläufermotoren (Normmotoren)

Erstmalig wird in IEC 60034-9 ein in der deutschen Normenpraxis schon lange bewährtes Prinzip übernommen: Die Geräuschgrenzwerte der in der Anwendung überwiegenden und in der Entwicklung weit fortgeschrittenen Normmotoren werden in einer getrennten Tabelle 2 der Norm dargestellt. Bei der Anwendung dieser Tabelle ist zu beachten, dass die Geräuschgrenzen einem logischen deutschen Vorschlag folgend erstmalig nach **Motor-Achshöhen** gestuft sind.

AH (mm)	L_S * (dB)	L_{WA} (dB) 8polig	L_{WA} (dB) 6polig	L_{WA} (dB) 4polig	L_{WA} (dB) 2polig
					
90	9/12	63	63	66	78
100	9/12	64	64	70	82
112	9/12	70	70	72	83
132	10/12	71	73	75	85
160	10/13	72	73	77	87
180	10/13	76	77	80	88
200	10/13	79	80	83	90
225	11/13	79	80	84	92
250	11/14	80	82	85	92
280	11/14	82	85	88	94
315	12/14	88	89	94	98
355	12/15	92	94	95	100
400	12/15	94	95	96	100

* Richtwert für 4poligen Normmotor



Messflächenmaß aus Halbkugelform



Messflächenmaß aus Quaderform

Tabelle 31.4 Leerlauf-Grenzwerte des A-Schalleistungspegels für Drehstrom-Normmotoren nach DIN EN 60034-9, Tabelle 2

31.5 Richtwerte für einen Lastzuschlag

Geräuschmessungen an elektrischen Maschinen bei Bemessungsleistung sind verhältnismäßig aufwändig, weil die Trennung der von der Belastungseinrichtung verursachten Geräusche physikalisch recht schwierig ist. Da der Einfluss der Belastung andererseits relativ gering ist, wurde bisher meist der Geräuschpegel der leerlaufenden Maschine genormt oder angegeben und es wurde ein pauschaler Zuschlag von etwa 3 dB genannt.

In IEC 60034-9 sind nun erstmalig differenzierte Lastzuschläge zum Leerlaufpegel festgeschrieben (Auszug **Tabelle 31.5**). Sie gelten bei 50 und 60 Hz.

Bemessungsleistung P_N (kW)	8polig	6polig	4polig	2polig
$1,0 < P_N \leq 11$	8	7	5	2
$11 < P_N \leq 37$	7	6	4	2
$37 < P_N \leq 110$	6	5	3	2
$110 < P_N \leq 400$	5	4	3	2

Tabelle 31.5

Richtwerte für die Geräuscherhöhung bei Bemessungsleistung gegenüber den Leerlaufwerten nach Tabelle 31-4 von Drehstrom-Käfigläufermotoren bei 50 oder 60 Hz; Kühlart z.B. IC411, Schutzart z.B. IP54

31.6 Richtwerte für einen 60 Hz-Zuschlag

Die Grenzwerte nach Tabelle 31.4 erhöhen sich bei 60 Hz-Motoren um folgende Richtwerte:

Polzahl	8	6	4	2
60 Hz-Zuschlag etwa (dB)	3	3	3	5

Tabelle 31.6 60 Hz-Zuschlag auf Werte der Tabelle 31.4

31.7 Geräuschzunahme bei Umrichterspeisung

Die Geräuschabstrahlung elektromagnetischen Ursprungs bei Umrichterspeisung kann als Überlagerung betrachtet werden von:

- **Geräuschen**, die durch Spannungen und Ströme der **Grundfrequenz** erzeugt werden – identisch mit dem Geräusch am sinusförmigen Netz mit denselben (vergleichbaren) Werten;
- **Geräuschzunahmen**, die durch **Harmonische** der Spannungen und Ströme verursachten werden.

Richtwerte für die von der Umrichterart abhängigen Geräuschzunahmen ergeben sich aus **Tabelle 31.7**.

Umrichterart	Fall	Erwartete Erhöhung
Stromgeführter Umrichter	6- oder 12-pulsig	1 bis 5 dB(A) Die höheren Werte beziehen sich auf Motoren mit niedrigen Ventilationsgeräuschen. Erhöhung ist lastabhängig
Typ A Spannungsgeführter Umrichter	Harmonische mit hohen Amplituden regen Resonanzen des Motors an	bis zu 15 dB(A) Erhöhung ist lastunabhängig. Vorausberechnung ist mit geeigneten Programmen möglich.
	Harmonische mit hohen Amplituden regen keine Resonanzen des Motors an	1 bis 5 dB(A) Erhöhung ist lastunabhängig
Typ B Spannungsgeführte Umrichter	Breitbandiges Spektrum der harmonischen Spannungen ohne herausragende Spitzen	5 bis 10 dB(A) Erhöhung ist lastunabhängig

Tabelle 31.7
Richtwerte für die Geräuschzunahme bei Umrichterspeisung

31.8 Rückblick auf Geräuschgrenzwerte 1984

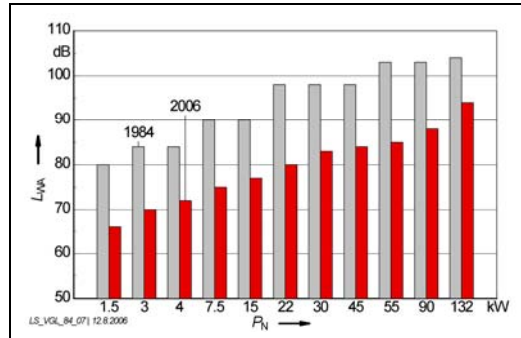
Normen für Geräuschgrenzwerte haben in früheren Jahren die Hersteller elektrischer Maschinen zu besonderen konstruktiven und technologischen Anstrengungen gezwungen – heute spiegeln sie global den Stand der Technik wider. Die messtechnisch belegten Kennzahlen einiger deutscher Hersteller zeigen, dass die IEC-Werte in Einzelfällen durchaus unterschritten werden können.

Das **Diagramm 31.8** zeigt am Vergleich der Grenzwerte nach DIN 57530 Teil 9:1984 mit DIN EN 60034-9 (VDE 0530-9):2006, welcher großen Beitrag zur Entlastung der Umwelt die Hersteller elektrischer Maschinen auf diesem Gebiet geleistet haben.

Bild 31.8
Vergleich von Geräuschgrenzwerten
für 4polige, oberflächenbelüftete
Drehstrom-Asynchronmotoren bei 50 Hz

1984: DIN 57530-9 (VDE 0530-9)
(umgewertet auf Schallleistungspegel)

2006: DIN EN 60034-9 (VDE 0530-9)



31.9 Emissionskennwerte von Getrieben (ETS)

Die Geräusch-Emissionskennwerte für Getriebe sind im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V. in den Jahren 1977 bis 1981 vom Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen ermittelt worden. In der Richtlinie VDI 2159 vom Juli 1985 sind Emissionskennfelder dargestellt, sie beruhen auf Geräuschuntersuchungen an 149 Getrieben von insgesamt 37 Herstellern. Die Messergebnisse sind in der Richtlinie nach einer statistischen Auswertung als breites Streuband dargestellt. Zur Abschätzung der Messergebnisse der Serienmessungen wurde eine 80%-Linie gewählt. Diese Prozentlinie wurde nach einem Abschätzverfahren der nichtparametrischen Statistik ermittelt. Die 80%-Linie, die auch durch die in den typspezifischen Diagrammen angegebene logarithmische Gleichung ausgedrückt wird, sagt aus, dass 80 % der nach DIN 45635 Teil 23 oder den im Anhang beschriebenen Sondermessverfahren ermittelten Geräuschemissionswerte der betreffenden Getriebeart unterhalb dieser Kurve liegen.

Diese Aussage stimmt mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % und gilt für den technischen Stand zum Zeitpunkt der Untersuchungen (1985). Nach Auskunft des Verfassers des Abschlussberichtes zu dieser umfangreichen, in dieser Form bisher nicht wiederholten Versuchsreihe kann nach dem heutigen Stand bei hoher Fertigungstechnik mit einer Verminderung der Geräuschpegels um etwa 5 dB gerechnet werden. Dieser Stand ist zusätzlich in den Vergleich aufgenommen. Im **Bild 31.9.1** ist das Streuband der Nenn-Geräuschwerte von Danfoss-Bauer-Stirnradgetrieben (ohne Motor) mit den 80-%-Linien der ETS (veröffentlicht für Stand 1985 und umgewertet für Stand 1999) verglichen. **Bild 31.9.2** gilt sinngemäß für Kegelradgetriebe.

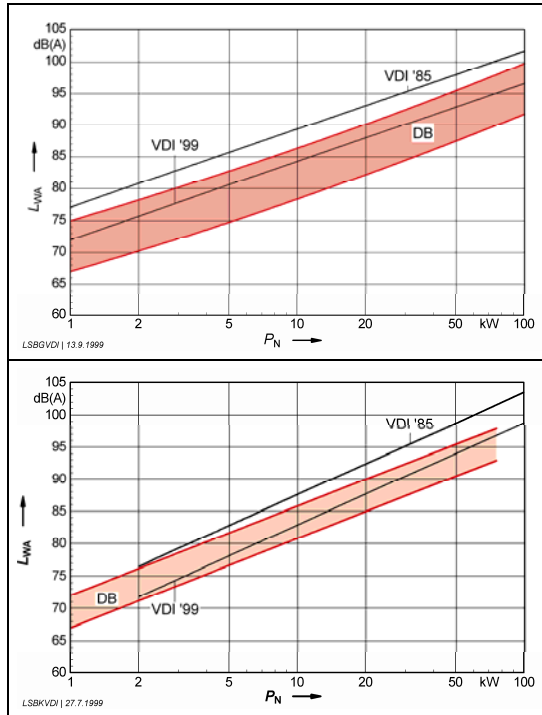


Bild 31.9.1
Vergleich der Schalleistungspegel L_{WA} von Stirnradgetrieben mit Nennleistungen $P_N = 1 \dots 100$ kW

Bild 31.9.2
Vergleich der Schalleistungspegel L_{WA} von Kegelradgetrieben mit Nennleistungen $P_N = 1 \dots 100$ kW

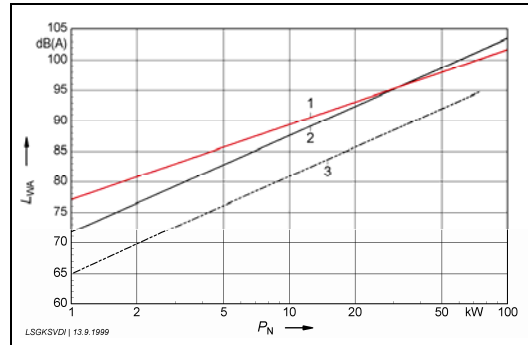
Erläuterung der Abkürzungen:

- VDI '85** 80-%-Linie nach ETS VDI-Richtlinie 2159, gültig für 80 % aller hergestellten Getriebe (ohne Motor); Stand 1985
- VDI '99** 80-%-Linie nach ETS VDI-Richtlinie (ohne Motor), umgewertet auf den Stand 1999
- DB** Streuband der Nennwerte (mit Motor) für Danfoss-Bauer-Getriebe

Diese Grundsatzarbeit erlaubt auch den **Vergleich von verschiedenen Getriebebauarten** auf der Basis gleicher Messbedingungen. Verglichen sind nach dem Stand von 1985 die 80%-Linien von Stirnradgetrieben, Kegelradgetrieben oder Kegel-Stirnradgetrieben sowie Schneckengetrieben ohne Stirnradstufe (**Bild 31.9.3**). Der aktuelle Stand liegt zumindest bei Stirnrad- und Kegelradgetrieben um etwa 5 dB niedriger. Darüber hinaus ist zu beachten, dass Schneckengetriebe im Baukastensystem eines Getriebemotors meist eine vorgeschaltete Stirnradstufe haben, die für das Gesamtgeräusch entscheidend ist. Der im Diagramm gezeigte, deutliche Geräuschvorteil der Schnecken-Getriebe gilt also ausdrücklich nur dann, wenn **keine Stirnradstufe** vorgeschaltet ist.

Bild 31.9.3
Vergleich der Geräuschemission

- 1 Stirnradgetriebe
- 2 Kegelradgetriebe und Kegel-Stirnradgetriebe
- 3 Schneckengetriebe (ohne Stirnradstufe)



31.10 Richtwerte für den Schallpegel von Getriebemotoren

Das im **Bild 31.10** dargestellte Streuband mit Richtwerten für den A-Schalldruckpegel 4poliger Drehstrom-Stirnrad-Getriebemotoren schließt neben den Einflüssen von Getriebegröße und Untersetzung auch den Belastungsgrad und Toleranzen ein. Die Grenzlinie nach EN 60034-9 (2006) Tab.1 gilt für alle Arten von drehenden elektrischen Maschinen. In Tabelle 2 dieser Norm sind für Normmotoren niedrigere Grenzwerte festgelegt. Es ist bemerkenswert und kann als Beweis für den hohen Stand von Entwicklung und Fertigung der Danfoss-Bauer-Antriebe betrachtet werden, dass die Geräuschrichtwerte der Getriebemotoren teilweise deutlich unter den Grenzwerten liegen, die für Elektromotoren **ohne Getriebe** festgelegt wurden. Im Leistungsbereich von 0,7 bis 100 kW wurde in das Diagramm zusätzlich eingezeichnet, was nach VDI 2159 Emissionskennwerte technischer Schallquellen den Stand der Technik bei Stirnrad-Untersetzungsgetriebenen (ohne Motor) darstellt. Das gesamte Streuband von 4poligen Danfoss-Bauer-Getriebemotoren liegt demnach deutlich unter den Werten, die nach Aussage der VDI-Richtlinie für 80 % aller Stirnradgetriebe (ohne Motor) als Geräuschemissionswerte erwartet werden können.

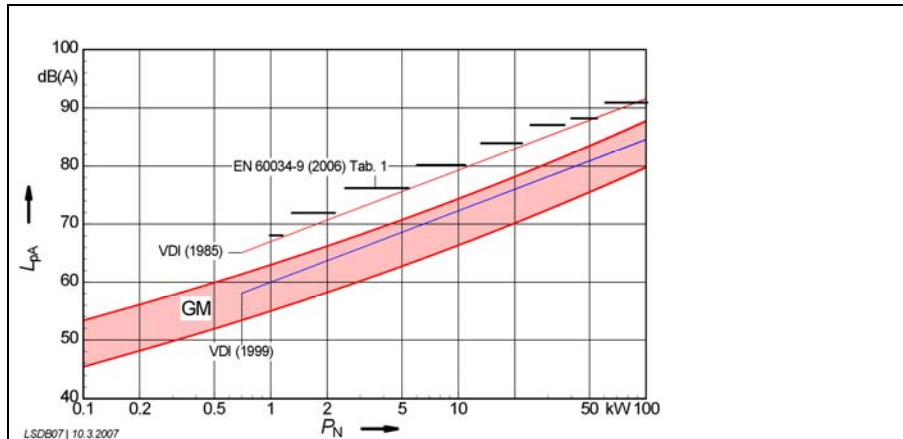


Bild 31.10

Richtwerte für den A-Schallleistungspegel L_{pA} von 4poligen Drehstrom-Stirnradgetriebemotoren in 1 m Abstand (GM) bei Bemessungsleistungen 0,1 ... 100 kW im Vergleich zu folgenden Festlegungen:

EN 60034-9:2006 Tab. 1 gültig für alle Arten von drehenden elektrischen Maschinen mit etwa 1500 r/min, umgewertet von Leistungspegel auf Druckpegel

VDI (1985) Richtlinie VDI 2159, gültig für 80 % aller Industrie-Stirnradgetriebe (ohne Motor), Stand 1985

VDI (1999) Richtlinie VDI 2159, gültig für 80 % aller Industrie-Stirnradgetriebe (ohne Motor), Stand 1999

GM Streuband der Getriebemotoren Reihe 2000 von Danfoss Bauer

Im Bild 31.10 wurden A-Schall~~leistungs~~**druck**pegel angegeben, weil die VDI-Werte noch in dieser Einheit gelistet sind und weil in der Praxis immer noch diese Größe bevorzugt wird. Der in der Norm genannte Schall~~leistungs~~**leistungs**pegel liegt je nach Baugröße der Antriebseinheit um etwa 12 ... 14 dB höher, sofern er nach EN 21680/11.91 bestimmt wird. Gegenüber früheren Festlegungen in DIN 45635 Teil 1 bestehen Unterschiede von etwa 2 ... 3 dB.

Bei Getriebemotoren ist die Zahl der möglichen Typen oder Baugrößen wesentlich höher als bei Normmotoren; und selbst innerhalb einer bestimmten Typenkombination können neben den durch Fertigung und Messfehler bedingten Toleranzen auch noch erhebliche auslegungsbedingte Unterschiede auftreten. **Wenn daher im Projektstadium ein relativ niedriger Geräuschpegel verbindlich festzulegen ist, empfiehlt sich in jedem Einzelfall ein rechtzeitiger Kontakt mit dem Hersteller.**

32 Schwingungen

Mechanische Schwingungen sind nicht vollständig vermeidbar. Sie können beim Übersteigen von zulässigen Grenzwerten zu Störungen mit erheblichen Folgeschäden führen.

32.1 Beurteilungsgrenzen

In der international anerkannten VDI-Richtlinie 2056 wird als Maß für das Schwingverhalten die **Schwingstärke** eingeführt, die dem Effektivwert der **Schwinggeschwindigkeit** entspricht. Die Richtlinie befasst sich primär mit der **Emission** (Abgabe) von Schwingungen. Da speziell für elektrische Maschinen keine allgemein bekannten Normen oder Richtlinien für die zulässige **Immission** (Einwirkung) vorhanden sind, kann die VDI-Richtlinie 2056 auch als Maßstab für die zulässige Schwingbeanspruchung verwendet werden.

Maschinen und Geräte werden in die Gruppen K, M, G, T, D, und S eingeteilt, von denen für elektrische Maschinen vor allem wichtig sind:

- Gruppe K: insbesondere serienmäßig hergestellte Elektromotoren bis etwa 15 kW,
- Gruppe M: insbesondere Elektromotoren von 15 bis 75 kW Leistung.

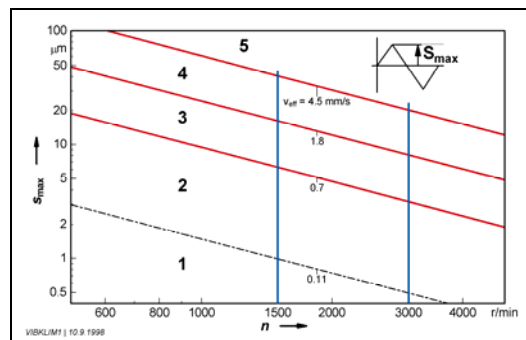
Für diese Maschinengruppen sind im **Bild 32.1** als Auszug in vereinfachter Form die Beurteilungsgrenzen in zwei Diagrammen dargestellt. Darin bedeuten:

- s_{\max} Wegamplitude (Spitzenwert der Halbwelle)
- n Drehzahl
- v_{eff} effektive Schwinggeschwindigkeit (Schnelle)
- 1 Bereich unterhalb der mittleren Spürbarkeitsschwelle des Menschen
- 2 Bereich »gut«
- 3 Bereich »brauchbar«
- 4 Bereich »noch zulässig«
- 5 Bereich »unzulässig«.

Bild 32.1

Beurteilungsgrenzen für das Schwingverhalten nach VDI 2056

a) Maschinengruppe K



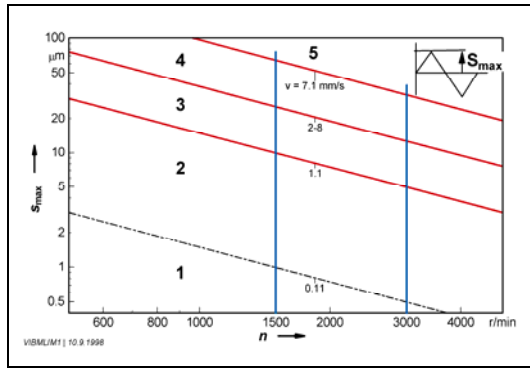


Bild 32.1

b) Maschinengruppe M

Die Schwingstärke ist mit relativ einfachen Mitteln vor Ort messbar. Messbedingungen und Messpunkte sind in VDI 2056 und DIN ISO 2373 festgelegt. Eine Zuordnung der subjektiven Wahrnehmung zu den objektiven Meßwerten und den Beurteilungsgrenzen ist in **Bild 32.2** gegeben.

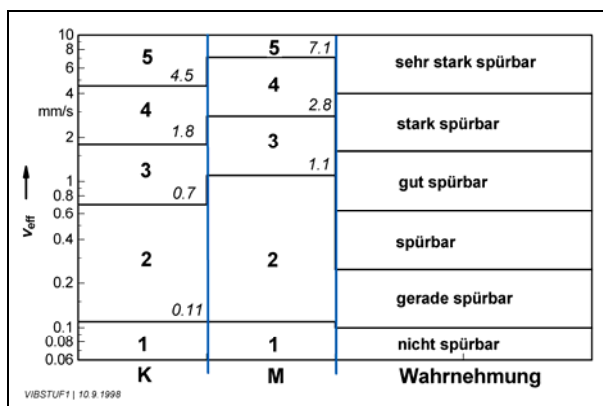


Bild 32.2

Zuordnung der subjektiven Wahrnehmbarkeit zu den Beurteilungsgrenzen in Anlehnung an VDI 2057

Im Sicherheitsmerkblatt des FV1 im ZVEI werden folgende Grenzen für die Einwirkung äußerer Schwingungen im Bereich der Lagerstellen als unbedenklich bezeichnet:

- Maschinengruppe K: $v_{eff} \leq 3,5$ mm/s im Lauf,
- Maschinengruppe M: $v_{eff} \leq 4,5$ mm/s im Lauf,
- alle Maschinengruppen: $v_{eff} < 0,2$ mm/s im Stillstand (z. B. Einlagerung).

Die Betriebswerte liegen etwa in der Mitte des Bereichs 4 »noch zulässig« .

32.2 Grenzwerte der Schwingstärke

Mit Ausgabedatum September 2004 ist erschienen:

DIN EN 60034-14 (VDE 0530 Teil 14)

Drehende elektrische Maschinen

Teil 14: Mechanische Schwingungen von bestimmten Maschinen mit einer Achshöhe von 56 mm und höher

Messung, Bewertung und Grenzwerte der Schwingstärke

Diese Norm basiert auf IEC 60034-14 : 2003

Rotating electrical machines

Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher - Measurement, evaluation and limits of vibration severity

Die Norm ersetzt DIN EN 60034-14 (VDE 0530 Teil 14) vom September 1997, die jedoch noch bis zum 01. Dezember 2006 angewendet werden durfte.

Die lange Übergangsfrist war u. a. notwendig, weil Abstufung und Grenzwerte der zulässigen Schwingstärke erheblich verändert wurden. Dies macht eine Anpassung der Dokumentation bei Herstellern (z. B. Kataloge, Datenblätter, Betriebsanleitungen) und Betreibern (z. B. Maschinenkarten) notwendig.

Als Änderungen werden im Nationalen Vorwort der Norm erwähnt;

a) Reduzierung der Schwingwerte neuer Maschinen bei Abnahmen im Herstellerwerk; die neuen Werte basieren auf einer Kombination von Schwingweg, Schwinggeschwindigkeit und Schwingbeschleunigung statt nur der Schwinggeschwindigkeit:

b) der Drehzahlbereich wurde erweitert;

c) die Anzahl der Achshöhenbereiche wurde reduziert;

d) ein Verfahren zur Bewertung von Vertikalmaschinen wurde eingefügt.

Dieser Abschnitt enthält lediglich einige Auszüge aus den Tabellen für die Grenzwerte der Schwingstärke und einen Vergleich zwischen den alten und den neuen Festlegungen; er kann und soll das Studium der neuen Norm nicht ersetzen.

Quellen: VDE VELAG GMBH 10625 Berlin oder Beuth Verlag GmbH 10772 Berlin

32.3 Aufhängung

Das Schwingungsverhalten einer elektrischen Maschine ist eng mit ihrer Aufstellung verbunden.

Für die Prüfung von Motoren im Bereich der genormten Achshöhen wird meist die **"freie Aufhängung"** gewählt, wobei der Prüfling an einer Feder aufgehängt oder auf einer elastischen Unterlage (Federn, Gummi usw.) aufgestellt wird. Die notwendige Elastizität Z der Federung kann in Abhängigkeit von der Bemessungsdrehzahl n zwischen 600 und 3600 r/min aus dem Diagramm abgelesen werden.

Für Drehzahlen unter 600 r/min sind Messungen mit freier Aufhängungen nicht aussagekräftig.

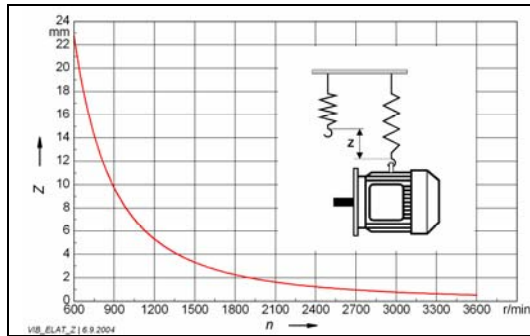


Bild 32.3
Elastizität Z in Abhängigkeit
von der Bemessungsdrehzahl
 n bei der Prüfung in freier
Aufhängung

Für die Prüfung bei "**starrer Aufstellung**" sind die in der Norm genannten Kriterien zu beachten.

Diese Aufstellungsart kann notwendig werden, wenn bei 2poligen Maschinen elektromagnetisch erregte Schwingungen mit doppelter Netzfrequenz auftreten.

Wenn die Typprüfung bei Maschinen mit einer Achshöhe $H > 280$ mm eine bestimmende Komponente mit doppelter Netzfrequenz zeigt, darf die Grenze der maximalen Schwinggröße in Tabelle 1 (Stufe A) von 2,3 mm/s (Effektivwert) auf 2,8 mm/s (Effektivwert) erhöht werden. Größere Werte sind vorher zu vereinbaren. Eine Komponente mit doppelter Netzfrequenz wird als dominierend angesehen, wenn die Typprüfung zeigt, dass sie größer als 2,3 mm/s (Effektivwert) ist.

32.4 Grenzwerte nach alter Norm

Das Original enthält sieben detaillierte Anmerkungen, die zusätzlich zu beachten waren, z. B.:

Wenn keine Schwingstärkestufe vereinbart ist, gilt Stufe "N" für Maschinen, die dieser Norm entsprechen.

Maschinen der Schwingstärkestufe "R" werden häufig für die Antriebe von Werkzeugmaschinen bestellt, Maschinen der Schwingstärkestufe "S" werden als Antriebe für Spezialmaschinen mit extremen Laufruheanforderungen eingesetzt. Diese Schwingstärkestufe ist nur für Maschinen mit Achshöhen ≤ 400 mm anwendbar.

Grenzwerte der Schwingstärke in mm/s nach alter Norm
Effektivwert für die Achshöhe H in mm

Schwingstärke Stufe	Bemessungsdrehzahl r/min	$56 \leq H \leq 132$ mm/s	$132 \leq H \leq 225$ mm/s	$225 \leq H \leq 400$ mm/s	$H > 400$ mm/s
N	600 ... 3600	1,8	2,8	3,5	2,8
R	600 ... 3600	0,71	1,12	2,8	1,8
	> 1800 ... 3600	1,12	1,8	2,8	1,8
S	600 ... 1800	0,45	0,71	–	–
	> 1800 ... 3600	0,71	1,12	–	–

32.5 Grenzwerte nach neuer Norm (Auszug)

Grenzwert (Effektivwert) der maximalen Schwinggeschwindigkeit (v) für die Achshöhe H in mm

Schwinggröße Stufe	Aufstellung der Maschine	$56 \leq H \leq 132$ mm/s	$132 \leq H \leq 280$ mm/s	$H > 280$ mm/s
A	freie Aufhängung	1,6	2,2	2,8
	starre Aufspannung	1,3	1,8	2,3
B	freie Aufhängung	0,7	1,1	1,8
	starre Aufspannung	–	0,9	1,5

Die Stufe "A" ist auf Maschinen ohne besondere Schwingungsanforderungen anzuwenden.

Die Stufe "B" ist auf Maschinen mit besonderen Schwingungsanforderungen anzuwenden.

Neben den Grenzwerten für die Schwinggeschwindigkeit enthält die Originaltabelle noch die effektiven Grenzwerte für den Schwingweg (s) und die Beschleunigung (a). Entscheidend für die Bewertung der maximalen Schwinggröße ist der höchste Wert dieser drei Messgrößen.

Für Stückprüfungen an Maschinen mit Drehzahlen zwischen 600 und 3600 r/min ist die Messung der Schwinggeschwindigkeit ausreichend.

32.6 Vergleichswerte

Maschinen ohne besondere Anforderungen an die Schwingungsarmut

Vergleich der Grenzwerte für den Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit v_{eff} bei Maschinen der Achshöhe H , gemessen in freier Aufhängung; gültig für Bemessungsdrehzahlen bis 3600 r/min.

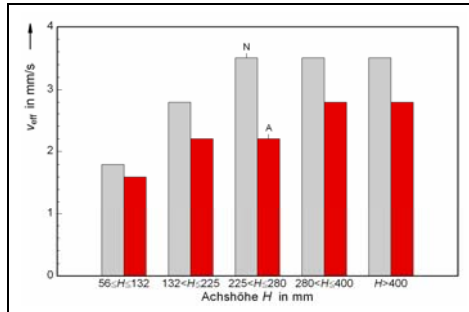


Bild 2
Vergleich der Schwinggeschwindigkeiten

N – nach alter Norm
A – nach neuer Norm

Maschinen mit besonderen Anforderungen an die Schwingungsarmut

Vergleich der Grenzwerte für den Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit v_{eff} bei Maschinen der Achshöhe H , gemessen in freier Aufhängung; gültig für Bemessungsdrehzahlen bis 3600 r/min.

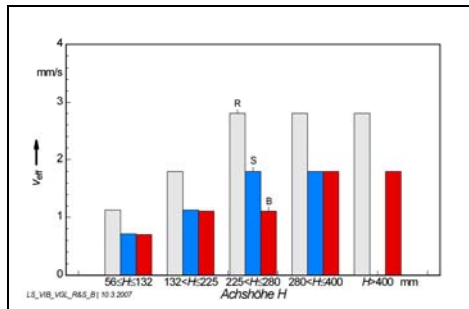


Bild 3
Vergleich von Schwinggrößenstufen

R – nach alter Norm
S – nach alter Norm
B – nach neuer Norm

Zusammenfassung

Basierend auf den Praxiserfahrungen mit der bisher gültigen, auf die 60er Jahre zurückgehenden Norm wurden in der neuen Norm

- die Zahl der Achshöhenbereiche gestrafft
- die Grenzwerte für die Normalausführung reduziert
- der bisherige reduzierte Wert "R" gestrichen
- der bisherige Sonderwert "S" etwa durch die neue Stufe "B" ersetzt.

33 Halbkeilwuchtung

Dieser Abschnitt erläutert die Hintergründe der neuen Norm, vergleicht die bisher übliche und die jetzt für alle Hersteller verbindliche neue Festlegung und gibt Hinweise für die fachgerechte Montage von **Verbundteilen** (Kupplungen, Riemenscheiben, Schwungräder) auf der Welle von Normmotoren.

33.1 Übliche Passfedervereinbarungen

Wenn Wellen oder Rotoren mit Passfedern (z. B. von drehenden elektrischen Maschinen) und die darauf zu montierenden Verbundteile getrennt gefertigt und erst am Aufstellungsort zusammengefügt werden, so muss die Wuchtungsmethode vereinbart werden. Derzeit bestehen drei Vereinbarungen:

- Voll-Passfeder-Vereinbarung (»Vollkeil-Wuchtung«)
- Halb-Passfeder-Vereinbarung (»Halbkeil-Wuchtung«)
- keine-Passfeder-Vereinbarung (Wuchtung ohne Passfeder).

Nach ISO 8821 wurden weltweit u. a. folgende Methoden angewendet:

Land	Organisation	benutzte Passfeder-Vereinbarung
Australien	SAA	unbekannt
Österreich	ON	unbekannt
Belgien	IBN	unbekannt
Kanada	SCC	Halb-Passfeder
Tschechoslowakei	CSN	Voll-Passfeder
Dänemark	DS	unbekannt
Frankreich	AFNOR	Voll-Passfeder
Deutschland	DIN	Voll-Passfeder seit etwa 1965
Ungarn	MSZH	unbekannt
Italien	UNI	unbekannt
Japan	JISC	Halb-Passfeder
Niederlande	NNI	unbekannt
Rumänien	IRS	unbekannt
Südafrika	SABS	unbekannt
Schweden	SIS	Voll-Passfeder
Schweiz	SNV	unbekannt
Großbritannien	BSI	Halb-Passfeder vor 01.01.1978, danach Voll-Passfeder
USA	ANSI	Halb-Passfeder

Anmerkungen:

Wenn kein Einführungsdatum genannt ist, ist anzunehmen, dass früher keine andere Vereinbarung in Kraft war. Infolge der europäischen Harmonisierung kann man annehmen, dass viele europäische Länder die Voll-Passfeder-Vereinbarung seit dem 01.01.1978 anwenden.

33.2 Neue internationale Festlegungen

Die Halb-Passfeder-Vereinbarung wurde 1989 mit ISO 8821 eingeführt und 1991 als DIN ISO 8821 in das deutsche Normenwerk übernommen. Für die Umsetzung dieser für Maschinen aller Art gültigen Norm wurde zunächst das Jahr 1990 genannt. Für drehende elektrische Maschinen galt seit 1978 ein CENELEC-Harmonisierungsdokument (HD) mit der Vollkeilwuchtung, das 1992 durch ein neues HD mit der Halbkeilwuchtung abgelöst wurde. Als Ende der Übergangsfrist für die Fertigung von elektrischen Maschinen mit Vollkeilwuchtung wurde dort der 01.06.1998 festgelegt. Für drehende elektrische Maschinen wurde die allgemeine ISO-Forderung mit DIN EN 60034-14 / VDE 0530 Teil 14 formal umgesetzt. Der Fachverband 1 des ZVEI (Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie e.V.) hat die Hersteller elektrischer Maschinen auf das Ende der Übergangsfrist für die Vollkeil-Vereinbarung hingewiesen und empfohlen, die Besteller entsprechend zu informieren.

33.3 Vor- und Nachteile der bisherigen Voll-Passfeder-Vereinbarung

Vorteile:

- Die Welle wird mit Passfeder gewuchtet und geliefert; das Verbundteil wird ohne Passfeder gewuchtet. Keine Fehler durch falsche Wahl der Passfeder.
- Keine speziellen halben Passfedern erforderlich.
- Abweichende Nutlängen in Welle und Verbundteil unschädlich.
- Subjektive oder objektive Beurteilung des Motors bei einem Prüflauf mit eingelegter Passfeder ohne Verbundteil möglich.
- Welle (mit eingelegter voller Passfeder) und Verbundteil (ohne Passfeder) verlassen die jeweiligen Herstellerwerke in ausgewuchertem Zustand.

Nachteile:

- In Welle (überstehende Passfeder) und Verbundteil (Nut) wird eine zusätzliche Unwucht erzeugt, die mit entsprechendem Aufwand korrigiert werden muss. Je nach Gestaltung der Teile kann dem Massenausgleich eine Grenze gesetzt sein.
- In der Welle wird ein inneres Biegemoment erzeugt. Der vorstehende Teil der Passfeder erzeugt eine Unwucht, die durch Ausgleichsmassen an der Welle in mindestens zwei Ebenen ausgeglichen werden muss (da üblicherweise ein Ausgleich in der Ebene der Passfeder nicht möglich ist). Das innere Biegemoment kann den Auswuchtzustand elastischer Rotoren beeinflussen; bei starren Rotoren ist es ohne Einfluss. Das innere Biegemoment verbleibt in der Welle, auch nach der Montage des Verbundteils.
- Auf dem Weltmarkt gibt es Verwirrung, weil einzelne Hersteller bzw. Länder diese Methode benutzen und gleichzeitig aber bei größeren Wellen die Halb-Passfeder-Vereinbarung verwenden, ohne dass eine wohldefinierte Übergangsregel besteht. Es ergeben sich unvereinbare Komponenten, wenn sie von zwei Herstellern geliefert werden, die unterschiedliche Passfeder-Vereinbarungen benutzen.
- Die Voll-Passfeder-Vereinbarung erlaubt Kupplungsherstellern nicht, der üblichen Praxis folgend ihre Kupplungen auszuwuchten, bevor die Nuten eingearbeitet sind.

33.4 Vor- und Nachteile der neuen Halb-Passfeder-Vereinbarung

Vorteile:

- Keine zusätzliche Unwucht in Welle und Verbundteil – keine unnötigen Korrekturen.
- Keine inneren Biegemomente.
- Verbundteile können – gemäß gängiger Praxis der Hersteller – vor dem Nuten ausgewuchtet werden.

Nachteile:

- Zum Auswuchten muss eine spezielle Passfeder angefertigt werden – bei Scheibenfedern, Nasenkeilen und Einlegekeilen schwer herstellbar.
- Bei Einzelwuchtung (z. B. für Instandsetzer) zusätzliche Kosten.
- Spezielle Passfeder auch am Einsatzort erforderlich, wenn dort das Schwingungsverhalten ohne Verbundteil ermittelt werden soll.
- Wenn die beim Zusammenbau verwendete Passfeder eine andere Länge hat als die bei der Wuchtung verwendete Passfeder, entsteht eine Unwucht.

33.5 Anpassung des Verbundteils

Auch unter der selbstverständlichen Voraussetzung, dass Welle und Verbundteil nach der **gleichen Vereinbarung** gewuchtet sein müssen, ist wegen den unterschiedlichen Längen von Welle und Nabe bei der Montage am Aufstellungsort noch eine Feinanpassung notwendig.

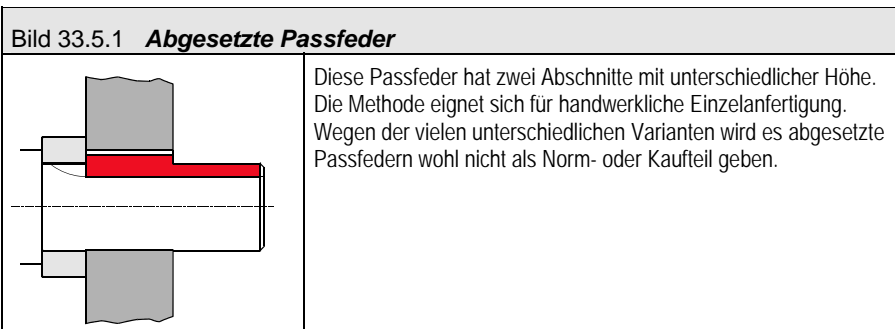
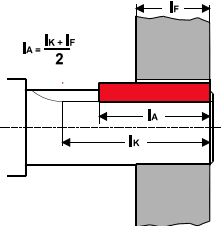
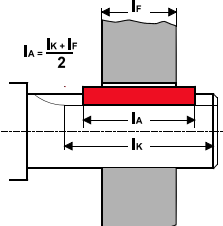
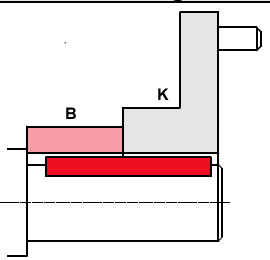


Bild 33.5.2 <i>Passfeder mittlerer Länge</i>	
a)	b)
	
Diese praxisgerechte Anordnung ist zulässig.	Die ideale axiale Anordnung für die auf den Mittelwert der Nutlängen in Welle und Nabe gekürzte Einbau-Passfeder ist die Mitte des rechteckigen Teils der Wellennut. Diese Anordnung wird in der Praxis selten möglich sein.
Bild 33.5.3 <i>Ausgleichsbuchse</i>	
	<p>Die im Vergleich zur Welle »fehlende« Nabenlänge des Verbundteils (K) wird durch eine Buchse (B) ausgeglichen. Diese Ausgleichsbuchse muss nach dem Halbkeil-Verfahren gewuchtet sein.</p> <p>Die Buchse erfüllt auch die Aufgabe einer Distanzhülse und dient dem Unfallschutz.</p> <p>Diese Methode wird von großen Anwendern (z. B. BASF) als »Werksnorm« praktiziert. Es ist wünschenswert, dass die Hersteller von Verbundteilen die passenden Ausgleichsbuchsen in ihr Angebot aufnehmen.</p>

33.6 Kennzeichnung und Liefervereinbarung

Die Halbkeil-Wuchtung muss in der Nähe der Passfedernut »bleibend« mit dem **Buchstaben H** gekennzeichnet werden – bei Motoren auf der Stirnfläche des Wellenstumpfes, bei Verbundteilen auf der nach der Montage sichtbaren Stirnfläche. Wenn die Stirnfläche der Welle zu klein ist, nennt die Norm den Nutgrund als (aus Sicht der Praxis wenig geeignete) Alternative. Die Anwendung der Vollkeil-Wuchtung wurde bisher nicht gekennzeichnet; diese Praxis kann in Sonderfällen nach Vereinbarung zwischen Besteller und Hersteller beibehalten werden. Wenn diese Wuchtungsmethode gekennzeichnet werden soll, so ist als Kennzeichen F festgelegt (Full-key convention). Seit 01.06.1998 sollte für die Hersteller von Motoren und Verbundteilen die Halbkeil-Wuchtung als »Normalausführung« gelten. **Eine abweichende Sonderausführung ist in jedem Einzelfall zu vereinbaren.**

33.7 Mögliche Montagefehler

Die neue Wuchtvereinbarung bietet vor allem in der Einführungszeit Gelegenheit zu vielen Montagefehlern. Abschließend werden nochmals drei nahe liegende Fehlermöglichkeiten beschrieben:

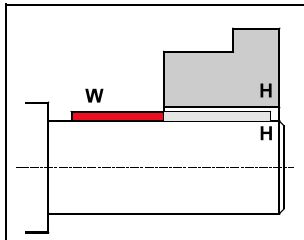


Bild 33.7.1

Fehlermöglichkeit: Welle mit Halbkeil-Wuchtung
Nabe mit Halbkeil-Wuchtung
Längen-Überstand der Passfeder erzeugt
unausgeglichene Masse W

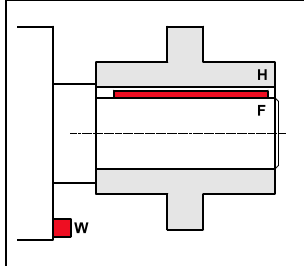


Bild 33.7.2

Fehlermöglichkeit: Welle mit Vollkeil-Wuchtung
Nabe mit Halbkeil-Wuchtung
Durchmesser-Überstand der Passfeder ist am
Blechpaket durch Zusatzgewicht W bezogen auf den
Rotor ausgeglichen.
Das Wuchtgewicht W wäre bei einem Motor nach
Methode H unnötig – es erzeugt bei dieser
Kombination eine Unwucht

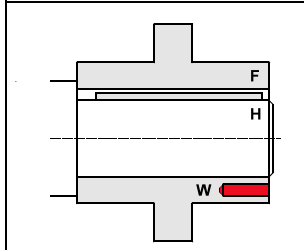


Bild 33.7.3

Fehlermöglichkeit: Welle mit Halbkeil-Wuchtung
Nabe mit Vollkeil-Wuchtung
Fehlende Masse der Wuchtbohrung W in der Nabe
wäre nach Methode H im Verbundteil unnötig – sie
erzeugt bei dieser Kombination eine Unwucht

Leerseite für Notizen

34 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Diese auf Elektromotoren bezogene Kurzfassung ist ein Auszug aus dem ausführlichen Danfoss-Bauer-Sonderdruck SD 3396.

34.1 Allgemeines

Die EMV-Richtlinie der Europäischen Gemeinschaft wurde am 1. Januar 1992 als Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG) in deutsches Recht übernommen. Zuständige Überwachungsbehörde ist das BAPT (Bundesamt für Post und Telekommunikation).

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ist die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufrieden stellend zu funktionieren, ohne diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässig zu beeinflussen.

Die EMV-Richtlinie 89/336/EWG enthält zwei grundsätzlich unterschiedliche Forderungen an elektrische (elektronische) Geräte:

- **Begrenzung der Störaussendung** bedeutet, dass ein Gerät keine unzulässig hohen elektromagnetischen Felder an die Umgebung abstrahlt. So darf ein Computer oder eine Bohrmaschine kein Prasseln im Radio hervorrufen. Die Erzeugung elektromagnetischer Störungen muss so weit begrenzt werden, dass ein bestimmungsgemäßer Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten sowie sonstigen Geräten möglich ist.
- **Störfestigkeit** bedeutet, dass ein Gerät vor elektromagnetischen Feldern bis zu einer bestimmten Größe geschützt ist und dass keine Fehlfunktionen entstehen, wie z. B. der Ausfall einer SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) bei Benutzung eines Funktelefons in unmittelbarer Nähe. Die Geräte müssen also eine angemessene Festigkeit gegen elektromagnetische Störungen aufweisen, sodass ein bestimmungsgemäßer Betrieb möglich ist.

Jedes elektrische oder elektronische Gerät ist gleichermaßen Quelle und Senke elektromagnetischer Störenergie. Elektromagnetische Verträglichkeit lässt sich nur durch gleichzeitige Begrenzung der Störemission und der Sicherstellung der Störfestigkeit erreichen.

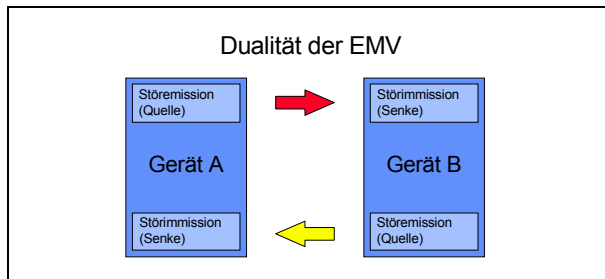


Bild 34.1
Dualität der EMV

34.2 Asynchronmaschinen

Elektrische Störfestigkeitsmessungen an Asynchronmaschinen sind nicht erforderlich, da diese weder von elektromagnetischer Strahlung noch von leitungsgebundenen Störungen beeinflusst werden können (die übertragene Leistung ist viel zu gering). Auf die Messung der abgestrahlten hochfrequenten elektromagnetischen Felder und der leitungsgebundenen hochfrequenten Spannungen kann ebenfalls verzichtet werden, da in Asynchronmaschinen keine mechanischen oder elektronischen Schalter oder Schwingkreise eingebaut sind, die solche Störungen hervorrufen könnten.

Drehstrommotoren erzeugen Netzoberströme. Diese treten besonders im Anlauf auf. Der Hersteller kann die Oberströme durch konstruktive Maßnahmen (Nutschrägung, Spulensehnung, Nutzahlverhältnis) allerdings sehr gering halten.

Für Motoren bis 16 A Bemessungsstrom, die an einem öffentlichen Niederspannungsnetz betrieben werden, legt die Norm EN 61000-3-2 (Klasse A) Grenzwerte für Netzoberströme fest. Falls der Anlauf in weniger als 10 s erfolgt, was praktisch immer gewährleistet ist, reicht eine Messung im eingeschwungenen Zustand bei Nennlast aus.

Motoren mit höherem Bemessungsstrom werden in der Regel an einem Industrienetz betrieben. Hier sind u. U. Absprachen mit den Energieversorgungsunternehmen erforderlich. Die Normen IEC 1000-3-4 und IEC 1000-3-5 geben entsprechende Hinweise.

34.3 Gleichstrommotoren (Kommutatormaschinen)



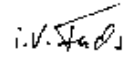

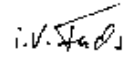

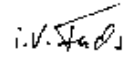
Störfestigkeitsmessungen sind, wie bei Asynchronmaschinen, bei Gleichstrommaschinen nicht erforderlich. Leitungsgebundene Störungen werden nicht gleichstromseitig, sondern zwischen Steuerung und Niederspannungsnetz gemessen. Die leitungsgebundenen Störungen auf dem Motorkabel, d. h. zwischen Steuerung und Maschine, unterliegen keinen einschränkenden Normen.

Bezüglich der Abstrahlung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist zwischen Gleichstrommotoren kleiner Leistung, die in der Regel ohne Wendepole und Kompensationswicklungen ausgeführt werden, und Maschinen mittlerer und großer Leistung in der Praxis ein erheblicher Unterschied festzustellen. Unter der Voraussetzung, daß die Bürsten gut eingelaufen sind und die Kommutierung funkenfrei ist (Patina), treten bei Gleichstrommaschinen mit Wendepolen und Kompensationswicklungen praktisch keine Funkstörungen auf, sodass diese die EMV-Grenzwerte ohne weitere Maßnahmen einhalten.

Gleichstrommotoren **ohne Wendepole** können, auch wenn die Kommutierung optisch funkenfrei abläuft, erhebliche Funkstörungen verursachen. Besonders kritisch sind Motoren mit Permanentmagneten, da der Luftspalt am Rand der Hauptpole in der Regel nicht aufgeweitet ist, was die Kommutierung zusätzlich verschlechtert.

Hinweise auf Entstörmaßnahmen siehe Sonderdruck SD 3396 der Fa. Danfoss Bauer

34.4 Beispiel einer EG-Konformitätserklärung

					
<p>EG-Konformitätserklärung</p> <p>nach EMV-Richtlinie 89/336/EG für Drehstrom- und Einphasenstrom-Getriebemotoren</p> <p>B 320.0700-01 Stand: 11/03 EE-gr/ef File : KonfErkl_EMV_B320_0700_01_DE.doc (ersetzt EK07)</p>	<p>Danfoss Bauer GmbH Postfach 10 02 06 D-73726 Esslingen Eberhard-Bauer-Str. 36-60 D-73734 Esslingen Telefon: (0711) 35 18 0 Telefax: (0711) 35 18 381 e-mail: info@danfoss-bauer.de Homepage: www.danfoss-bauer.de</p>				
<p>Getriebemotoren der Baureihen Drehstrom : D04, D05, D06, D07, D08, D09, D11, D13, D16, D18, D22, D25, D28 Einphasenstrom : E04, E05, E06, E07, EC04, EC05, EC06, EC08</p> <p>entsprechen den Anforderungen der folgenden Europäischen Richtlinie(n) in ihrer aktualisierten Fassung 89/336/EWG Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit</p> <p>nachgewiesen durch die Einhaltung folgender Normen und Bestimmungen: DIN EN 50081-2 : Fachgrundnorm Störaussendung DIN EN 50082-2 : Fachgrundnorm Störfestigkeit</p> <p>Hinweise: Die Erzeugnisse müssen unmittelbar an ein industrielles Netz Baureihe D : Dreiphasen-Wechselstromnetz Baureihe E, EC : Einphasen-Wechselstromnetz oder an einen Frequenzumrichter des Herstellers Danfoss GmbH angeschlossen werden. Die Installationshinweise in der Betriebsanleitungen des Getriebemotors und gegebenenfalls Frequenzumrichters sind zu beachten.</p> <p>Die Sicherheitshinweise der mitgelieferten Produktdokumentation (z. B. Betriebsanleitung) sind zu beachten.</p> <p>Esslingen, Datum der Erstausgabe 01.07.1999</p> <p>Danfoss Bauer GmbH</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">i.V. Dipl.-Ing. Eiffler (Leiter EE)</td> <td style="text-align: center;">i.V. Dipl.-Ing. Fuchs (Leiter QW)</td> </tr> </table> <p>Diese Erklärung beinhaltet keine Zusicherung von Eigenschaften im Sinne der Produkthaftung.</p>				i.V. Dipl.-Ing. Eiffler (Leiter EE)	i.V. Dipl.-Ing. Fuchs (Leiter QW)
					
i.V. Dipl.-Ing. Eiffler (Leiter EE)	i.V. Dipl.-Ing. Fuchs (Leiter QW)				
<p>BAUER geared motors</p> <p>Erfüllungsort und Gerichtsstand: 73734 Esslingen Sitz: Esslingen-Neckar Registergericht: Amtsgericht Esslingen HRB 3759 Ust-IdNr.: DE812722413 Geschäftsführer: Karsten Moe</p>					

Leerseite für Notizen

VII MESSUNG UND BEURTEILUNG DER ERWÄRMUNG

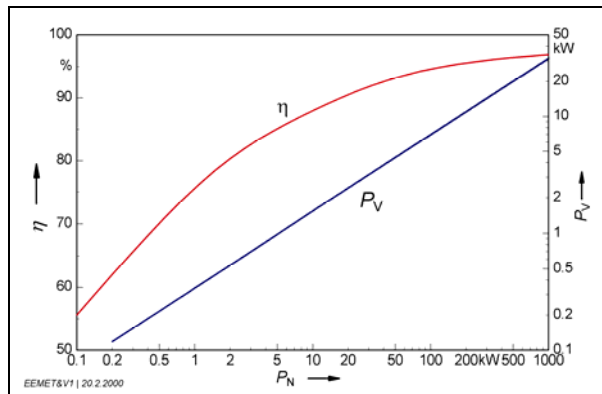
35 Erwärmungsvorgang

Die Erwärmung einer elektrischen Maschine ist ein wichtiger Maßstab für die Beurteilung ihrer Betriebseigenschaften und für die Abschätzung ihrer Lebensdauer.

35.1 Temperaturanstieg bei Dauerbetrieb S1

Verglichen mit den meisten anderen Energiewandlern haben elektrische Maschinen einen sehr guten Wirkungsgrad η ; die unvermeidbaren Verluste P_V erwärmen die Maschine gegenüber der Umgebung (**Bild 35.1**).

Bild 35.1
Richtwerte für den Wirkungsgrad η und die Verluste P_V von Drehstrom-Käfigläufermotoren mit Bemessungsleistungen 0,1 ... 1000 kW



Unter der idealisierten Annahme eines homogenen Körpers gilt für eine bestimmte Zeitspanne

Erzeugte Wärme = **gespeicherte Wärme** + **abgegebene Wärme**

$$P_V \cdot \Delta t = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta + \alpha \cdot O \cdot \Delta \vartheta \cdot \Delta t$$

P_V - Verlustleistung

Δt - Zeitspanne

c - spezifische Wärmekapazität des aufzuheizenden Körpers

m - Masse des aufzuheizenden Körpers

$\Delta \vartheta$ - Temperaturdifferenz zwischen Körper und Kühlmittel

α - Wärmeübergangskoeffizient

O - wärmeabgebende Oberfläche des Körpers.

Beim Beginn des Erwärmungsvorgangs wird die Wärme zunächst ganz und dann überwiegend in der Masse des aufzuheizenden Körpers gespeichert; mit steigender Übertemperatur wird sie zunehmend und im Beharrungszustand vollständig durch Strahlung und Konvektion an das Kühlmittel abgegeben.

35.2 Erwärmungszeitkonstante

Die Erwärmungszeitkonstante beschreibt die wärmetechnischen Eigenschaften des "Körpers" (der Maschine) als Verhältnis von

Wärmekapazität C zu Wärmeabgabefähigkeit A:

$$\tau = \frac{C}{A} = \frac{c \cdot m}{\alpha \cdot O}$$

Bild 35.2 zeigt den Verlauf des Erwärmungsvorganges für zwei Maschinen mit verschiedenen, aber für bestimmte Maschinenarten typischen Erwärmungszeitkonstanten. Da eine elektrische Maschine mit ihren unterschiedlichen Bauteilen nicht "homogen" ist, unterscheidet sich der tatsächliche Erwärmungsgang teilweise erheblich von diesem schematischen Bild.

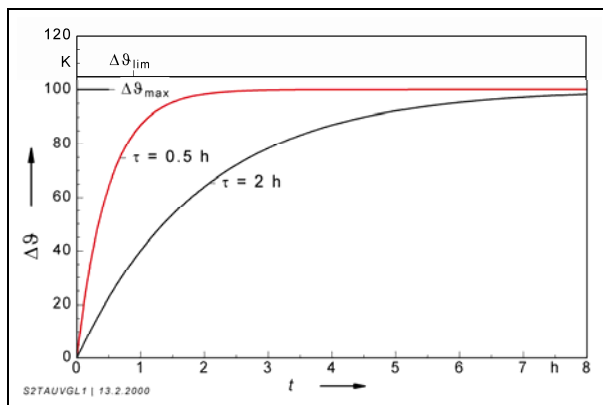


Bild 35.2
Schematischer Verlauf
der Übertemperatur

τ = 0,5 h :
relativ kleine und/oder
gut belüftete Maschinen

τ = 2 h:
relativ große und/oder
schlecht belüftete
Maschinen

36 Beharrungszustand beim Erwärmungslauf

Der **thermische Beharrungszustand** ist in der Norm definiert; er bestimmt die Dauer des Erwärmungslaufs bei einer Messung unter Versuchsbedingungen. Für eine Betriebsmessung am Einsatzort kann die Abschätzung der voraussichtlichen Belastungsdauer nützlich sein.

36.1 Theoretischer Erwärmungsverlauf

Unter vereinfachenden Annahmen und konstanten Bedingungen (Belastung, Belüftung, Umgebungstemperatur) gilt für die Übertemperatur einer elektrischen Maschine folgende Funktion:

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

- $\Delta\vartheta$ - Übertemperatur in K
- $\Delta\vartheta_{\max}$ - höchste Übertemperatur bei Ausgleich zwischen Wärmezufuhr und Kühlung
- t - Belastungszeit
- τ - Zeitkonstante (Verhältnis C/A = Wärmekapazität / Wärmeabgabefähigkeit)
- e - Eulersche Zahl (etwa 2,72)

Die Beharrungstemperatur $\Delta\vartheta_{\max}$ der Maschine darf die für ihre Wärmeklasse in EN 60034-1 festgelegte Grenz-Übertemperatur $\Delta\vartheta_{\text{lim}}$ nicht übersteigen. Die Zeitkonstante τ ist lang, wenn eine Maschine groß und/oder relativ schlecht belüftet ist. Sie ist bei kleinen und/oder gut belüfteten Maschinen relativ kurz.

36.2 Dauer des Erwärmungslaufs bei S1

Die Analyse der Exponentialfunktion in Abschnitt 36.1 ergibt, dass nach Ablauf von drei Zeitkonstanten τ etwa 95 % der Beharrungstemperatur erreicht sind (**Bild 36.2.1**). Da jedoch in der Praxis die Zeitkonstante eines bestimmten Motors i. A. nicht bekannt ist, muss das Ende eines Erwärmungslaufs nach anderen Kriterien bestimmt werden.

Da der Temperaturanstieg »asymptotisch« verläuft, legt DIN EN 60034-1 (VDE 0530 Teil 1) in 2.11 fest, dass der »thermische Beharrungszustand« als erreicht gilt, wenn sich die Übertemperaturen der verschiedenen Maschinenteile während einer Stunde um höchstens 2 K ändern (**Bild 3.2.2**).

Für die Beurteilung des thermischen Auslastungsgrades im praktischen Betrieb müssen keine solch strengen Maßstäbe angelegt werden. Richtwerte für die Dauer des Erwärmungslaufs können dem **Bild 36.2.3** entnommen werden.

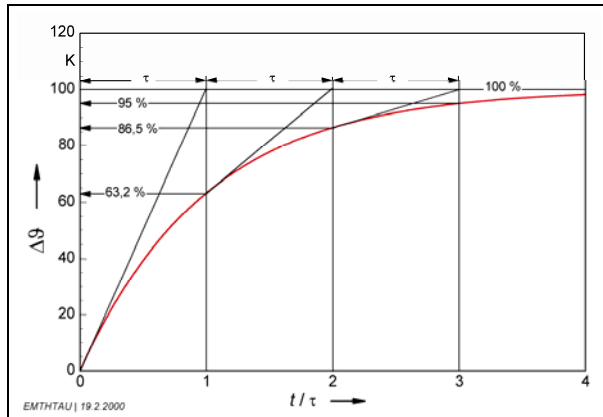


Bild 36.2.1
Analyse eines theoretischen Erwärmungsverlaufs nach Ablauf der Zeitkonstanten τ

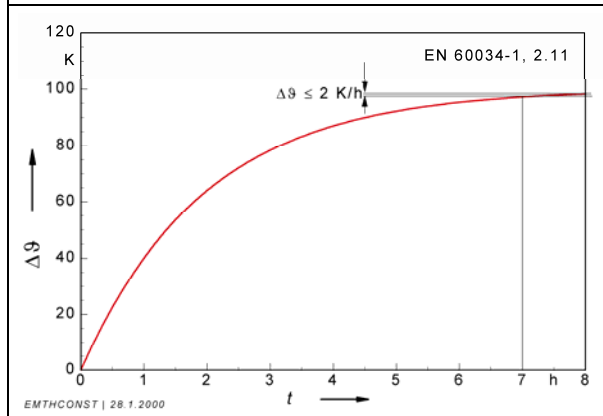


Bild 36.2.2
Definition des »thermischen Beharrungszustandes«

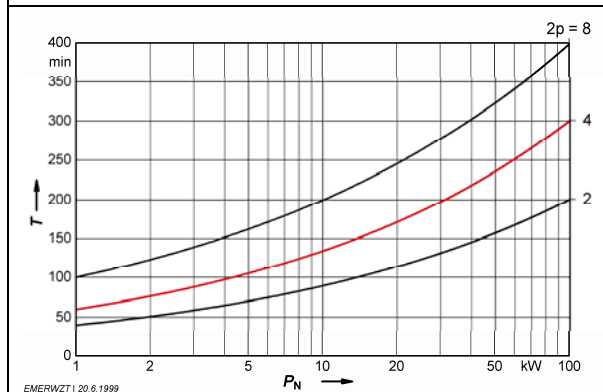


Bild 36.2.3
Richtwerte für die Dauer T des Erwärmungslaufs von Drehstrommotoren mit Bemessungsleistungen P_N und Polzahlen 2, 4 und 8

36.3 Berechnung der Kupfer-Übertemperatur

Für die Ermittlung der Kupfer-Übertemperatur ist das **Widerstandsverfahren** nach Abschnitt 7 in DIN EN 60034-1 (VDE 0530 Teil1) anzuwenden.

Die Übertemperatur $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_a$ wird wie folgt ermittelt:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_a = \frac{\vartheta_2 + k}{\vartheta_1 + k} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$\Delta\vartheta$ Übertemperatur in K

ϑ_1 Temperatur der kalten Wicklung bei Anfangsmessung in °C

ϑ_2 Temperatur der Wicklung am Ende der Erwärmungsprüfung in °C

ϑ_a Temperatur des Kühlmittels am Ende der Erwärmungsprüfung in °C

R_1 Widerstand der Wicklung bei der Temperatur ϑ_1 (kalt)

R_2 Widerstand der Wicklung am Ende der Erwärmungsprüfung

k Kehrwert des Temperaturkoeffizienten des Widerstandes bei 0 °C

für Kupfer $k = 235$ K

für Aluminium $k = 225$ K, wenn nicht anders festgelegt.

Nach Umformung errechnet sich die Übertemperatur aus der Gleichung

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \cdot (k + \vartheta_1) + \vartheta_1 - \vartheta_a$$

Grenzwerte der Übertemperatur nach Tabelle 1 in DIN EN 60034-1 (VDE 0530):

Nr.	Maschinenart	Wärmeklasse		
		B	F	H
1c)	$P_N < 600$ W	85 K	110 K	130 K
1d)	600 W $\geq P_N \leq 200$ kW	80 K	105 K	125 K

Vergleicht man die **Grenzwerte der Übertemperatur** mit den **zulässigen Dauertemperaturen**, die einer Wärmeklasse zugeordnet sind, so ergeben sich Differenzen von 10 ... 15 K. Dies ist notwendig, weil die Übertemperaturen aus dem Kupferwiderstand ermittelt werden und damit einen Mittelwert über die Windungslänge darstellen. Der **hottest spot** (heißeste Punkt) einer Wicklung ist wärmer und ist je nach Kühlart der Maschine an unterschiedlichen Stellen (**Bilder 36.3.1** und **36.3.2**).

Wärmeklasse	B	F	H
Übertemperatur	80 K	105 K	125 K
Umgebungstemperatur	40 °C	40 °C	40 °C
Gesamttemperatur	120 °C	145 °C	165 °C
Isolierstoffgrenze	130 °C	155 °C	180 °C
Reserve für hottest spot	10 K	10 K	15 K

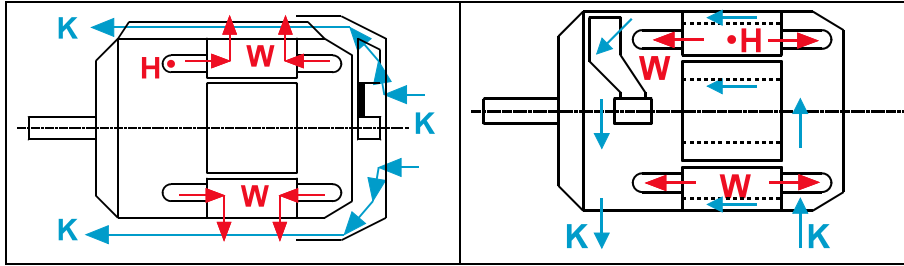


Bild 36.3.1
Wärmefluss (W), Kühlluftstrom (K) und
hottest spot (H) bei oberflächenbelüf-
teten Maschinen (z. B. IC411, IC416)

Bild 36.3.2
Wärmefluss (W), Kühlluftstrom (K) und
hottest spot (H) bei durchzugbelüfeten
Maschinen (z. B. IC01, IC06)

36.4 Dauer des Erwärmungslaufs bei periodischem Betrieb (S3 ... S8)

Bei der Prüfung muss das festgelegte Lastspiel angewendet und so oft wiederholt werden, bis praktisch gleichartige Temperaturspiele erreicht sind. Das Kriterium hierfür ist, dass eine zwischen den entsprechenden Punkten der Temperaturspiele gedachte Gerade eine Neigung von weniger als 2 K je Stunde aufweist. Falls notwendig, sind in angemessenen Zeitabständen über ein Lastspiel Messungen durchzuführen. Beim letzten Lastspiel darf in der Mitte des Zeitabschnitts mit der größten Erwärmung die Übertemperatur die in Tabelle 1 von DIN EN 60034-1 (dort Abschnitt 3.2.3) angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten (**Bild 36.4**).

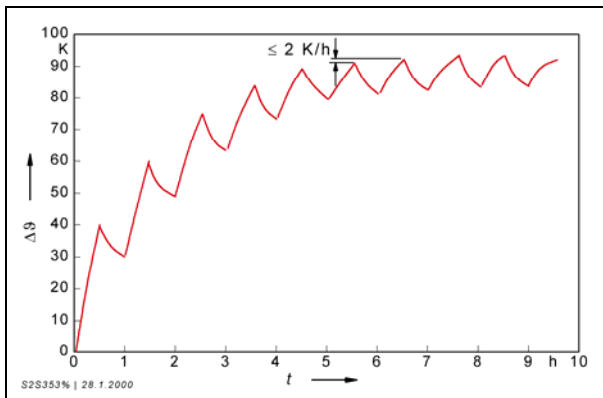
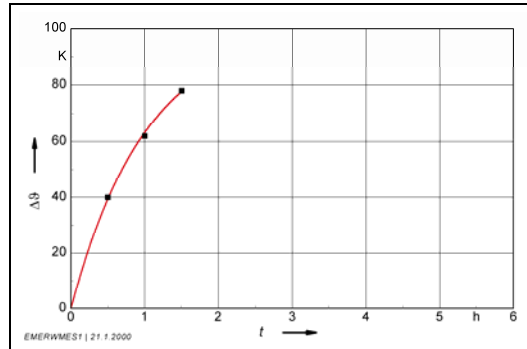


Bild 36.4
Festlegung für das
Erreichen der
thermischen
Beharrungstemperatur
bei periodischer
Betriebsart S3 ... S8

36.5 Abschätzung nach abgebrochenem Erwärmungslauf

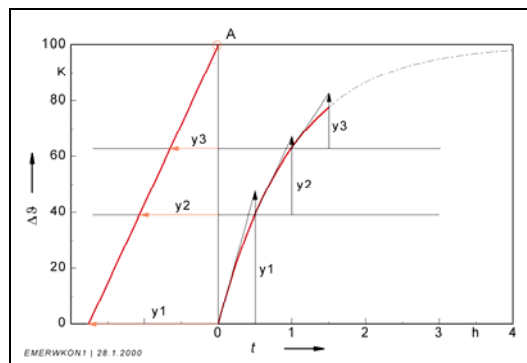
Wenn es in Ausnahmefällen nicht möglich ist, die gemäß Abschnitt 36.2 zu erwartenden Zeiten bis zur Erreichung der Endtemperatur abzuwarten, bietet sich folgendes Näherungsverfahren an: Die Maschine muss beim Beginn des Probelaufs auf Umgebungstemperatur sein. In regelmäßigen Abständen (z. B. $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{2}$ Stunde) ist der Lauf möglichst kurz zu unterbrechen, um den Wicklungswiderstand zu messen. Die hieraus errechneten Kupfer-Übertemperaturen (z. B. Messwerte 1, 2 und 3) werden gemäß **Bild 36.5.1** aufgetragen und mit einer passenden Kurve verbunden. Im Beispiel dauerte der Probelauf $1\frac{1}{2}$ Stunden.

Bild 36.5.1
Auftragung von drei Messwerten eines bei Umgebungstemperatur begonnenen und auf $1\frac{1}{2}$ Stunden verkürzten Probelaufs



Nun werden an die Kurve zu den Zeitpunkten $\frac{1}{2}$, 1 und $1\frac{1}{2}$ Stunden Tangenten für die Steigung angelegt. Die Steigungen y_1 , y_2 und y_3 (eventuell vergrößert um einen einheitlichen Faktor k) werden gemäß **Bild 36.5.2** links von der y-Achse aufgetragen. Wenn man die Enden dieser drei Pfeile verbindet und die Gerade in Richtung y-Achse verlängert, so schneidet sie dort beim Punkt A den zu erwartenden Endwert der Übertemperatur ab (im Beispiel 100 K).

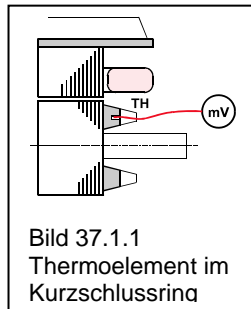
Bild 36.5.2
Konstruktion für einen Richtwert der End-Übertemperatur »A« aus den Messwerten eines auf $1\frac{1}{2}$ Stunden verkürzten Probelaufs



37 Käfigtemperaturen

Die Übertemperatur von dauernd kurzgeschlossenen Wicklungen darf in keinem Fall solche Werte erreichen, welche die Isolierung oder benachbarte Teile gefährden (DIN EN 60034-1, Tabelle 1; Nr. 5). Die Rückwirkung auf die Ständerwicklung wird durch deren Erwärmungsmessung erfasst. Die thermische Beanspruchung der benachbarten Wälzlager ist gegebenenfalls getrennt zu messen. Die Temperatur im Käfig selbst ist vor allem bei explosionsgeschützten Maschinen der Zündschutzart EEx e oder bei Kurzzeitbeanspruchung des Rotors – z. B. bei Schweranlauf oder festgebremstem Läufer – zu ermitteln.

37.1 Dauerbetrieb S1



Temperaturunterschiede zwischen Stab und Ring gleichen sich im Dauerbetrieb weitgehend aus; es genügt daher eine Teildemontage des Motors zur Anbringung eines Thermoelements, das in einer (evtl. vorbereiteten) kleinen Bohrung im Ring wärmeleitend zu verstemmen ist (**Bild 37.1.1**). Da nach dem Abschalten eine gewisse Zeit (z. B. in **Bild 37.1.2** etwa 30 s) vergeht, bis er erste Messwert vorliegt, wird die anschließend notierte oder geplottete Messreihe zum Ausschaltzeitpunkt extrapoliert. Bei geringen Ansprüchen an die Messgenauigkeit und sauberer Auflagefläche kann auch ein Kontakt-Thermometer benutzt werden.

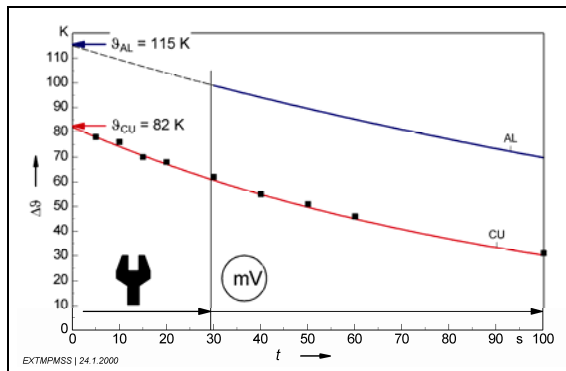


Bild 37.1.2
Extrapolation der Erwärmungswerte im Kurzschlussring (AL) zur Ermittlung der Erwärmung im Abschaltzeitpunkt ϑ_{AL}

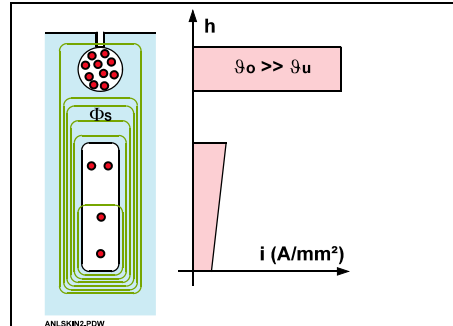
Kupfererwärmung ϑ_{CU} aus Widerstandsmessung kann schon nach 5 s ermittelt werden, da Klemmen rasch zugänglich

Bei geringen Ansprüchen an die Messgenauigkeit (also z.B. **nicht** im Rahmen einer Ex-Abnahme) können auch Temperaturindikatoren am Kurzschlussring angebracht und nach ihrer Demontage ohne Zeitdruck abgelesen werden. Dieses Verfahren bietet sich auch an, wenn eine thermische Überlastung (z. B. während einer Nachtschicht) nachgewiesen werden soll (Abschnitt 37.3).

37.2 Kurzschluss

Da während der begrenzten Zeit einer Blockierung oder eines Schweranlaufs (z. B. im Bereich von 5 ... 30 s) ein unvollständiger Wärmeausgleich stattfindet, können die Stäbe eines Kurzschlusskäfigs wesentlich wärmer werden als die Ringe. Besonders gefährdet sind Rotoren mit ausgeprägter Stromverdrängung (Tief- oder Doppelnuten, **Bild 37.2.1**).

Bild 37.2.1
Doppelnut mit ausgeprägter Stromverdrängung in den Oberstab bei Kurzschluss oder Anlauf; entsprechend große Temperaturdifferenz Oberstab ϑ_o gegenüber Unterstab ϑ_u



Der Rotor ist daher für den Kurzschlussversuch in Stab und Ring mit Thermoelementen zu versehen; eine kleine Rille am Nutschlitz nimmt die bis zur Hälfte der axialen Länge geführte Leitung des Thermoelements auf (**Bild 37.2.2**). Kontakt-Thermometer sind wegen der relativ langen thermischen Ankoppelungszeit beim Kurzschlussversuch ungeeignet.

Bild 37.2.2
Anordnung der Thermoelemente TH 1 ... 3 in Nut und Ring eines Käfigläufers zur Ermittlung der Erwärmung im Kurzschluss; bei der Ex-Messung werden zwei versetzt angeordnete TH verwendet

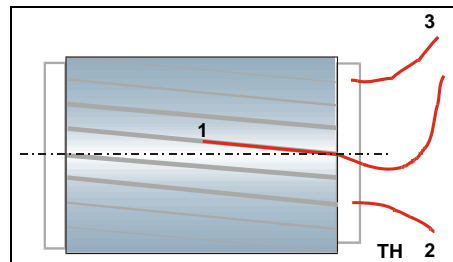


Bild 37.2.3 zeigt den Temperaturanstieg im Ständer und Läufer beim Kurzschlussversuch. Das Thermoelement in der **Ständerwicklung** wurde nur als zusätzliche Messstelle angebracht; es ist bei der Abnahmeprüfung nicht erforderlich. Der verzögerte Temperaturverlauf W-T soll lediglich zeigen, dass eine direkte Messung mit Thermoelementen wegen der Wärmedämmung keine brauchbaren Ergebnisse für die Ständerwicklung liefert.

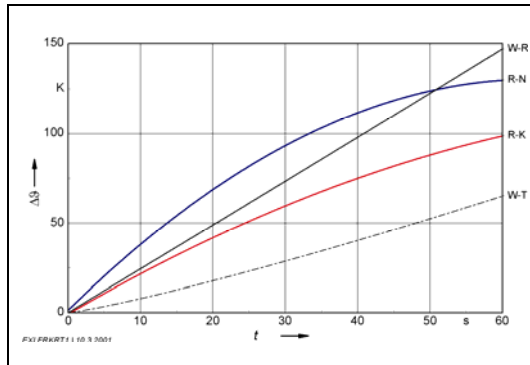


Bild 37.2.3

Temperaturanstieg im Ständer und Läufer eines »läuferkritischen« Drehstrom-Kurzschlussläufermotors beim Kurzschlussversuch

Messstellen:

R-N : Läuferstäbe

R-K : Kurzschlussring

W-T : Ständerwicklung mit Thermoelement (ungeeignet)

W-R : Ständerwicklung mit Widerstandsmethode

37.3 Temperaturindikatoren

Bei manchen Antriebsproblemen soll über einen längeren Zeitraum erfasst werden, ob eine Grenztemperatur erreicht oder überschritten wird, ohne dass der Antrieb ständig durch Fachpersonal überwacht oder gemessen wird. Hier bieten sich **Temperaturindikatoren** an, die an der zu messenden Stelle – z. B. am Käfig eines Kurzschlussläufermotors – aufgeklebt werden. Die überschrittene Temperatur wird durch irreversiblen Farbumschlag von weiß auf schwarz angezeigt. Auf einem Klebestreifen mit aufgedruckter Temperaturskala sind z. B. Spannen von 50 oder 20 °C in 10 Abstufungen zusammengefasst. Der zu erwartende Temperaturbereich ist also vorher grob abzuschätzen oder es sind mehrere Streifen mit ergänzenden Bereichen zu verwenden. Als Messtoleranz wird von den Herstellern $\pm 1\%$ angegeben. Die Standardstaffelung beträgt z. B. 4 ... 6 °C, daneben gibt es Teilbereiche mit einer Staffelung von 2 °C. Es sind z. B. Indikatoren für den Temperaturbereich 38 ... 260 °C erhältlich.

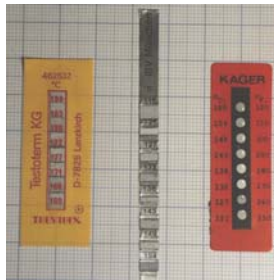


Bild 37.3.1
Beispiele für Temperaturindikatoren verschiedener Hersteller



Bild 37.3.2
Temperaturindikatoren am Kurzschlussring vor dem Einbau

38 Ermittlung des Auslastungsgrades

Die Frage nach der tatsächlichen Auslastung eines Antriebsmotors stellt sich, wenn der Prototyp einer Maschine geprüft wird oder wenn eine bewährte Maschine überarbeitet und optimiert werden soll.

Dieser Abschnitt gibt einige Anregungen zur praxisgerechten Ermittlung der tatsächlichen Motorauslastung.

38.1 Belastungskennlinien des Herstellers

Danfoss Bauer erstellt im Rahmen seiner Typprüfung eine **Belastungskennlinie** ähnlich **Bild 38.1.1** und **38.1.2**.

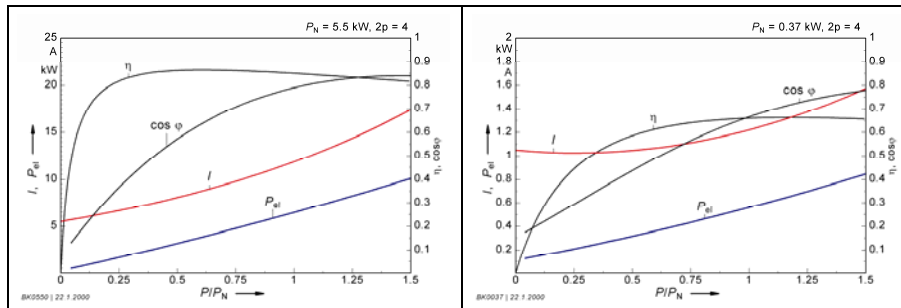


Bild 38.1.1
Typische Belastungskennlinie eines 4poligen Drehstrom-Asynchronmotors, Bemessungsleistung 5,5 kW

Bild 38.1.2
Typische Belastungskennlinie eines kleinen Drehstrom-Asynchronmotors, Bemessungsleistung 0,37 kW

Bei Kleinmotoren (z. B. $P_N < 0,37 \text{ kW}$) verläuft die Stromkennlinie I so flach, dass sie für eine Auswertung der Belastungshöhe nicht geeignet ist. In diesen Fällen sollte mit der Leistungsaufnahme P_1 gearbeitet werden (Bild 38.1.2).

Kennlinien dieser Art wurden vom Hersteller an einer genau ausgeregelten Bemessungsspannung aufgenommen. Sie sind für die Ermittlung der tatsächlichen Leistungsabgabe über die Messung der Stromaufnahme nur dann aussagekräftig, wenn auch bei der Messung am Einsatzort die Betriebsspannung (an den Motorklemmen!) nur wenig vom Sollwert abweicht. Toleranzen von etwa $\pm 3 \%$ erscheinen in diesem Zusammenhang zulässig.

Die in der Norm IEC 60034-1, Abschnitt 12.3, genannten zulässigen Spannungsschwankungen von $\pm 5 \%$ im »Bereich A« bzw. $\pm 10 \%$ im »Bereich B« haben lediglich mit der Funktion des Motors zu tun, nicht jedoch mit dem oft erheblichen Einfluss auf den Verlauf der Stromkennlinie, auf den es bei der Ermittlung der Leistungsabgabe entscheidend ankommt.

Falls es nicht möglich ist, am Aufstellungsort eine Spannungstoleranz von etwa $\pm 3\%$ einzuhalten, sollte die **Leistungsaufnahme P_1** statt der Stromaufnahme I für die Auswertung herangezogen werden, weil sich die Leistungsaufnahme im Rahmen üblicher Netzspannungsschwankungen nur wenig ändert. Belastungskennlinien der in den Bildern 38.1.1 und 38.1.2 gezeigten Art sollten i. A. für Serienmotoren (Normmotoren) beim Hersteller verfügbar sein. Bei ihrer Anforderung muss die **Fertigungsnummer** des betroffenen Motors angegeben werden, weil unter gleicher Typenbezeichnung häufig geänderte Wicklungsauslegungen gefertigt werden, die sich auf diese Kennlinien auswirken. Wenn die Belastungskennlinie des Herstellers nicht verfügbar ist – z. B. weil die Typenreihe vom Markt verschwunden ist – werden die nachfolgend beschriebenen Verfahren wichtig.

38.2 Leistungsaufnahme

Die im Leerlauf aufgenommene Wirkleistung P_0 dient zur Deckung der Leerlaufverluste; dies sind hauptsächlich Eisenverluste, Reibungs- und Lüfterverluste, Leerlauf-Kupferverluste. Sie kann bei abgekuppelter Arbeitsmaschine und unter möglichst geringer Abweichung von der Bemessungsspannung (z. B. $\pm 3\%$) relativ leicht ermittelt werden. Ein weiterer wichtiger Punkt der Kennlinie ist die Leistungsaufnahme P_1 bei Abgabe der Bemessungsleistung P_N ; dieser Wert lässt sich aus den Angaben auf dem Leistungsschild berechnen:

$$\eta = \frac{P_N \cdot 1000}{I_N \cdot U_N \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} \quad P_1 = \frac{P_N}{\eta}$$

P_1	Leistungsaufnahme im Bemessungspunkt in kW
η	Wirkungsgrad als Dezimalbruch
P_N	Bemessungsleistung in kW
I_N	Bemessungsstrom in A
U_N	Bemessungsspannung in V
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor

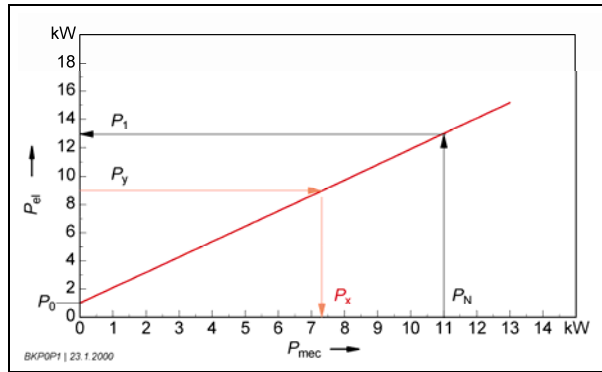
Die Daten im schraffierten Feld sind auf dem Leistungsschild zu finden.

Der Verlauf der Kennlinie zwischen P_0 und P_1 ist nahezu linear, (siehe Bilder 38.1.1 und 38.1.2).

Für eine grobe Abschätzung genügt es, wenn ein linearer Verlauf nach **Bild 38.2.1** angenommen wird. Zu einer Aufnahme P_y lässt sich dann leicht die Abgabe P_x ermitteln, wobei ein Sicherheitszuschlag von 10 % die tatsächliche Krümmung der Kennlinie berücksichtigen soll.

Bild 38.2.1
Vereinfachte
Leistungskennlinie für die
Bemessungsleistung
 $P_N = 11 \text{ kW}$

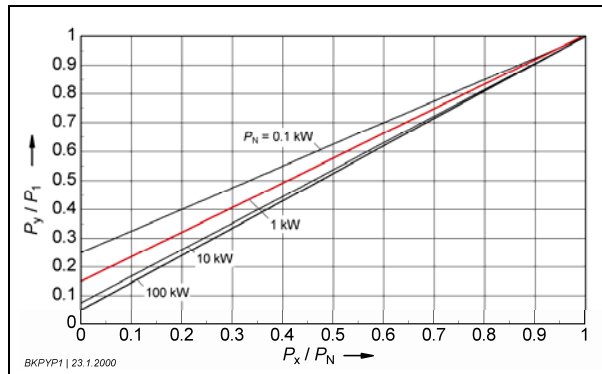
Ermittlung der
tatsächlichen Abgabe P_x
aus der gemessenen
Aufnahme P_y



- P_{el} - elektrische Leistungsaufnahme
- P_{mec} - mechanische Leistungsabgabe
- P_0 - Leistungsaufnahme im Leerlauf
- P_1 - Leistungsaufnahme bei Bemessungsleistung

Manche Arbeitsmaschinen lassen sich nicht abkuppeln – erlauben also nicht die Messung des Wertes P_0 . In diesen Fällen hilft das empirisch ermittelte Kennlinienfeld nach **Bild 38.2.2**, das infolge der getroffenen Annahmen zu einem etwas größeren Fehler in der Abschätzung der Leistungsabgabe führt.

Bild 38.2.2
Empirisch ermitteltes
Kennlinienfeld für die
relative Leistungs-
aufnahme P_y / P_1 , wenn
der Wert P_0 / P_1
abgeschätzt werden muss



- P_N - Leistungsabgabe bei Bemessungsleistung
- P_1 - Leistungsaufnahme bei Bemessungsleistung
- P_y - tatsächliche Aufnahme
- P_x - tatsächliche Abgabe

Beispiel (Bild 38.2.3):

Schilddaten $P_N = 1,5 \text{ kW}$
 $I_N = 3,7 \text{ A}$
 $U_N = 380 \text{ V}$
 $\cos \varphi = 0,82$

Messung $P_y = 1200 \text{ W}$

Annahme $P_0 / P_N \approx 0,14$
 (siehe Parameter für Nennleistung in Bild 38.2.3)

Rechnung
$$\eta = \frac{P_N \cdot 1000}{I_N \cdot U_N \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} = \frac{1,5 \cdot 1000}{3,7 \cdot 380 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,82} = 0,75$$

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta} = \frac{1500}{0,75} = 2000 \text{ W}$$

$$P_y / P_1 = 1200 / 2000 = 0,6$$

Auswertung nach 38.2.3

$$P_x / P_N = 0,54$$

$$P_x = 1,1 \cdot 0,54 \cdot 1,5 \approx 0,9 \text{ kW}$$

 (mit Zuschlag 10 %)

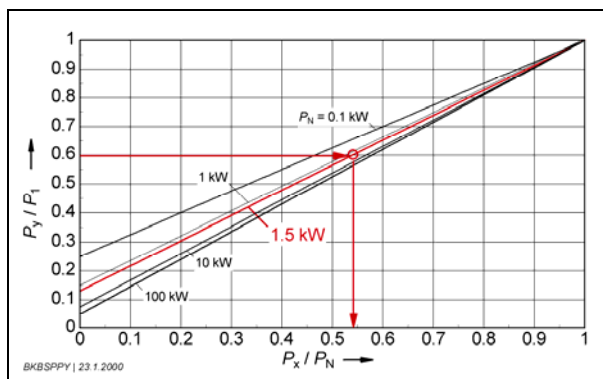


Bild 38.2.3
 Beispiel für die
 Anwendung des
 Kennlinienfeldes nach
 Bild 38.2.2 bei einem
 Motor mit 1,5 kW
 Bemessungsleistung

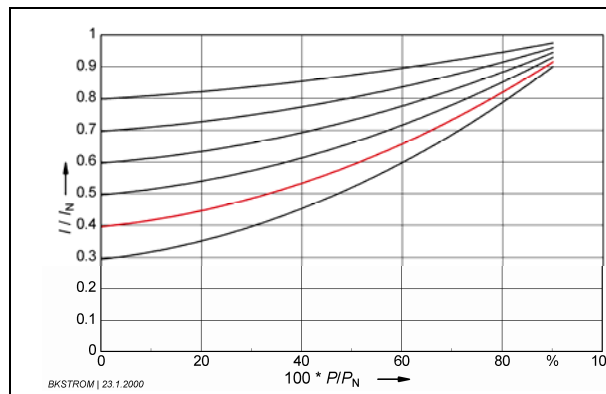
38.3 Vereinfachte Stromkennlinie

Wenn am Einsatzort eine Messung der **Leistungsaufnahme** nicht möglich ist und nur die **Stromaufnahme** ermittelt werden kann, so ist auch damit eine Abschätzung der Leistungsabgabe möglich – wenn auch mit erhöhter Unsicherheit des Ergebnisses.

Zu messen sind: I_0 - Leerlaufstrom bei Bemessungsspannung $\pm 3\%$
 I_x - Tatsächliche Stromaufnahme im Belastungspunkt.

Die **Bilder 38.1** und **38.2** zeigen, dass für die Stromkennlinie zwischen Leerlauf und Bemessungsleistung kein linearer Verlauf angenommen werden kann. Der relative Leerlaufstrom I_0 / I_N ist um so höher, je kleiner der Motor und je höher die magnetische Sättigung ist. Mit diesem Parameter (I_0 / I_N) sind in Bild 38.3.1 typische relative Stromkennlinien aufgezeichnet. Bei Werten $I_0 / I_N > 0,8$ wird die Kennlinie so flach, dass dieses Verfahren zu sehr unsicheren Ergebnissen führt – hier ist die Leistungsmessung zu bevorzugen.

Bild 38.3.1
 Vereinfachte relative
 Stromaufnahme I / I_N in
 Abhängigkeit von der
 relativen Leistungsabgabe
 P / P_N bei Parametern
 $I_0 / I_N = 0,3 \dots 0,8$



Beispiel für die Auswertung (Bild 38.3.2):

Schilddaten	P_N	=	15	kW
	U_N	=	400	V
	I_N	=	30	A
Messung	I_0	=	13,5	A
	I_x	=	19,5	A
Rechnung	I_0 / I_N	=	13,5/30	= 0,45
	I_x / I_N	=	19,5/30	= 0,65
Auswertung	Für den Parameter $I_0 / I_N = 0,45$ gilt die abgeschätzte, hervorgehobene Kennlinie;			
	aus $I_x / I_N = 0,65$ ergibt sich $P_x / P_N = 0,54$			
Abgabe	P_x	=	0,54 · 15	≈ 8 kW

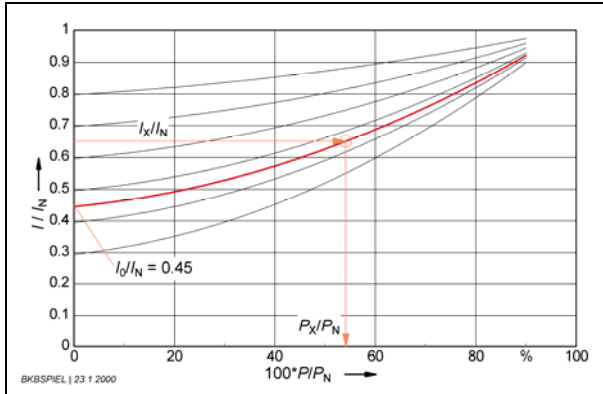


Bild 38.3.2
 Beispiel für eine
 Auswertung unter
 Verwendung der
 vereinfachten
 Kennlinien nach Bild
 38.3.1
 $I_0 / I_N = 0,45$
 $I_x / I_N = 0,65$
 $P_x / P_N = 0,54$

38.4 Schlupf

Stellt man die Drehmomentkennlinie nach **Bild 38.4.0.1** »amerikanisch« dar, so zeigt sie den fast linearen Rückgang der Drehzahl bei zunehmendem Drehmoment (beide Kenngrößen in relativer Darstellung). Der Drehzahlabfall oder Schlupf s gegenüber der Synchrondrehzahl müsste also ein einfacher und guter Indikator für die relative Belastung sein (**Bild 38.4.0.2**).

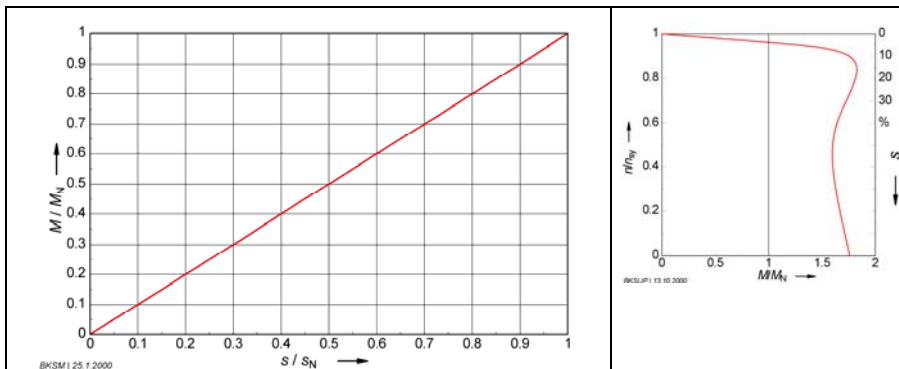


Bild 38.4.0.2
 Relative Auslastung M/M_N in Abhängigkeit vom
 Schlupf s
 n/n_{sy} - relative Drehzahl
 M/M_N - relatives Drehmoment

Bild 38.4.0.1
 Drehmoment – Drehzahl -
 Kennlinie
 s - Schlupf

So verlockend es klingt, über eine einfache Drehzahlmessung die relative Auslastung eines Asynchronmotors zu ermitteln – so schwer wiegend sind die Einschränkungen und Bedenken:

- Wie »genau« lässt sich der Schlupf ermitteln?
- Wie »genau« wird die Bemessungsdrehzahl auf dem Schild angegeben ?

38.4.1 Anzeigetoleranz von Drehzahlmessern

Wenn der Schlupf indirekt aus einer Drehzahlmessung ermittelt wird, spielt die Anzeige- und Ablesetoleranz des Messinstruments eine wichtige Rolle:

Beispiel:	Istwert der Drehzahl	1450 r/min
	Ablesung	1455 r/min
	Abweichung	0,34 %
	Istwert der Schlupfdrehzahl	50 r/min
	Ablesung	45 r/min
	Abweichung	10 %

Schon der relativ »genaue« Drehzahlmesser mit nur 0,34 % Abweichung führt also zu einer relativ hohen Unsicherheit bei der Abschätzung der relativen Auslastung von etwa 10 %. Drehzahl-Messmethoden mit einem Fehler $> 0,1$ % scheiden daher für eine Leistungsbestimmung über den Schlupf von vornherein aus. Welche Anzeige- und Ablesetoleranz ist bei handelsüblichen Drehzahlmessern zu erwarten?

38.4.1.1 Dynamo mit Analoganzeige (Tachometer)

Ein temperaturkompensiertes Wirbelstrommesswerk erzeugt eine Spannung, die auf einer geeichten Skala direkt als Drehzahl angezeigt wird. Als Messtoleranz wird von den Herstellern etwa $\pm 0,5 \dots 1$ % (wie üblich bezogen auf Endausschlag) angegeben. Häufig kommen hohe Ablesefehler (z.B. infolge grober Skalenteilung oder wegen Vibrationen) hinzu. Dieses Messprinzip ist für die hier vorliegende Aufgabe zu ungenau.

38.4.1.2 Umlauf- und Zeitzählung

Bessere Werte erhält man, wenn die Zahl der Umläufe in einer bestimmten Zeit gemessen wird – möglichst in einem Gerät, das beide Werte erfasst. Dabei muss allerdings die Drehzahl während der Messzeit konstant sein, was bei Durchlaufbetrieb ohne Lastschwankung vorausgesetzt werden kann. Für diese »Stichdrehzahlmesser« geben die Hersteller eine Abweichung von (0,2 ... 0,5) % an.

38.4.1.3 Handtachos mit Digitalanzeige

Diese Geräte erfassen optisch eine am umlaufenden Teil angebrachte Markierung; ihre Toleranz wird mit 0,1 % oder ± 1 Digit angegeben.

38.4.1.4 Stroboskope

Die Vorteile dieses Prinzips liegen vor allem in der Möglichkeit, Vorgänge am umlaufenden Teil sichtbar zu machen. Bezüglich der Anzeigetoleranz bringen Stroboskope mit ± 1 % bzw. ± 1 r/min nicht die im Rahmen dieser Abhandlung erforderlichen Werte.

38.4.1.5 Direkte Schlupfmessung

Diese Methode bringt die geringsten Abweichungen. Eine ringförmige »Schlupfspule« (z. B. 700 Windungen aus Runddraht von etwa 1 mm \varnothing , mittlerer Windungsdurchmesser von 20 ... 30 cm) wird axial direkt an den Motor herangeführt. Die nach außen tretenden Streufelder induzieren eine Spannung, die von einem Drehspul-Messgerät erfasst werden kann. Diese Spannung enthält die Netzfrequenz (der ein Drehspulinstrument nicht folgen kann) und die überlagerte Schlupffrequenz, deren Ausschläge nach einer Seite (Perioden) abzuzählen sind.

Bei einem Schlupf bis zu etwa 6 % (Schlupffrequenz etwa 3 Hz) lässt sich der Zeigerausschlag noch visuell erfassen; es ist dann zu rechnen

$$s = \frac{Z \cdot 100}{T \cdot f}$$

- s - Schlupf in%
- Z - Zahl der Ausschläge (in eine Richtung)
- T - abgestoppte Zeit für Z Ausschläge in s
- Z / T - Schlupffrequenz in Hz
- f - Netzfrequenz in Hz

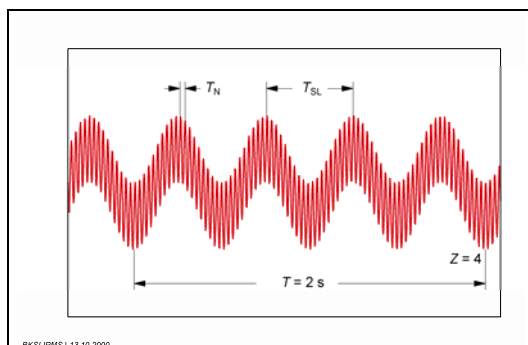


Bild 38.4.1.5
Oszillogramm der induzierten Spannung in einer »Schlupfspule« (Prinzipdarstellung)

Beispiel : Z = 4
T = 2 s
f = 50 Hz

$$s = \frac{4 \cdot 100}{2 \cdot 50} = 4\%$$

38.4.2 Angabetoleranz der Bemessungsdrehzahl

Voraussetzung für eine brauchbare Aussage über den Auslastungsgrad eines Motors nach der Schlupfmethode wäre eine eng tolerierte Drehzahl- oder Schlupf-Angabe auf dem Leistungsschild. Diese Vorbedingung wird i. A. nicht eingehalten! Nach IEC 60034-1, Tabelle 8, Nr. 5 sind für den Schlupf von Induktionsmotoren bei Bemessungsleistung und im betriebswarmen Zustand folgende Abweichungen zulässig:

Maschinen ≥ 1 kW (oder kVA)	: ± 20 %
Maschinen < 1 kW (oder kVA)	: ± 30 %

Das heißt in Zahlenbeispielen:

Bemessungsleistung	7,5 kW	0,75 kW
Schildangabe	1450 r/min	1400 r/min
Zulässige Abweichung	1440 ... 1460 r/min	1370 ... 1430 r/min

Ein Blick in Herstellerkataloge zeigt, dass die genormte Toleranz weitgehend ausgeschöpft wird: Im unteren und mittleren Leistungsbereich werden die Bemessungsdrehzahlen meist auf 5 r/min angegeben, also z. B. 1450 oder 1455 r/min, nicht aber 1452 r/min. Manchmal wird sogar in Abständen von 10 r/min gestuft. Da Schlupf und relatives Drehmoment direkt linear zusammenhängen, muss für einen nach der Schlupfmethode ermittelten Auslastungsgrad mit einer Abweichung von etwa ± 20 % gerechnet werden, sofern für die Bemessungsdrehzahl auf dem Leistungsschild die in der Norm festgelegten Grenzen eingehalten wurden. Temperatureinflüsse können diese Abweichung noch vergrößern.

Wo diese große Fehlermöglichkeit für eine grobe Abschätzung akzeptiert werden kann, stellt die »Schlupfmethode« eine einfache Methode zur Ermittlung der relativen Auslastung dar.

38.5 Direkte Drehmomentmessung

Für die direkte Messung des vom Motor auf die Arbeitsmaschine übertragenen Drehmoments stehen **Drehmoment-Messwellen** nach verschiedenen Methoden zur Verfügung, z. B.:

- Dehnmessstreifen mit frequenzmodulierter Signalübertragung
- Dehnmessstreifen mit Signalübertragung über Schleifringe
- induktive Erfassung der Torsion

Die Messfehler liegen recht niedrig, z. B. bei 0,1 %.

Diese Methoden bieten sich für Labor und Serienprüfungen an; für Messungen am Einsatzort haben sie einen gravierenden Nachteil: **Der Wellenstrang muss unterbrochen werden, damit die Drehmoment-Messwelle eingefügt werden kann (Bilder 38.5.1 und 38.5.2).**

Abgesehen von Sonderfällen wird diese Methode für eine Ermittlung des Auslastungsgrades kleiner und mittlerer Maschinen wohl kaum Anwendung finden.

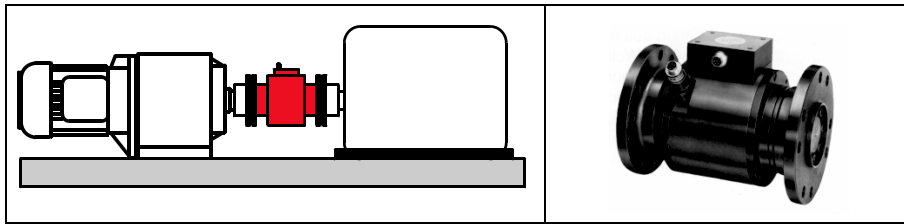


Bild 38.5.1
Anordnung einer Drehmoment-Messwelle im Wellenstrang zwischen Antrieb und Arbeitsmaschine

Bild 38.5.2
Drehmoment-Messwelle in Flanschausführung zum Einbau in den Wellenstrang
(Fa. STAIGER-MOHILO)

38.6 Zusammenfassung

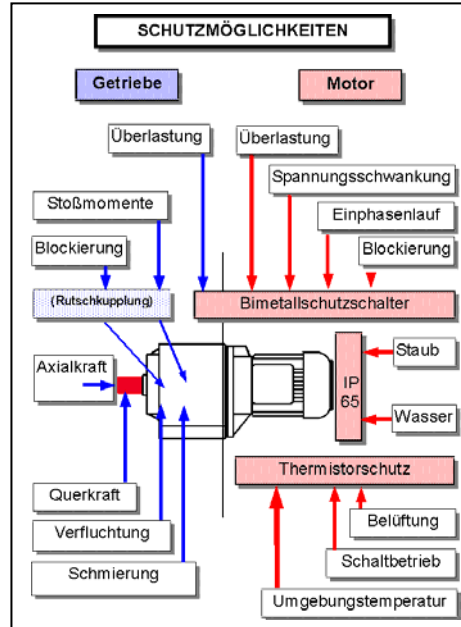
Die Frage nach dem Auslastungsgrad eines Motors wird rasch und immer öfter gestellt – die Antwort ist oft nicht ganz einfach. In diesem Abschnitt wurden einfache, praxisgerechte Mess- und Berechnungsverfahren vorgestellt, die sich allerdings auf die Betriebsarten S1, S2 und S3 beschränken.

Bei Schaltbetrieb mit Einfluss des Anlaufvorgangs auf die thermische Belastung (z. B. S4) sind andere oder zusätzliche Messungen notwendig.

VIII ÜBERLASTBARKEIT UND ÜBERLASTUNGSSCHUTZ

39 Schutzmöglichkeiten für den Getriebemotor

Bei vielen Überlastungsursachen für den **Motor**, z. B. bei mechanischer Überlast, Überspannung, Unterspannung, Schalthäufigkeit, Blockierung, Zwei-Leiter-Netzanschluss, führt eine erhöhte Stromaufnahme zu anormaler Wicklungserwärmung. In anderen Fällen kann die Wicklung auch bei normaler Stromaufnahme gefährdet werden: Z. B. überhöhte Raumtemperatur, verminderte Kühlluftzufuhr oder Umrichterbetrieb bei niedriger Frequenz. Von den verschiedenen, nachstehend beschriebenen Verfahren zum Schutz der Motorwicklung ist daher je nach Gefahrenquelle und gefordertem Schutzzumfang das geeignete auszusuchen; gewisse Betriebsbedingungen können sogar eine Kombination von zwei verschiedenen Schutzeinrichtungen notwendig machen. Anders als beim Motor sind die Schutzmöglichkeiten für das **Getriebe** erheblich eingeschränkt; die Schadensquote liegt entsprechend hoch. **Ausführliche Hinweise zu diesem Thema im Danfoss-Bauer-Buch "Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren".**



39.1 Überlastbarkeit des Motors

Für die **gelegentliche Stromüberlastung** der Wicklungen von Käfigläufermotoren ist in Abschnitt 18.1 von EN 60034-1 (VDE 0530-1) festgelegt:

"Drehstrommotoren müssen einen Strom gleich dem 1,5fachen Bemessungsstrom mindestens 2 min aushalten können". Ergänzend heißt es in einer Anmerkung: "Die Stromüberlastbarkeit bei drehenden Maschinen wird hier angegeben, um Steuer- und Schutzeinrichtungen auf die Maschinen abstimmen zu können. Prüfungen, mit denen die Überlastbarkeit nachgewiesen wird, werden in dieser Norm nicht gefordert. Die Erwärmung der Maschinenwicklungen ändert sich etwa mit dem Produkt aus der Zeit und dem Quadrat des Stromes. Ein Überstrom bewirkt steigende Temperaturen. Sofern zwischen Hersteller und Käufer nicht anders vereinbart, kann davon ausgegangen werden, dass die Maschine während ihrer Lebenszeit nur wenige kurze Zeitabschnitte mit den genannten Überströmen betrieben wird."

Für die **kurzzeitige Drehmoment-Überlastbarkeit** ist in den Abschnitten 19.1 und 19.2 der Norm gefordert:

Mehrphasen-Induktionsmotoren

Die Motoren müssen unabhängig von ihrem Betrieb und ihrer Ausführung 15 s lang bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz, bis zum 1,6fachen Bemessungsmoment überlastbar sein, ohne dass ein Stehenbleiben oder ein plötzlicher Drehzahlabfall (bei allmählichem Anstieg des Drehmoments) eintritt. Motoren der Betriebsart S9 müssen kurzzeitig in der durch den Betrieb festgelegten Höhe im Drehmoment überlastbar sein.

Induktionsmotoren für Sonderanwendungen

Die Drehmoment-Überlastbarkeit von Motoren für Sonderanwendungen, die erhöhte Drehmomente erfordern (z. B. Motoren für Hebezeuge), muss zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

Bei Induktionsmotoren mit Käfigläufer in Sonderausführung, die für einen Anzugsstrom ausgelegt sind, der kleiner als der 4,5fache Bemessungsstrom ist, darf die Drehmoment-Überlastbarkeit unter dem genannten Wert von 1,6 liegen, aber nicht unter 1,5.

Die Drehmoment-Überlastbarkeit von Induktionsmotoren mit besonderen Anlaufbedingungen, z. B. Motoren, die mit variabler Frequenz gespeist werden, muss zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

39.2 Schutzmöglichkeiten für die Motorwicklung






Je nach Art der Überlastung gibt es für Elektromotoren verschiedene Schutzmöglichkeiten. Keine Methode kann allein als »Vollschutz« bezeichnet werden. Diese Einschränkung gilt verstärkt für Getriebemotoren – Abschnitt 40 macht die Gründe deutlich.

In der nachfolgenden Tabelle sind häufig vorkommende Überlastungsarten und die Schutzmöglichkeiten verschiedener Einrichtungen zusammengestellt. In den Vergleich wurden Schmelzsicherungen einbezogen, um deutlich zu machen, dass sie lediglich eine Schutzfunktion für die Leitung, nicht jedoch für den Motor haben.

	Code ⇒	A	B	C	D	E
	Schutzelement ⇒					
	↓ Überlastungsart					
1	Überstrom $I \leq 2 \cdot I_N$	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Schaltbetrieb $Z \leq 30$ c/h	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Schaltbetrieb $Z > 30$ c/h	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Schweranlauf $t_a > 6$ s	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Blockierung bei $i_A \leq 40$ A/mm ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Blockierung bei $i_A > 40$ A/mm ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Zweileiterbetrieb	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Spannungsabweichung $\Delta U > \pm 10$ %	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Frequenzabweichung $\Delta f > \pm 5$ %	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Umgebungstemperatur $\vartheta_{amb} > 50$ °C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Behinderung der Kühlung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Umrichterbetrieb in unzulässigen Frequenzbereichen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Erläuterung der Schutzmöglichkeit: - kein Schutz
 - bedingter Schutz
 - voller Schutz

Erläuterungen zu den Schutzelementen:

Code	Symbol	Erklärung
A		träge Schmelzsicherung Nennwert $(1,6 \dots 2,5) \cdot I_N$
B		Stromabhängig verzögerter thermischer Überstromauslöser (Bimetallrelais = Motorschutzschalter) Einstellwert $I_E = I_N$
C		Stromabhängig verzögerter thermischer Überstromauslöser (Bimetallrelais = Motorschutzschalter) mit Phasenausfallempfindlichkeit; Einstellwert $I_E = I_N$
D		thermischer Motorschutz TMS (Thermistor-Auslösegerät) Ankoppelungszeit $T_K < 6$ s
E		Stromabhängig verzögerter thermischer Überstromauslöser (Bimetallrelais = Motorschutzschalter) mit Phasenausfallempfindlichkeit Trägheitsgrad TI Einstellwert $I_E : 1,5 I_N < I_E < 0,3 I_A$ möglichst niedrig, jedoch max. $0,3 I_A$ kombiniert mit thermischem Motorschutz TMS (Thermistor-Auslösegerät) Ankoppelungszeit $T_K < 6$ s

Erläuterungen zu den Überlastungsarten:

Code	Abk.	Erklärung
1	I I_N	tatsächlicher Strom bei Überlastung Bemessungsstrom des Motors
2	Z	Zahl der Einschaltungen pro Stunde; bis zu 30 c/h ist i. A. keine Frühauslösung zu erwarten
3	Z	Zahl der Einschaltungen pro Stunde; bei mehr als 30 c/h ist eine Frühauslösung des Bimetallrelais nicht auszuschließen
4	t_a	Hochlaufzeit; falls länger als 6 s, ist Frühauslösung des Bimetallrelais zu erwarten – evtl. Sättigungswandler verwenden
5, 6	i_A	Stromdichte bei Anzugsstrom i_A
7	-	Wicklungen in Δ -Schaltung sind besonders gefährdet, falls keine Relais mit Phasenausfallempfindlichkeit eingesetzt werden
8	ΔU	Spannungsabweichung als Netzschwankung; s.a. DIN VDE 0530-1, Abschn. 12.3
9	Δf	Frequenzabweichung als Netzschwankung; s.a. DIN VDE 0530-1, Abschn. 12.3
10	ϑ_{amb}	Umgebungstemperatur
11	-	z. B. durch Verschmutzung der Kühlluftwege
12	-	z. B. Dauerbetrieb bei niedrigen Frequenzen

40 Getriebebelastung

Schäden oder Beanstandungen an Untersetzungsgetrieben können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Geräusche
- Gewaltbrüche
- Verschleiß
- Erwärmung.

Von hochwertigen Stirnrädern kann erwartet werden, dass sie bei bestimmungsgemäßer Verwendung und richtiger Schmierung praktisch verschleißfrei arbeiten. Gewaltbrüche können nur bei **dynamischer Stoßbeanspruchung** auftreten. Bei der Bewertung von Geräuschen sind objektive, messtechnische Maßstäbe anzulegen; eine subjektive Beurteilung wird den technischen Gegebenheiten nicht gerecht.

40.1 Überlastbarkeit des Getriebes

Die Bruchfestigkeit eines verantwortungsbewusst konstruierten und bestimmungsgemäß eingesetzten Getriebes liegt erheblich höher als das Anzugsmoment des zugeordneten Motors, sofern nicht bei sehr kleinen Ausgangsleistungen wegen einer zu erwartenden Schwergängigkeit (z. B. Anlauf bei sehr tiefen Temperaturen) besonders hohe Reserven in die Motorleistung gelegt werden müssen. In aller Regel ist daher der Rückschluss erlaubt, dass Gewaltbrüche (Wellen, Passfedern, Zähne) durch dynamische Stoßmomente verursacht sein müssen, die weit über die vom Motor erzeugten Drehmomente hinausgehen.

Ausführliche Hinweise auf Ursache und Wirkung sind dem Danfoss-Bauer-Buch "Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren" und dem Sonderdruck SD 32.. "Betriebsfaktoren" zu entnehmen. An dieser Stelle nur folgende Hinweise:

- Spiel in Übertragungselementen (Kupplungen, Ketten) vermeiden.
- Aus der Massenwirkung (Schwungradenergie des Rotors) erzeugte Stoßmomente können weit über das 10fache Bemessungsmoment hinausgehen.
- Wenn mit Blockierungen gerechnet werden muss: Rutschkupplungen oder zumindest hochelastische Wellenkupplungen verwenden.

Bild 40.1.1

»Fließen« einer Passfeder am Endrad eines Getriebes beim statischen Bruchversuch; Drehmoment beim Schaden etwa 26 ... 30faches Bemessungsmoment



Bild 40.1.2

Zahnbruch am Endrad eines Getriebes beim statischen Bruchversuch; Drehmoment beim schlagartig eintretenden Schaden etwa 11,5faches Bemessungsmoment

40.2 Schutzmöglichkeiten für das Getriebe

Für den **stationären** Betrieb besteht bei jedem Motortyp ein fester Zusammenhang zwischen mechanischer Leistungsabgabe und elektrischer Leistungsaufnahme. Diese eindeutige Belastungskennlinie, die für jeden listenmäßigen Motortyp durch Messung ermittelt wird und beim Hersteller vorliegt, erlaubt aufgrund einer einfachen Betriebsmessung einen sicheren Rückschluss auf den Belastungsgrad, wobei natürlich die ungünstigsten Betriebsverhältnisse erfasst werden müssen. Bei **stoßartig verlaufenden** Vorgängen versagt dieses einfache Verfahren, da bei einer raschen Abbremsung der langsam laufenden Welle die Schwungradenergie des schnell rotierenden Motorläufers zur Wirkung kommt und mit umso höheren Drehmomenten und Kräften den alten Bewegungszustand aufrechtzuerhalten versucht, je rascher die Drehzahländerung erfolgt. Diese Vorgänge sind unabhängig von der Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik des Motors und benötigen keine Energie aus dem Netz, sind also auch nicht mit extrem schnell schreibenden **elektrischen** Leistungsschreibern nachweisbar.

Es ergeben sich u. a. folgende Schlussfolgerungen:

- Thermische Überlastungsschutzeinrichtungen wirken zuverlässig für den Schutz von Wicklungen, können aber aus physikalischen Gründen keinen Schutz von mechanischen Bauteilen gegen stoßartige Überlastung übernehmen.
- Aus der »Schwungradenergie« des rotierenden Läufers einer elektrischen Maschine können im »Blockierungsfall« außerordentlich hohe Kräfte resultieren, die zwangsläufig zur Beschädigung von mechanischen Bauteilen (Wellen, Paßfedern, Kupplungen) führen.
- Ein sicherer Überlastungsschutz für mechanische Bauteile lässt sich nicht auf »elektrischem Weg«, sondern nur durch eine mechanische Begrenzung von Drehmomentspitzen (z. B. durch Rutschkupplungen, hochelastische Übertragungselemente oder federnde Puffer) erreichen.





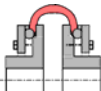



Weiterführende Angaben zu diesem Thema siehe Sonderdruck SD 32.. "Betriebsfaktoren".

Die nachfolgende Tabelle zeigt schematisch einige der häufig vorkommenden mechanischen Überlastungsarten und die Schutzmöglichkeiten.


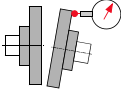
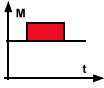
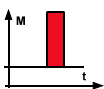


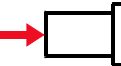
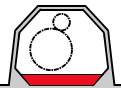


- Erläuterung der Schutzmöglichkeit: □ - kein Schutz
◆ - bedingter Schutz
■ - voller Schutz

		A	B	C	D	E	F	G	H
	Schutzelement ⇒ Überlastungsart ↓								
1		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	◆	■	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	◆	■	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3		<input type="checkbox"/>	◆	◆	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	◆	<input type="checkbox"/>
4		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	◆	■	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	◆	■	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	■	<input type="checkbox"/>
7		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	■	<input type="checkbox"/>
8		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	■
9		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	■	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	◆
10		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	■

Erläuterungen zu den Schutzelementen:

Kennbuchstabe	Symbol	Erklärung
A		träge Schmelzsicherung Nennwert $(1,6 \dots 2,5) \cdot I_N$
B		stromabhängig verzögerter thermischer Überstromauslöser (Bimetallrelais = Motorschutzschalter) Einstellwert $I_E = I_N$
C		Thermischer Motorschutz TMS (Thermistor-Auslösegerät) NAT (Nenn-Ansprech-Temperatur) nach Abschnitt 14 Ankoppelungszeit $T_K < 6 \text{ s}$
D		Kupplung mit relativ hoher Drehsteifigkeit, z. B. Klauenkupplung, Bolzenkupplung
E		Kupplung mit relativ hoher elastischer Verdrehung, z. B. mit Wellenreifen, Federn
F		Rutschkupplung, Sicherheitskupplung, hydraulische Kupplung, Scherbolzen, Kettenrad mit Rutschnabe, Stoßdämpfer, elastischer Puffer; Kettenrad mit Rutschnabe
G		richtige Planung
H		zweckmäßige und rechtzeitige Schmierung

Erläuterungen zu den Überlastungsarten:

Kennziffer	Symbol	Erklärung
1		Achsversatz (Fluchtungsfehler)
2		Winkerversatz (Fluchtungsfehler)
3		langzeitige Überlastung, z. B. $M \geq 1,2 \cdot M_N$
4		kurzzeitiger Drehmomentstoß, z. B. $M \geq 2 \cdot M_N$
5		Blockierung
6		zu hohe Radialkraft
7		zu hohe Axialkraft
8		Schmierstoffmangel (Qualität oder Menge)
9		langzeitig zu hohe Umgebungstemperatur $\geq 30 \text{ °C}$
10		beim Anlauf zu tiefe Umgebungstemperatur $\leq -20 \text{ °C}$

41 Betriebsfaktoren

Eine vorgesehene oder zulässige Überlastbarkeit wird durch »Betriebsfaktoren« ausgedrückt. Da der Betriebsfaktor im internationalen Normenwerk (außerhalb der USA) für Motoren und Getriebe **nicht festgelegt** ist, muss unbedingt beachtet werden, auf welche Basis sich ein solcher – oft willkürlich und firmenspezifisch festgelegter Faktor – bezieht. Ein Vergleich der reinen Faktoren kann zu erheblichen Fehlentscheidungen führen.

41.1 Betriebsfaktoren für Motoren

Bei **Getriebemotoren** wird der »Betriebsfaktor« in Europa immer und in Nordamerika meist als eine **mechanische** Kenngröße für das Getriebe – also in dem in Abschnitt 41.2 festgelegten Sinne, verstanden. Es gibt jedoch in Nordamerika auch einen »Service Factor SF« für **Elektromotoren**, der von manchen Herstellern auf dem Leistungsschild des Motors angegeben wird und der dann bei Getriebemotoren falsch interpretiert werden kann.

Eigentlich ist in NEMA MG1-1.42 klar definiert:

"Der Service Factor eines Drehstrommotors ist ein Faktor, der angibt, wie hoch die Bemessungsleistung unter den in MG1-14.37 festgelegten Bedingungen erhöht werden darf".

Im Einzelnen ist festgelegt, dass

- die erhöhte Leistung im Dauerbetrieb verfügbar ist
- die Wicklungstemperatur dabei um 10 K höher sein darf als der Isolierstoffklasse (Wärmeklasse) zugeordnet (NEMA MG1-12.43)
- Wirkungsgrad und Leistungsfaktor sich ändern
- nur bei **offenen, durchzugbelüfteten (ODP) Motoren** ein Service Factor > 1,0 anwendbar ist (Table 12.4)
- geschlossene, oberflächenbelüftete (TEFC) Motoren einen Service Factor 1,0 haben (Table 13.3).

Trotz dieser Festlegungen gehört der Service Factor SF zu den oft missverstandenen Festlegungen der NEMA. Er wird beispielsweise in der US-Praxis häufig auch auf **geschlossene Normmotoren** (TEFC) angewandt, wenn diese mit Isolierstoffen der Wärmeklasse F isoliert, aber nach Klasse B ausgenutzt sind (übliche Angabe SF = 1,15). In NEMA MG1-10.40.1 ist festgelegt, dass der Strom für den erhöhten Service Factor auf dem Leistungsschild nur angegeben werden muss, wenn dieser größer ist als 1,0 – bei Normmotoren IP54 (TEFC) also normalerweise nicht.

41.2 Betriebsfaktoren für Getriebe

Getriebemotoren werden nach einem bedarfsgerechten, breit angelegten und eng gestuften Baukastensystem konstruiert und zusammengestellt. Bei der Entwicklung kann – im Gegensatz zu Fahrzeuggetrieben oder Großgetrieben – der spätere spezielle Einsatzfall noch nicht berücksichtigt werden.

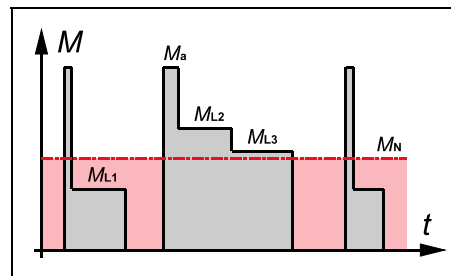
Die wichtigste Kenngröße eines solchen Seriengetriebes ist das **Bemessungsdrehmoment**, das im Dauerbetrieb bei akzeptabler Lebensdauer abgegeben werden kann. Um die verschiedenen Antriebsfälle vergleichen zu können, muss jeweils ein fiktives Drehmoment gebildet und verglichen werden. Diese aus dem jeweiligen Lastkollektiv errechneten Drehmomente sollen äquivalent sein, d. h., sie sollen bei Dauerbetrieb zur gleichen Lebensdauer der entsprechenden Getriebegrößen führen wie bei Belastung mit dem tatsächlichen Drehmoment. Die zurückgezogene Richtlinie VDI 2151 gab sinngemäß folgende Definition des Betriebsfaktors:

Der Betriebsfaktor f_B ist die Zahl, mit der das Nennmoment M_L der Arbeitsmaschine multipliziert werden muss, um ein fiktives Drehmoment M_N zu erhalten, das bei zeitlich konstanter, beliebig langer Einwirkung auf die Abtriebswelle des Getriebes die gleiche Sicherheit gegen Getriebschäden gewährleistet wie das tatsächlich wirksame zeitlich veränderliche Drehmoment.

Die Auslegung des Getriebes ist richtig, wenn seine Dauerbelastbarkeit gleich dem fiktiven Drehmoment M_N ist.

Bild 41.2
Definition des Betriebsfaktors

M_a Beschleunigungsmoment
 M_L Lastmomente 1, 2, 3
 M_N fiktives Nennmoment
 (Bemessungsmoment)
 für äquivalente Dauerbelastung bei
 gleicher Lebensdauer und Sicherheit



Die Bildung eines äquivalenten Bemessungsmoments aus dem Lastkollektiv M_a , M_{L1} , M_{L2} , M_{L3} unter Berücksichtigung der jeweiligen Einwirkzeiten und der Gesamtlaufzeit erfordert einen erheblichen Berechnungsaufwand. In dem für Getriebe-motoren üblichen, vereinfachten Verfahren werden die über das Nennmoment **der Arbeitsmaschine** hinausgehenden Drehmomente (z. B. M_a , M_{L2} und M_{L3}) durch einen »Stoßgrad« erfasst und berücksichtigt.

Welchen Nutzen haben Planer und Anwender von Getriebemotoren durch die Verwendung von Betriebsfaktoren?

- Der serienmäßig und dadurch kostengünstig konstruierte und hergestellte Antrieb wird für eine spezielle Antriebsaufgabe optimiert.
- Betriebsbedingte Drehmomentstöße der Arbeitsmaschine und zusätzliche Stoßbeanspruchungen wegen ungeeigneter Übertragungsmittel werden bewertet und entweder durch geeignete Planung reduziert oder bei der Bemessung des Getriebes berücksichtigt.
- Getriebschäden werden weitgehend vermieden.

Für weitergehende Angaben siehe Danfoss-Bauer-Sonderdruck SD 32..

Leerseite für Notizen

IX DREHZAHLVERSTELLUNG

In der Antriebstechnik wird zunehmend eine stufenlos verstellbare Drehzahl verlangt. Die Gründe sind vielfältig und mit der nachfolgenden Auflistung nur unvollständig dargestellt:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Anpassung an wechselnde Produkte | <input type="checkbox"/> Betriebssicherheit |
| <input type="checkbox"/> Verbesserung des Verfahrens | <input type="checkbox"/> Umweltschutz |
| <input type="checkbox"/> Einsparung von Energie | <input type="checkbox"/> Wartungsarmut. |

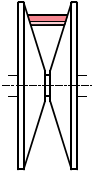
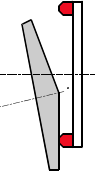

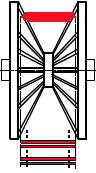
Ausführliche Hinweise zu diesem Thema in der Danfoss-Bauer-Publikation EP 2906 "Umrichter gespeiste Drehstrommotoren".

42 Mechanische Verstellgetriebe

Mechanische Verstellgetriebe haben den Markt für drehzahlverstellbare Antriebe weitgehend dominiert, bis mit dem umrichter gespeisten Drehstrommotor etwa ab Mitte der 80er-Jahre eine technische und preisliche Alternative verfügbar wurde, die zunächst akzeptabel war und inzwischen überlegen ist. Aus der Vielzahl konstruktiver Ausführungsarten wurden stellvertretend vier Varianten ausgewählt, die in der Praxis recht verbreitet waren. Mechanische Lösungen für die Drehzahlverstellung werden heute zunehmend durch umrichter gespeiste Motoren ersetzt, haben aber noch einen geringen Marktanteil, wenn die Drehzahl nur gelegentlich eingestellt werden soll und wenn für die Inbetriebnahme und Instandhaltung die bei elektronischen Komponenten erforderliche hohe Qualifikation des Personals nicht vorausgesetzt werden kann.

Der Wirkungsgrad ist meist nicht der entscheidende Faktor bei der Wahl des Antriebsprinzips; häufig sprechen unter anderem folgende Gesichtspunkte für die elektrische Lösung:

- Stellbereich
- Regelbarkeit
- Verschleiß
- Geräusch
- Drehzahlvorwahl im Stillstand.

				
System	Breitkeilriemen	Reibscheibe	Rollkörper	Lamellenkette
Stellbereich R	3 ... 9	5 ... 10	5 ... 10	6 ... 10

43 Polumschaltung für zwei feste Drehzahlen

Für Antriebsaufgaben mit geringen Ansprüchen (z. B. an Einstellbarkeit der Drehzahl, Positioniertoleranz, sanftes Umschalten) werden oft Drehstrommotoren mit polumschaltbarer Wicklung verwendet. Zum Positionieren sind häufig Drehzahlverhältnisse 1 : 3, 1 : 4, 1 : 6 oder 1 : 10 erforderlich. Beim Drehzahlverhältnis 1 : 2 wird **eine** Wicklung in **Dahländerschaltung** verwendet, bei allen übrigen Verhältnissen handelt es sich um Motoren mit zwei getrennten Ständerwicklungen, die zwar eine aufwändige Fertigung (**Bild 43.0.1**) und entsprechende Kosten (**Bild 43.0.2**) bedingen, die aber gegenüber Lösungen mit stetig verstellbarer Drehzahl (z. B. GS-Motoren oder UmrichterMotoren) bei niedrigen Drehzahlverhältnissen immer noch Preisvorteile bieten (im Bild bezogen auf obere Drehzahl etwa 100 r/min und gleiche Maximalleistung).



Bild 43.0.1
Manuelle Herstellung der zwei getrennten Wicklungen eines polumschaltbaren Motors

20polige Wicklung fertig am Nutgrund

2polige Wicklung halbfertig an der Nutöffnung

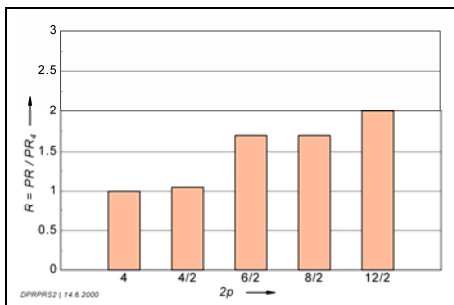


Bild 43.0.2
Richtwerte für die Kosten von polumschaltbaren Getriebemotoren mit Drehzahlverhältnissen 1 : 2 (4/2polig), 1 : 3 (6/2polig), 1 : 4 (8/2polig), 1 : 6 (12/2polig) und 1 : 10 (20/2polig) im Vergleich zu einem Getriebemotor mit fester Drehzahl (4polig)

43.1 Drehzahlverhältnis 1 : 2 (Dahländerschaltung)

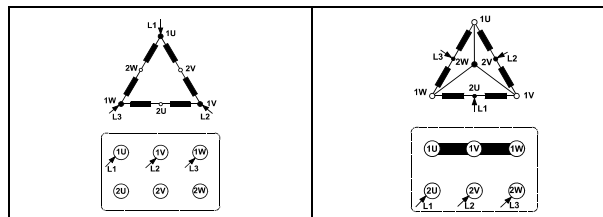
Polumschaltung im Verhältnis 1 : 2 wird besonders häufig angewandt, weil hier durch einfaches Umlegen von Schaltverbindungen (**Bild 43.1.2**) zwischen den Anschlussklemmen die Stromrichtung in Teilsträngen der Wicklung so verändert wird, dass sich zwei im Verhältnis 1 : 2 stehende Drehfeldgeschwindigkeiten ergeben.

Diese Schaltungsart wird nach dem Erfinder als Dahlanderschaltung bezeichnet. Im Gegensatz zu zwei getrennten Wicklungen (Abschnitt 43.2) ist bei beiden Drehzahlen die ganze Nutfüllung voll aktiv – es ergibt sich also eine relativ hohe Modellausnutzung. Dieser Vorteil ist zwar auch bei Sonderschaltungen vorhanden, doch benötigen diese entweder eine sehr hohe Klemmenzahl oder eine sehr komplizierte, vielfach unterteilte Wicklung. Die Dahlanderschaltung ist eine relativ billige Lösung für die Drehzahlabstufung, wenn auch allerdings nur im Verhältnis 1 : 2, was hohen Ansprüchen nicht genügt. Während bei Drehstrom-Normmotoren (ohne Getriebe) i. A. die maximal zulässige thermische Grenzleistung in den Katalogen erscheint, muss dies bei Getriebemotoren nicht immer die preislich günstigste Lösung sein. Setzt man das Drehmoment bei hoher Drehzahl als 100 %, so beträgt das thermisch für den Motor zulässige Drehmoment bei der niedrigen Drehzahl bei einem 4/2poligen Motor etwa 150 % ($1/0,65 = 1,5$). Das Getriebe muss für diese 150 % Drehmoment bemessen werden. Bei langsam laufenden Antrieben kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Drehmomentbedarf vorwiegend zur Überwindung von Reibung oder Hublast dient, also bei beiden Drehzahlen (Geschwindigkeiten) etwa gleich groß ist. Das Drehmoment-Angebot in der niedrigen Drehzahl (150 %) ist also viel zu hoch. Das Getriebe könnte für 100 % Drehmoment bemessen und damit preisgünstiger werden. Danfoss Bauer bietet daher eine preisgünstigere Abstufung der polumschaltbaren Motoren nach **Tabelle 43.1.1**:

Polumschaltung Δ/YY	Relative Drehmomente		Relative Leistungen	
	niedrige Drehzahl	hohe Drehzahl	niedrige Drehzahl	hohe Drehzahl
4/2	100 %	≈ 100 %	100 %	≈ 200 %
8/4	100 %	≈ 100 %	100 %	≈ 200 %

Tabelle 43.1.1 Abstufung von Drehmoment und Leistung bei polumschaltbaren Drehstrom-Getriebemotoren in Dahlanderschaltung mit preisgünstiger Getriebeausnutzung für konstantes Moment

Bild 43.1.2
Klemmschaltung bei
der Dahlanderschaltung
für zwei Drehzahlen im
Verhältnis 1 : 2



43.2 Andere Drehzahlverhältnisse (getrennte Wicklungen)

Für zwei Drehzahlen, die vom Verhältnis 1 : 2 abweichen, werden meist zwei getrennt in einen Ständer eingelegte Wicklungen verwendet. Der wickeltechnische Aufwand an Einlegearbeit, Schaltverbindungen und Isolierung (Spule gegen Spule und Wicklung gegen Wicklung) ist groß. Eine maschinelle Bewicklung ist meist nicht möglich; der Anteil an Handarbeit (also der Lohnkostenanteil) ist relativ hoch.

43.2.1 Klemmschaltung

Die zwei getrennten Wicklungen mit verschiedener Polzahl sind wahlweise ans Netz zu legen (**Bild 43.2.1**). Sie sind im Normalfall im Motorinnern in Stern geschaltet und mit drei Enden ausgeführt. Eine zusätzliche Spannungsumschaltung Δ/Y ist zwar grundsätzlich möglich, wird aber auf Sonderfälle beschränkt, da 12 Anschlussklemmen und ein in der Regel vergrößerter Klemmenkasten erforderlich sind.

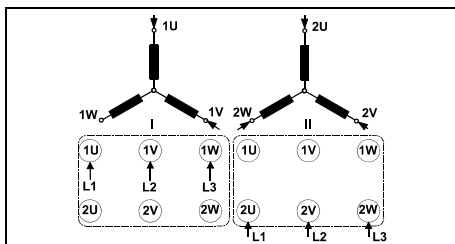


Bild 43.2.1
Schaltung für zwei getrennte
Wicklungen,
zwei Drehzahlen I und II

43.2.2 Ausführbare Drehzahlverhältnisse

Für die ausführbaren Polzahlen gibt es physikalische und fertigungstechnische Grenzen: Die niedrigste Polzahl ist 2 (3000 r/min bei 50 Hz). Die höchste mit vertretbarem Aufwand noch ausführbare Polzahl ist von der Baugröße des Motors abhängig. Bei Positioniermotoren sind Drehzahlverhältnisse nach **Bild 43.2.2** üblich.

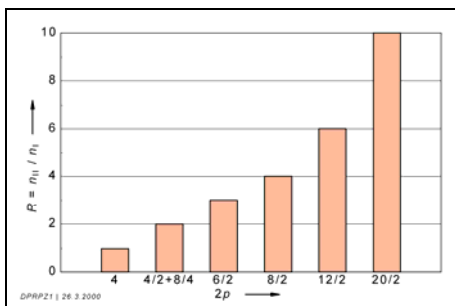


Bild 43.2.2
Drehzahlverhältnis R von
polumschaltbaren Positioniermotoren
mit zwei Drehzahlen

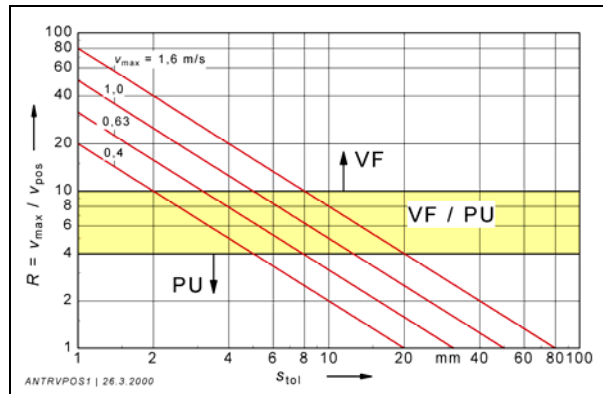
43.3 Grenzen der Polumschaltung

Je höher die Arbeitsgeschwindigkeit und je geringer die zulässige Haltetoleranz ist, umso größer muss das Drehzahlverhältnis gewählt werden. Im Danfoss-Bauer-Buch "Anlaufen, Bremsen, Positionieren mit Drehstrom-Asynchronmotoren" sind Erfahrungswerte genannt, die allerdings eine Nachrechnung im Einzelfall nicht ersetzen können. **Bild 43.3.1** zeigt die Grenzen der Antriebssysteme:

- Drehzahlverhältnisse $R \leq 4$ erlauben die konventionelle Lösung mit Polumschaltung PU.
- Drehzahlverhältnisse $R > 10$ erfordern in der Regel die Lösung mit variabler Frequenz VF.
- Im Bereich $4 < R \leq 10$ konkurrieren die beiden Lösungen mit technischen Vorteilen für VF und geringen Preisvorteilen für PU.

Bild 43.3.1
Anwendungsgrenzen in
Abhängigkeit von der
erwarteten Haltetoleranz
 s_{tol} und der
Arbeitsgeschwindigkeit
 v_{max}

PU
Polumschaltung
VF
variable Frequenz



Nicht nur im Übergangsbereich sind für die Entscheidung neben den technischen Gesichtspunkten auch die Kosten maßgebend. Die Entwicklung einer kompakten, im Motor-Klemmenkasten integrierten Lösung (**Bild 43.3.3**) erleichtert im gerade für die Fördertechnik interessanten Leistungsbereich bis 7,5 kW die Entscheidung für die Umrichterspeisung, wie Bild **43.3.2** zeigt. Diesem Preisvergleich liegen folgende Annahmen zugrunde, die im Einzelfall entsprechend modifiziert, aber bezüglich der Schalt- und Steuergeräte nicht vergessen werden sollten:

- Drehzahlverhältnis 1:6
- relative Einschaltdauer (ED) 60 % bei VF und 25/75 % bei PU
- Thermischer Motorschutz (TMS) durch Thermistoren (Auslösegerät gehört zur Serienausstattung des Umrichters)
- Schaltschütze für die Polumschaltung (beim Umrichter nicht erforderlich)
- Verdrahtungs- und Installationskosten wurden nicht berücksichtigt (bei PU höher als bei VF).

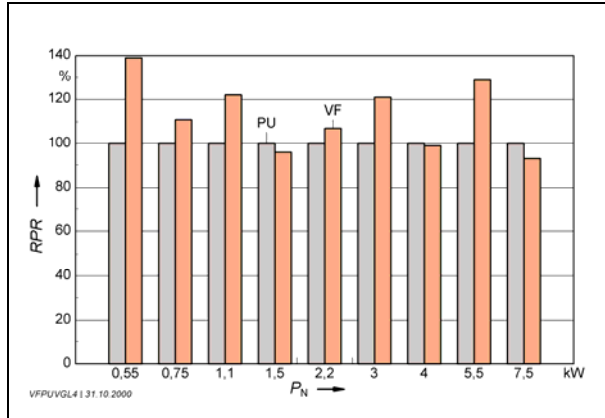


Bild 43.3.2
Richtwerte für den relativen Preis *RPR* bei den Antriebslösungen mit Polumschaltung (PU) und integriertem Umrichter (VF)

Randbedingungen siehe Text



Bild 43.3.3
»Eta-K« - Drehstrom-
Getriebemotor mit
angebautem
Frequenzumrichter als
Kompaktantrieb
Bemessungsleistungen
 P_N bis 7,5 kW

integrierte
Schutzeinrichtung
gegen Überlast,
Überstrom,
Phasenausfall, Über-
oder Unterspannung;

thermische
Überwachung von
Motor und Umrichter,
Steckbar mit Motorteil
verbunden;
Schutzart IP65

44 Umrichtergespeiste Drehstrommotoren

Jede Art der stufenlosen Drehzahlverstellung ist mit erhöhtem Aufwand an Technik und Kosten verbunden. Meist ist die »vor Ort« installierte Komponente des Antriebssystems modifiziert und dadurch mit »Schwachstellen« versehen (**Bild 43**).

Anders beim Umrichtermotor:

Abgesehen von geringen Abweichungen in der Wicklungsauslegung entsprechen frequenzgesteuerte Drehstrommotoren vollauf den listenmäßigen Motoren. Bei vollkommenem Schutz gegen Staub sowie Strahlwasser (Schutzart IP65) erlauben sie ohne Weiteres eine Aufstellung »in vorderster Front«, also auch unter den schwierigsten Umweltbedingungen. Die für eine stufenlose Drehzahl-Verstellung nun einmal erforderlichen komplizierten und empfindlichen Bauelemente sind ganz in den Frequenz-Umrichter verlegt und können unabhängig vom Aufstellungsort des Antriebs in einem ungefährdeten, leicht zugänglichen und zu beaufsichtigenden Maschinenraum oder im Schaltschrank installiert werden. Ein »Zwischennetz« verbindet Speisequelle und Motor.

Nur wenige Lösungen für eine stufenlose Drehzahlverstellung bieten so wie der frequenzgesteuerte Drehstrom-Asynchronmotor diese räumliche Trennung der komplizierten Verstellelemente von den einfachen Antriebselementen.

Diese Antriebsart bietet sich deshalb für besonders schwierige oder unzugängliche Einsatzpunkte an.


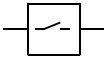

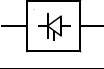

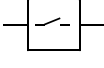


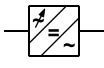
Gefährdeter Bereich		Ungefährdeter Bereich	
z. B. Wasser, Korrosion Staub, Explosion		besondere Merkmale	Elektrische Betriebsmittel
DNM		Schleifringe / Kommutator Bürsten	
GM		Kommutator Bürsten	
VGM		Riemen / Schlupf / Elektrostatik Verschleiß	
UM		variable Frequenz 	

Bild 44 Vergleich von Antriebsarten mit variabler Drehzahl

- DNM - Drehstrom-Nebenschlussmotor
- GM - Gleichstrommotor
- VGM - Verstell-Getriebemotor mit Breitkeilriemen-Getriebe
- UM - Umrichtermotor

44.1 Drehzahl und Schlupf

Das Prinzip der Drehzahlverstellung ist einfach:

Für die Synchrondrehzahl eines Drehstrom-Asynchronmotors gilt bekanntlich

$$n_{\text{sy}} = \frac{60 \cdot f}{p}$$

n_{sy} - Synchrondrehzahl in r/min
 f - Frequenz in Hz
 p - Polpaarzahl des Motors.

Die Synchrondrehzahl ändert sich also direkt mit der Speisefrequenz. Um Drehmoment zu bilden, muss der Rotor eines Asynchronmotors um die Schlupfdrehzahl gegenüber dem synchron rotierenden Drehfeld zurückbleiben:

$$n_{\text{N}} = n_{\text{sy}} - n_{\text{Sl}}$$

n_{Sl} - Schlupfdrehzahl in r/min
 n_{sy} - Synchrondrehzahl in r/min
 n_{N} - Asynchrondrehzahl bei Bemessungsmoment in r/min

Hieraus ergibt sich der Schlupf in % die Schlupffrequenz im Rotor in Hz

$$s = \frac{(n_{\text{sy}} - n_{\text{N}}) \cdot 100}{n_{\text{sy}}} = \frac{n_{\text{Sl}} \cdot 100}{n_{\text{sy}}} \quad f_{\text{Sl}} = \frac{n_{\text{Sl}} \cdot p}{60}$$

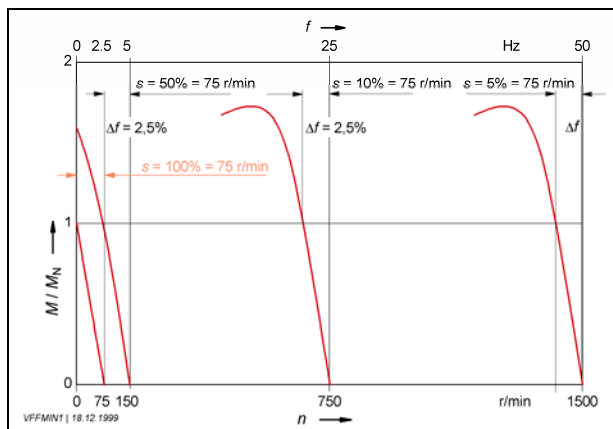


Bild 44.1 Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien eines Asynchronmotors bei 50/25/2,5 Hz

Schlupfdrehzahl jeweils 75 r/min,
Schlupffrequenz jeweils 2,5 Hz

Das Diagramm macht deutlich, dass eine **Mindestfrequenz** (im Beispiel 2,5 Hz) erforderlich ist, um den Antrieb aus dem Stillstand gegen das Bemessungsmoment zu starten. Bei entsprechender thermischer Auslegung ist ein Betrieb mit Drehzahlen wenig über 0 möglich. Diese Darstellung gilt bei der konventionellen U/f -Steuerung. Bei einer modernen Flussvektorsteuerung sorgt der Umrichter selbst für eine optimale Anpassung der U/f -Kennlinie. Der Drehzahlbereich ist also weitaus größer als der üblicherweise berechnete Frequenzbereich (im Beispiel $50/2,5 = 20$).

44.2 Spannung/Frequenz-Verhältnis (U/f -Kennlinie)

Beim Induktionsmotor hängt das Drehmoment quadratisch vom Magnetfluss ab:

$$M \propto \Phi^2$$

Spannung und Frequenz müssen daher so verändert werden, dass der Magnetfluss konstant bleibt (**Bild 44.2.1**).

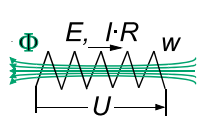
	$U = E + R \cdot I$ $E = 4,44 \cdot f \cdot w \cdot \Phi \cdot \xi_w$ $\Phi \propto \frac{E - R \cdot I}{f}$ $\Phi \propto \frac{U}{f}$	M - Drehmoment U - Spannung f - Frequenz I - Strom	E - induzierte Spannung Φ - Magnetfluss w - Windungszahl ξ_w - Wickelfaktor R - Wirkwiderstand
---	---	---	---

Bild 44.2.1 Induktionsgesetz und Relation von Spannung, Frequenz und Fluss

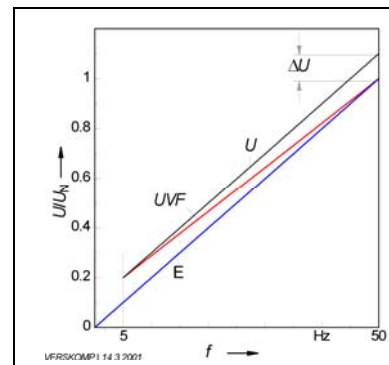
Die (induzierte) Spannung muss theoretisch linear mit der Frequenz verändert werden. Es ist zulässig, im Bereich der Bemessungsspannung den ohm'schen Spannungsabfall zu vernachlässigen, also $U \approx E$ zu setzen. Da der Wert $\Delta U = I \cdot R$ bei allen Frequenzen gleich hoch ist, wirkt sich der ohmsche Spannungsfall bei niedrigen Frequenzen prozentual sehr stark aus – muß also kompensiert werden.

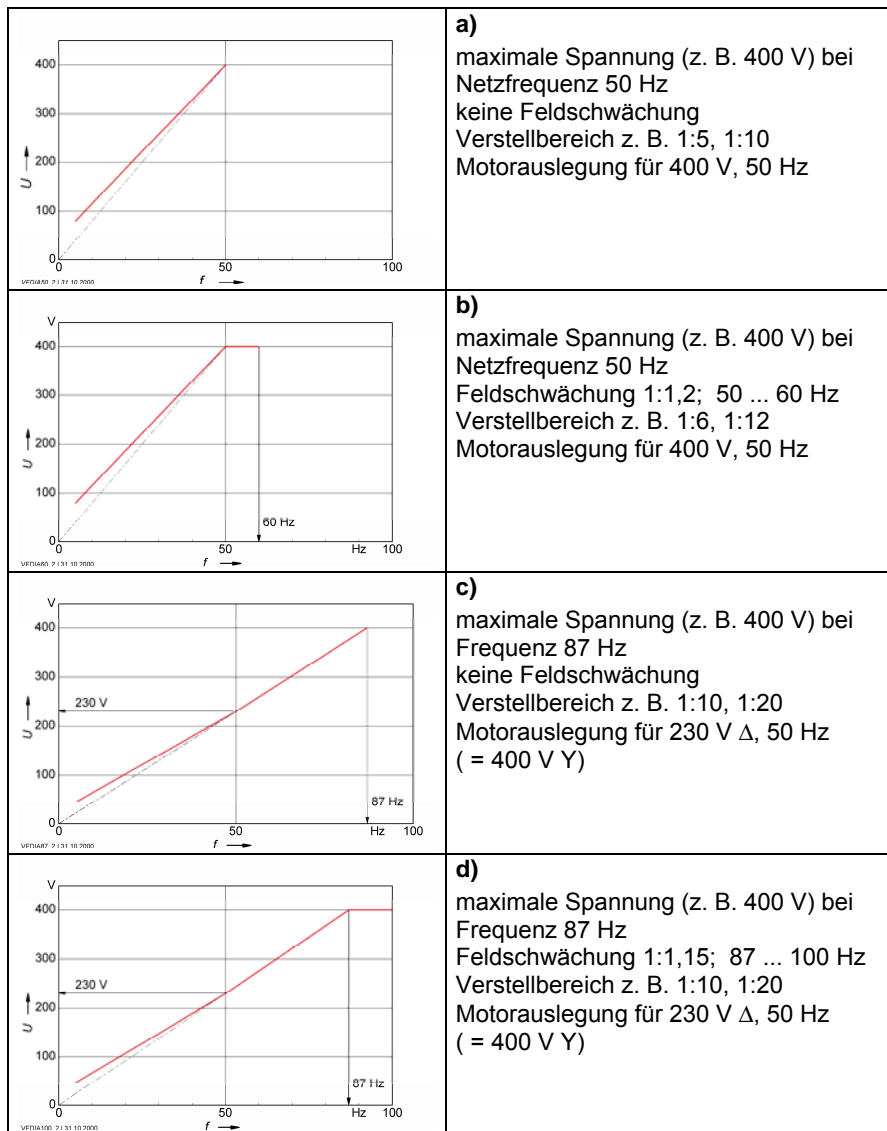
Hieraus resultiert die grundsätzliche Spannungs-Frequenz-Kennlinie nach **Bild 44.2.2**. Die optimale Motormagnetisierung wird erreicht, indem der Frequenzumrichter die Motorkonstanten (Ständerwiderstand und -induktivität) berücksichtigt. Der Frequenzumrichter berechnet mit diesen Daten die **optimale Ausgangsspannung**. Da der Frequenzumrichter ständig den Belastungsstrom misst, kann er die Ausgangsspannung entsprechend der Belastung nachregeln. Die Motorspannung wird so dem Motortyp angepasst und folgt den Belastungsänderungen.

Bild 44.2.2

Grundsätzliche Spannungs-Frequenz-Kennlinie

Der Spannungsfall ΔU wird nur im unteren Frequenzbereich voll kompensiert.



44.3 Beispiele für U/f -KennlinienBild 44.3 Beispiele für gebräuchliche und bewährte U/f - Kennlinien

44.4 Feldschwächung

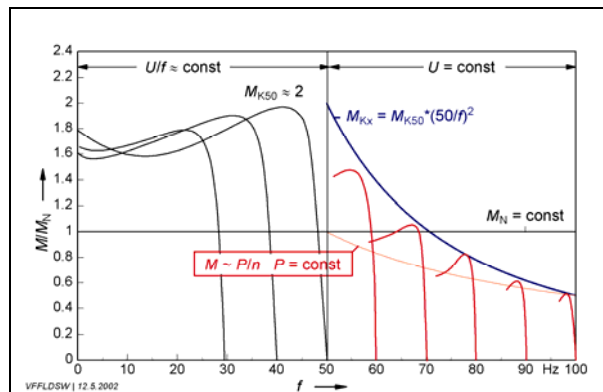
Die Kosten der Leistungshalbleiter werden wesentlich bestimmt von Grenzspannung und Dauerstrom. Für kleine Motorleistungen sind daher Umrichter mit Bemessungsspannung 220 (230) V besonders preisgünstig. Bei mittleren und größeren Leistungen wird man Halbleiter mit möglichst hoher Bemessungsspannung (z. B. 400 V) wählen, damit der Bemessungsstrom möglichst niedrig ist. Im Allg. wird diese Bemessungsspannung der oberen Grenzfrequenz (z. B. 400 V / 87 Hz) zugeordnet; die U/f -Kennlinie verläuft z. B. nach c) im Bild 44.3.

Ordnet man die Bemessungsspannung des Umrichters der Netzfrequenz zu (also z. B. 400 V / 50 Hz), so ergeben sich kleinere bemessungsströme und gegebenenfalls eine günstige Umrichter- bzw. Strom-Größe. Der Motor arbeitet jedoch im Bereich 50 ... 87 Hz ähnlich Kennlinie b) im Diagramm 44.3 mit der so genannten »Feldschwächung«; d.h., der magnetische Fluss nimmt gemäß Abschnitt 44.2 im Bereich 50 ... 87 Hz linear mit der Frequenz ab – das Kippmoment sogar quadratisch! Bei der oberen Grenzfrequenz 87 Hz ist das Kippmoment auf etwa 1/3 gesunken (**Bild 44.4**). Diese U/f -Kennlinie mit einem Feldschwächbereich von 87/50 = 1,73 kann nur für Antriebe mit entsprechend sinkendem Drehmomentbedarf empfohlen werden.

Bei den in der Fördertechnik dominierenden Antriebsfällen mit etwa konstantem Drehmomentbedarf im ganzen Verstellbereich gilt die Regel:

Feldschwächbereich max. etwa 1:1,2, also z. B. 50 ... 60 Hz oder 87 ... 100 Hz.

Bild 44.4
Drehmoment-Kennlinien
bei $U/f = \text{const}$
(Verlauf nach Bild 44.3a)
und bei Feldschwächung
 $U = \text{const}$
(Verlauf nach Bild 44.3b)



Bis 50 Hz wird etwa konstanter Fluss, also ein hohes Kippmoment (z. B. $M_K/M_N = 2$ bei 50 Hz), erzeugt. Im Feldschwächbereich > 50 ... 100 Hz nimmt das Kippmoment M_{Kx} quadratisch mit der Frequenz ab. Konstantes Bemessungsmoment M_N kann mit Rücksicht auf die **Überlastungsreserve** nur bis etwa 60 Hz gefordert werden. Wird im Feldschwächbereich nur konstante Leistung P gefordert, so kann das dabei reduzierte Moment bis etwa 80 Hz als Bemessungsmoment aufgebracht werden

Aus diesen Bedingungen resultiert die oben genannte Grenze für den Feldschwächbereich. Diese Darstellung macht deutlich, dass im Einzelfall der zulässige Feldschwächbereich abhängt von

- dem relativen Kippmoment M_K/M_N , das der listenmäßige Motor bei 50 Hz als Reserve »mitbringt«;
- der verlangten Mindest-Überlastbarkeit im Feldschwächbereich, die bei großer Überlastungsgefahr und bei Schweranlauf hoch sein sollte und bei leichteren Antriebsfällen entsprechend niedrig sein kann.

44.5 Einfluss des Verstellbereichs auf die Drehmoment-Reduzierung

Der Einfluss der **Oberschwingungen** ist bei pulsweitenmodulierten PWM-Umrichtern vernachlässigbar und bei älteren Systemen mit 10 ... 15 % relativ gering.

Entscheidend für das tatsächlich im ganzen Verstellbereich verfügbare »konstante Drehmoment« ist nach **Bild 44.5** jedoch der verlangte Stellbereich: Die Linien 5 und 20 zeigen, dass bei Verstellbereich 1 : 5 noch etwa 90 %, bei 1 : 20 jedoch nur noch 65 ... 70 % des ursprünglichen Nennmomentes verfügbar sind, wenn – wie häufig üblich – 87 Hz als obere Grenze der Frequenz festgelegt werden. Bei der Festlegung des Verstellbereichs sollten daher keine unnötig hohen Forderungen gestellt werden.

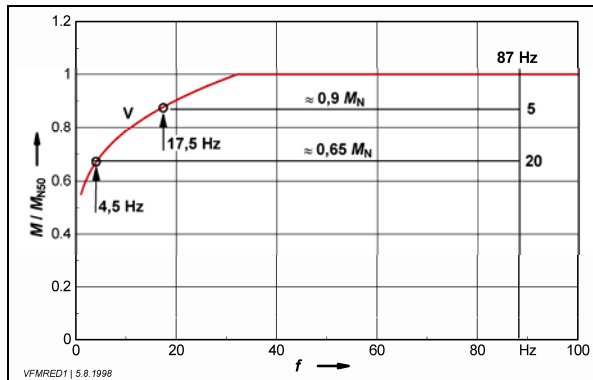


Bild 44.5
Erforderliche
Drehmomentreduzierung
bei Umrichter-Betrieb
 $f = 3 \dots 87$ Hz

- V - wegen verminderter Kühlwirkung des Eigenlüfters
- 5 - wegen der Forderung »konstantes Drehmoment« im Bereich 1 : 5
- 20 - wegen der Forderung »konstantes Drehmoment« im Bereich 1 : 20.

Eine ausführliche Darstellung der hier nur kurz angeschnittenen Fragen und viele andere Hinweise finden Sie in

- **Danfoss-Buch "Wissenswertes über Frequenzumrichter",**
- **Danfoss-Bauer-Publikation EP 2906 "Umrichter-gepeiste Drehstrommotoren".**

X SONDERMOTOREN

45 Reluktanzmotoren

Bei gewissen Anwendungen kann das im Abschnitt 8 beschriebene Drehzahlverhalten des Asynchronmotors mit einem Schlupf bis zu etwa 10 % nicht akzeptiert werden. Höchste Anforderungen an die **Drehzahlkonstanz** werden von Reluktanzmotoren erfüllt, die durch Abwandlung der Bauteile eines Asynchronmotors entstehen. Durch Aussparungen im Läuferblech in Form von ausgeprägten Polen (Bild 45.1) erhält man einen unterschiedlichen magnetischen Widerstand (Reluktanz) am Läuferumfang. Die Magnetlinien des Drehfeldes haben die Tendenz, in magnetisch leitendem Material zu verlaufen und entwickeln dadurch eine synchron umlaufende Mitnahmekraft, die durch das **Synchron-Kippmoment** M_{Ksy} begrenzt ist. Ist der Motor »außer Tritt gefallen«, so läuft er als Asynchronmotor mit relativ hohem Schlupf weiter, bis das **Intrittfallmoment** M_{sy} zur Überwindung des Lastmomentes ausreicht (Bild 45.2). Während das **Außertrittfallmoment** durch die Auslegung des Motors bestimmt ist, verändert sich das Intrittfallmoment mit den insgesamt anzutreibenden Schwungmassen, also dem Trägheitsfaktor FI . Falls FI über etwa 1,5 liegt, ist daher ein Hinweis an den Hersteller notwendig. Der Anlauf erfolgt mithilfe der restlichen Käfigwicklung, wobei Anzugsstrom und Anzugsmoment wesentlich höher sind als bei einem Asynchronmotor gleicher Bemessungsleistung. Das einfache Prinzip und die mit dem Asynchronmotor vergleichbare robuste Bauweise sichern dem Reluktanzmotor im Leistungsbereich bis etwa 10 kW einige Vorteile gegenüber Synchronmotoren mit Erregerwicklung. Die Bemessungsleistung als Reluktanzmotor erreicht maximal 50 % der Typeleistung eines Asynchronmotors. Polumschaltung für zwei Drehzahlungen ist nicht möglich. Für Frequenzsteuerung (Umrichterbetrieb) sind Reluktanzmotoren bei entsprechender Auslegung geeignet.

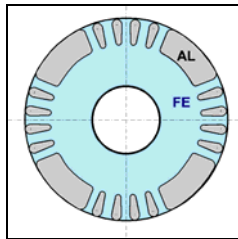


Bild 45.1
Läuferblech eines Reluktanzmotors mit ausgeprägten Polen für niedrigen magnetischen Widerstand (Reluktanz) im Eisen (FE) und mit hohem magnetischem Widerstand im Druckguss-Aluminium (AL)

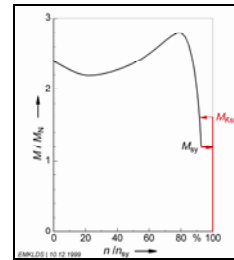


Bild 45.2
Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik eines Reluktanzmotors mit Synchron-Kippmoment M_{Ksy} und Intrittfallmoment M_{sy}

46 Kranfahrantriebe mit Schlupfläufer

Kran- und Katzfahrwerke verlangen wegen der pendelnd am Seil hängenden Last ein besonders **weiches Anfahr- und Bremsverhalten** der Antriebe (**Bild 46.1**). Eine ausführlichere Darstellung ist im Danfoss-Bauer-Buch "Anlaufen, Bremsen, Positionieren mit Drehstrom-Asynchronmotoren" zu finden.

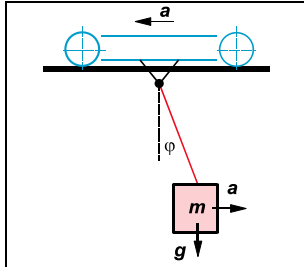


Bild 46.1
Pendeln einer am Seil hängenden Last

$$a \leq \tan \varphi \cdot g$$

- a - Beschleunigung in m/s^2
 φ - Winkel der Auslenkung (mit Erfahrungswert max. 3° wird $a \leq 0,5 \text{ m/s}^2$)
 g - Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Für solche Antriebe wurden früher **Schleifringläufermotoren** bevorzugt. Der Anlauf von Schleifringläufermotoren mit Läuferanlasser – in diesem Buch nicht näher behandelt – hat einige entscheidende Vorteile (**Bild 46.2**):

- Die Drehzahl kann in mehrere Stufen unterteilt werden. Eine kurze Verweilpause bei Teilgeschwindigkeit gibt der Last Zeit, sich an die Geschwindigkeit zu »gewöhnen« und z. B. Pendelungen zu beenden.
- Die dreieckförmigen Abschnitte mit stetig abnehmendem Drehmoment ergeben einen sanften Drehzahlübergang, der mit einer »Cosinus-Verschleifung« zu vergleichen ist.
- Die thermischen Verluste entstehen hauptsächlich im Anlasswiderstand, also außerhalb der Maschine, wo sie leicht abführbar sind.

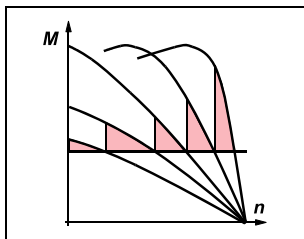
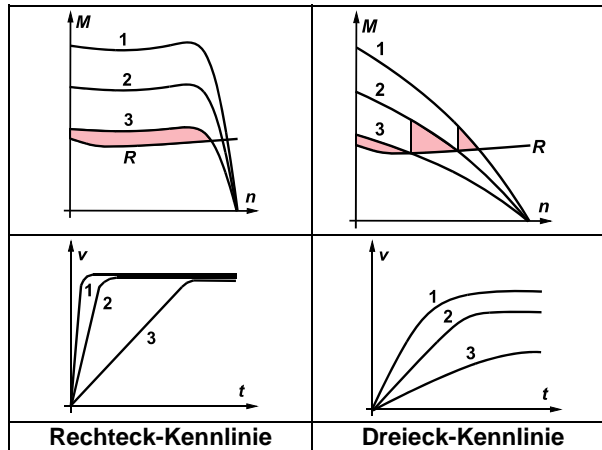


Bild 46.2
Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie eines Schleifringläufermotors beim Anlauf in fünf Drehzahlstufen

Asynchronmotoren mit **Sonder-Käfigläufer** verbinden einen Teil dieser Vorteile mit dem einfachen Prinzip des Kurzschlussläufers. Die Prinzipdarstellung in **Bild 46.3** soll dies deutlich machen.

Bild 46.3
Vergleich von Rechteck- mit Dreieck-Kennlinie bei Abstufung (1, 2, 3) bis knapp über das Reibungsmoment R in der Auswirkung auf das v/t -Diagramm



Das Oszillogramm **Bild 46.4** zeigt den weichen Übergang in die Endgeschwindigkeit. Die »**Dreieck-Charakteristik**« wird mit einer Sondernut und/oder mit Widerstandsmaterial im Pressgussläufer erreicht. Viele **Dreh-** und **Fahrwerke** von kleinen und mittleren Krananlagen sind mit diesen äußerlich nicht von normalen Kurzschlussläufermotoren zu unterscheidenden Sonderantrieben (Danfoss-Bauer-Bezeichnung: DL) ausgerüstet. Da ein Eingriff in den Läuferkreis nicht möglich ist, werden die in Bild 46.3 gezeigten Stufen 1, 2 und 3 durch »verstärkten Y- Δ -Anlauf« erreicht.

Bild 46.4
Vergleich von Strom I , Drehzahl n und Geschwindigkeit v über Hochlaufzeit t eines üblichen Antriebs (D) mit einem speziellen Kranfahrantrieb (DL)

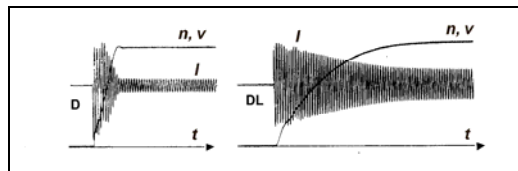


Bild 46.5
Sonder-Kurzschlussläufermotoren der Bauart DL am Fahrwerk eines Portalkrans



47 Rollgangantriebe

Die Antriebe von Rollgängen in Walzwerken sind nach besonderen Gesichtspunkten auszuwählen, die von denen bei der Projektierung eines anderen Antriebs erheblich abweichen. Während die meisten Antriebe nach der geforderten Dauerleistung zu bemessen sind, wechseln beim Rollgangsmotor Gegenfeld-Bremsungen, Anläufe und Leerlaufperioden in rascher Folge. Die eigentliche Transportleistung ist relativ gering. Neben diesen besonderen Anforderungen sind es vor allem die oft schwierigen mechanischen Beanspruchungen und die teilweise recht erheblichen Temperatureinflüsse, die eine sorgfältige Projektierung von Rollgangantrieben notwendig machen. Gesamtdarstellung im Danfoss-Bauer-Sonderdruck SD 8.. "Auswahl von Rollgangantrieben"

47.1 Anwendungsbeispiele

Rollgänge dienen zum Transport von kaltem oder heißem Material in Form von Blöcken, Stangen, Rohren oder Platten in Walzwerken oder in der Metallverarbeitung.

- **Arbeitsrollgänge** beiderseits des Walzgerüsts sollen das meist rot glühende Material in möglichst rascher Stichfolge abbremsen und in Richtung zum Gerüst beschleunigen (**Bild 47.1.1**).
- **Zufuhrrollgänge** transportieren die Blöcke oder Brammen vom Ofen zum Arbeitsrollgang.
- **Abfuhrrollgänge** übernehmen das zu Knüppeln oder Stangen ausgewalzte Produkt und führen es der weiteren Bearbeitung (Schere, Richtpresse usw.) zu.
- **Kühlbettrollgänge** erlauben mit langsamer, oszillierender Bewegung eine gleichmäßige Abkühlung des Materials (**Bild 47.1.2**).

Je nach Anwendung ergeben sich unterschiedliche Gesichtspunkte für die Auswahl.



Bild 47.1.1
Aufsteck-Rollgangs-Getriebemotoren an
einem Arbeitsrollgang

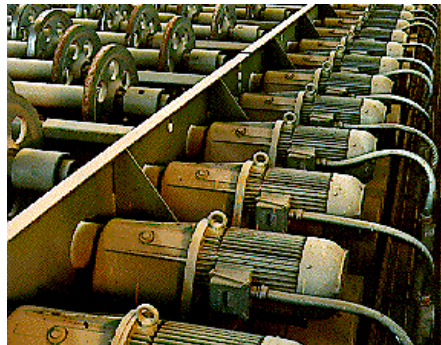


Bild 47.1.2
Pendelgang mit 6 Hz an einem Kühlbett
für Grobbleche

47.2 Kenndaten

Die Hauptaufgabe der Antriebe für Arbeitsrollgänge besteht im **Abbremsen und Beschleunigen** des Transportgutes. In der dazwischenliegenden Transportphase wird relativ wenig Leistung benötigt. Schon seit Einführung dieser Antriebsart, zumindest aber seit mehr als 50 Jahren ist es daher üblich, Rollgangantriebe nicht nach der Leistung, sondern nach dem **Anzugsmoment** zu bemessen und abzustufen. Leider hat sich diese vom antriebstechnischen Ansatz zu bevorzugende Betrachtung bei anderen, vergleichbaren Antriebsarten (z. B. Kranfahrantriebe) nicht durchgesetzt.

47.2.1 Anzugsmoment

Das Anzugsmoment eines Drehstrom-Asynchronmotors bezeichnet nach **Bild 47.2.1** einen wichtigen Punkt der Drehmoment-Kennlinie, gibt allerdings keinen vollständigen Aufschluss über das Hochlaufverhalten. Nimmt man in guter Näherung das mittlere Hochlaufmoment als maßgebend für die Hochlaufzeit, so besteht zwischen der »**Rechteck-Kennlinie**« und der »**Dreieck-Kennlinie**« ein theoretischer Unterschied von 1 : 2, praktisch etwa 1 : 1,5 in der Beschleunigungszeit. Dies kann bei kurzer Stichfolge einen wichtigen Zeitvorteil ausmachen.

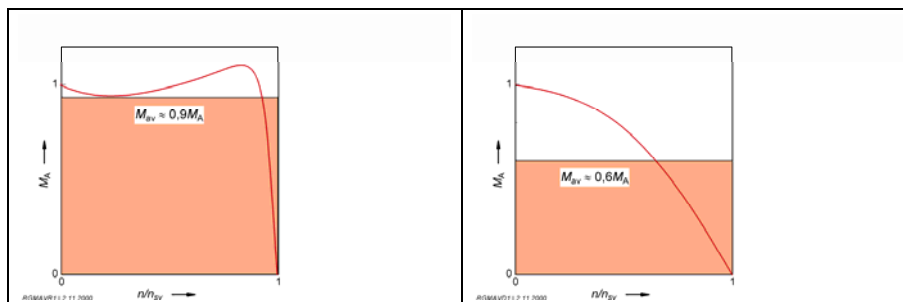


Bild 47.2.1.1
Mittleres Hochlaufmoment M_{av}
bei einem Rollgangmotor mit
»Rechteck-Kennlinie«

Bild 47.2.1.2
Mittleres Hochlaufmoment M_{av}
bei einem Rollgangmotor mit
»Dreieck-Kennlinie«

47.2.2 Synchrondrehzahl

Da Rollgangantriebe keine Nennleistung = Bemessungsleistung haben, kann auch die sonst bei Asynchronmotoren übliche Lastdrehzahl nicht angegeben werden. Statt dessen wird auf dem Leistungsschild die Synchrondrehzahl genannt. Die tatsächliche Drehzahl liegt bei der Schwachlastperiode zwischen Beschleunigen und Bremsen nur wenig unter der Synchrondrehzahl.

47.2.3 Beschleunigungsziffer (B-Wert)

Als Maßzahl für das thermische Arbeitsvermögen von Rollgangsmotoren hat sich die nicht genormte »Beschleunigungsziffer« eingeführt (B-Wert oder B-value). Sie beschreibt in einfacher Weise, wie oft und gegen welche Massenträgheitsmomente pro Stunde innerhalb der thermischen Grenzen der Motorwicklung beschleunigt werden darf.

47.2.3.1 Definition der Beschleunigungsziffer

Man erhält die Beschleunigungsziffer als Maßzahl für die stündlich aufzubringende Beschleunigungsarbeit:

$$B = \Sigma J_1 \cdot Z$$

B	-	Beschleunigungsziffer (B-Wert) in kgm^2/h
ΣJ_1	-	Gesamt-Massenträgheitsmoment ($m \cdot r^2$) in kgm^2 bezogen auf die Läuferdrehzahl n_1 , also

$$\Sigma J_1 = \frac{J_{\text{ext}}}{i^2} + J_{\text{rot}}$$

J_{ext}	-	Externes Massenträgheitsmoment in kgm^2
J_{rot}	-	Rotor-Massenträgheitsmoment in kgm^2
i	-	Getriebe-Untersetzung
Z	-	Zahl der Einschaltungen pro Stunde in c/h.

Die physikalisch nicht übliche Einheit kgm^2/h wird verständlich, wenn das Massenträgheitsmoment als rechnerischer Stellvertreter der Beschleunigungs- oder Verzögerungszeit betrachtet wird:

$$t_a = \frac{\Sigma J \cdot n}{9,55 \cdot M_a}$$

n	-	Drehzahl in r/min
M_a	-	Beschleunigungsmoment in Nm.

Mit $t_a \sim \Sigma J$ wird $B \sim t_a \cdot Z$:

Der B-Wert repräsentiert also die Zeit pro Stunde, die der Antrieb beim Beschleunigen und Verzögern unter hohem Strom steht.

Bei Verwendung des häufig benutzten und genormten Trägheitsfaktors

$$FI = \frac{J_{\text{ext}} + J_{\text{rot}}}{J_{\text{rot}}} = \frac{\frac{J_{\text{ext}}}{i^2} + J_{\text{rot}}}{J_{\text{rot}}}$$

ergibt sich für die Beschleunigungsziffer

$$B = FI \cdot J_{\text{rot}} \cdot Z$$

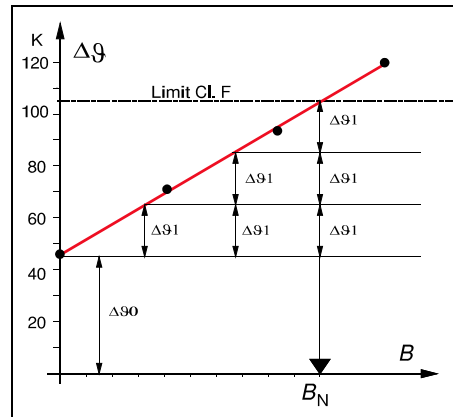
Bei der Berechnung des Gesamt-Massenträgheitsmoments ΣJ_1 sind eventuell mitzubeschleunigende Losrollen und der zugehörige Blockanteil zusätzlich einzusetzen.

47.2.3.2 Ermittlung der Beschleunigungsziffer

Die in den Listen aufgeführten Nenn-Beschleunigungsziffern B_N sind meist im Versuch ermittelt worden (**Bild 47.2.3.2**). Dazu werden die Motoren zunächst im Leerlauf und anschließend mit verschiedener Reversierhäufigkeit jeweils bis zum Erreichen der Beharrungstemperatur betrieben.

Bild 47.2.3.2
Ermittlung der Nenn-Beschleunigungsziffer B_N unter Beachtung der Grenzüber-
temperatur (Limit) für die Wärme-
klasse F

• - Messpunkte



Die Kupfer-Über-temperaturen $\Delta\vartheta$ werden über dem B-Wert aufgetragen. Sie liegen gemäß Bild 47.2.3.2 auf einer Geraden. Auf einem Grundwert für die Leerlauf- (Magnetisierungs)- Über-temperatur ϑ_0 (im Beispiel 45 K) baut sich eine Zusatz-Über-temperatur $\Delta\vartheta_1$ auf, die dem B-Wert direkt proportional ist. Beim Schnittpunkt dieser Geraden mit den Grenz-Über-temperaturen für Wärme-klasse F (Limit Cl. F) ergibt sich dann die Nenn-Beschleunigungsziffer B_N .

47.2.3.3 Ausnutzung der Beschleunigungsziffer

Innerhalb üblicher, praktischer Grenzen kann der Nenn-B-Wert eines Motors entweder durch hohe Schalthäufigkeit bei geringem Massenträgheitsmoment oder durch niedrige Schalthäufigkeit bei großem Massenträgheitsmoment ausgenutzt werden. Die Erwärmung ist bei beiden Belastungsfällen gleich. Die mechanische Stoßbelastung der Übertragungsmittel wächst jedoch mit dem Massenträgheitsmoment.

Bei voller Ausnutzung des Nenn-B-Wertes eines bestimmten Rollgangsmotors errechnet sich für eine gegebene Schalthäufigkeit Z das zulässige externe Massenträgheitsmoment für Kupplung, Rolle und Block:

$$J_{\text{ext}} = \left(\frac{B}{Z} - J_{\text{rot}} \right) \cdot i^2$$

Bild 47.2.3.3 zeigt, dass mit steigender Schalzhäufigkeit ein zunehmender Anteil des thermischen Arbeitsvermögens durch den Motorläufer verbraucht wird.

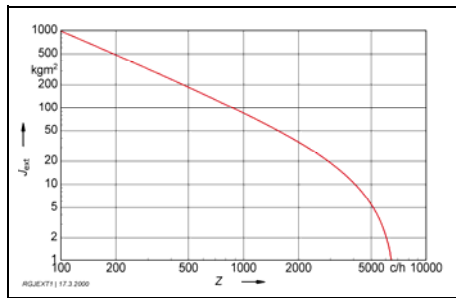


Bild 47.2.3.3
Zulässiges externes Massenträgheitsmoment J_{ext} bei verschiedener Schalzhäufigkeit Z , bezogen auf die Arbeitswelle eines 8poligen Rollgangs-Getriebemotors von 1250 Nm, 75 r/min mit einem B-Wert von 1000 kgm²/h

47.3 Drehmomentbedarf

Das erforderliche Drehmoment kann nach folgendem Verfahren ermittelt werden:

47.3.1 Mindestdrehmoment

Das vom Antrieb entwickelte Drehmoment soll für die meisten Transportaufgaben mindestens so groß sein, dass die Rolle unter dem aus irgendeinem Grund festgehaltenen, also blockierten, heißen Walzgut auch aus der Ruhe heraus durchdreht. Auf diese Weise wird die Gefahr einer örtlichen Überhitzung und Deformation der Rolle vermindert. Falls dieses Drehmoment betriebsmäßig häufig oder langfristig verlangt wird, ist der Antrieb thermisch entsprechend zu bemessen. Dies bedarf einer besonderen Vereinbarung. Die Situation ist in **Bild 47.3.1** schematisch gezeigt.

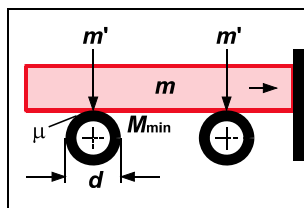


Bild 47.3.1
Prinzipdarstellung zur Ermittlung des Mindestdrehmoments

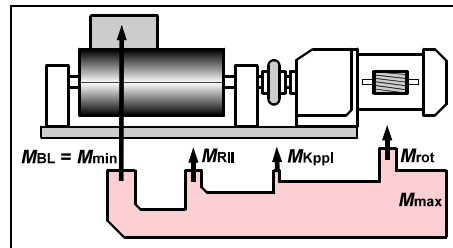
$$M_{\text{min}} = \mu \cdot m' \cdot g \cdot \frac{d}{2}$$

- M_{min} - Mindestdrehmoment in Nm
- μ - Reibungszahl
- m' - Masse (Gewicht) pro Rolle in kg
- g - Fallbeschleunigung (9,81 m/s²)
- d - Rollendurchmesser in m

47.3.2 Maximaldrehmoment

Das vom Antrieb entwickelte Drehmoment verteilt sich beim Beschleunigen entsprechend den Massenanteilen auf Motorläufer, Kupplung, Rolle und Walzgut.

Bild 47.3.2.1
Aufteilung des vom Motor entwickelten Drehmoments M_{\max} auf Rotor, Kupplung, Rolle und Block



Die von der Rolle auf das Walzgut übertragbare Beschleunigung ist bei Reibschluss auf einen Maximalwert begrenzt, da für die am Walzgut angreifende Kraft gilt

$$F_{\max} = \mu \cdot m \cdot g$$

Da andererseits

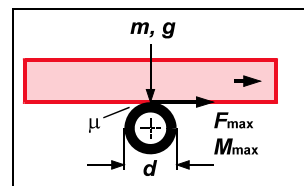
$$F_{\max} = a_{\max} \cdot m$$

folgt für die **maximal übertragbare Beschleunigung (Verzögerung)**:

$$a_{\max} = \mu \cdot g$$

Wird dieser Grenzwert überschritten, so werden Rolle und Läufer schneller beschleunigt als das Walzgut: Da der Reibungskoeffizient der Bewegung vor allem bei teigig heißem Walzgut mit zunehmender Relativgeschwindigkeit zwischen Rolle und Walzgut stark abnimmt, wird die Beschleunigung (oder Bremsung) des Walzgutes in unerwünschtem Maße vermindert.

Bild 47.3.2.2
Prinzipdarstellung zur Ermittlung des Höchst-Drehmoments



Für das maximal über Reibschluss von der Rolle zum Transportgut übertragbare Moment ergibt sich:

$$M_{\max} = \frac{2 \cdot g \cdot \mu \cdot J}{d} \approx \frac{20 \cdot \mu \cdot J}{d}$$

- M_{\max} - Höchst-Drehmoment in Nm
- μ - Reibungszahl
- J - Massenträgheitsmoment aller bewegten Teile in kgm^2
- g - Fallbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- d - Rollendurchmesser in m

Für das tatsächlich auszuwählende Drehmoment M gilt:

$$M_{\min} \leq M \leq M_{\max}$$

mit der Tendenz $M \Rightarrow M_{\min}$ wenn die Hochlaufzeit keine Rolle spielt (geringe Schalthäufigkeit)

mit der Tendenz $M \Rightarrow M_{\max}$ wenn eine kurze Hochlaufzeit wichtig ist (hohe Schalthäufigkeit).

47.4 Antrieb über Aufsteck-Rollgangs-Getriebemotor

Diese Lösung wurde bei zahlreichen Projekten mit Erfolg eingesetzt. Im **Bild 47.4.1** ist der Platzbedarf verschiedener Antriebsarten verglichen.

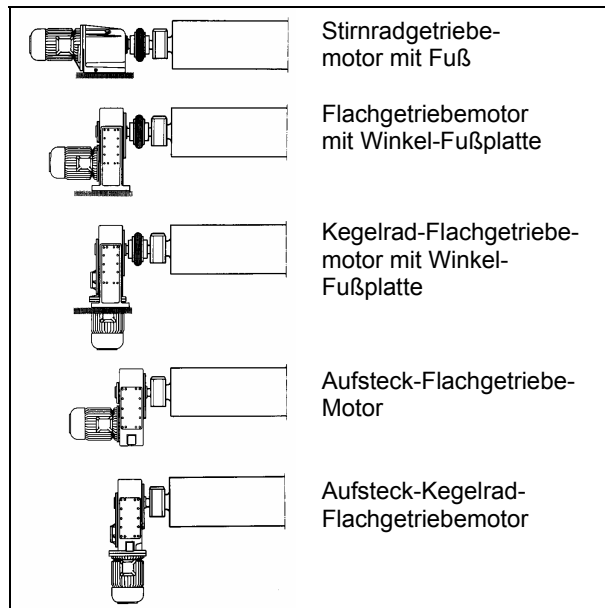


Bild 47.4.1
Vergleich des Platzbedarfs bei Verwendung von verschiedenen Getriebebauarten

Bild 47.4.2 zeigt das Prinzip und **Bild 47.4.3** eine ausgeführte Anlage: Ein Aufsteckgetriebe wird mit einer Hohlwelle auf den Wellenzapfen der Rolle aufgesetzt. Fundament und Kupplung entfallen. Für die Aufnahme des Reaktionsmoments ist eine Drehmomentstütze konstruktiv vorgesehen, doch ergibt sich eine einfachere und kostengünstigere Lösung, wenn das Getriebegehäuse direkt mit einem vorgespannten Gummipuffer nach **Bild 47.4.4** abgestützt wird.

Bild 47.4.2
Prinzip des Einzelantriebes mit
Aufsteck-Rollgangs-Getriebemotor (AG) im
Vergleich zum
Antrieb über Kupplung (G)
Unterschied im Platzbedarf: Δl

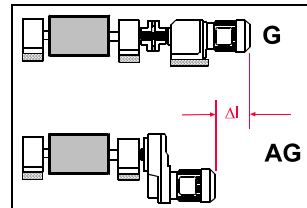


Bild 47.4.3
Aufsteck-Rollgangs-Getriebemotoren mit
Hohlwelle und einfacher Drehmoment-
Abstützung am Getriebegehäuse
bei ITALSIDER, Taranto/Italien

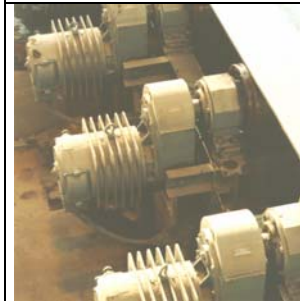
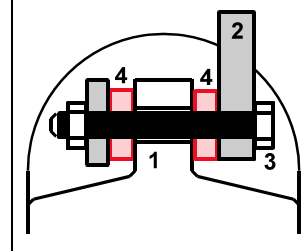


Bild 47.4.4
Prinzip der Drehmomentabstützung bei
Aufsteckgetrieben durch vorgespannte
Gummipuffer
1 - Abstützung am Aufsteckgetriebe
2 - Befestigungspunkt am Rollengerüst
3 - Bolzen
4 - vorgespannte Gummipuffer



Bei dieser Lösung sind folgende Gesichtspunkte von Bedeutung:

- Der Platzbedarf in Richtung Rollennachse ist klein. Bei Verwendung eines Kegelradgetriebes mit rechtwinkliger Anordnung von Motor- und Arbeitswelle wird in axialer Richtung sogar nur die Ausladung des Rollenzapfens beansprucht.
- Im Gegensatz zur »integralen Getrieberolle« lassen sich Rolle und Antriebseinheit trennen. Dadurch ist auch eine optimale Fertigung der robusten Rolle und des präzisen Getriebes möglich. Die Ersatzhaltung wird vereinfacht.
- Der Antrieb »schwimmt« auf der Rollennelle, macht also die bei schwerer Beanspruchung unvermeidbare Taumelbewegung ohne Zwangskräfte mit.
- Da die stoßdämpfende Wirkung der hochelastischen Kupplung entfällt, muss die Drehmoment-Abstützung mit Gummipuffern erfolgen.
- Das Abziehen des Aufsteckgetriebes nach längerer Betriebszeit kann wesentlich erleichtert werden, wenn schon im Projektstadium entsprechende Hilfsmittel an der Rollennelle eingeplant werden.

48 Drehfeldmagnete

Der Drehfeldmagnet hat vor allem in der Fördertechnik ein breites Anwendungsgebiet. Es handelt sich hier um einen Elektromotor besonderer Auslegung, der **zum Laufen gebaut**, jedoch **zum Stehen gezwungen ist**. Bei der Auslegung dieser Sonderantriebe sind einige wichtige Gesichtspunkte zu beachten, die nachfolgend am Beispiel von einigen typischen Anwendungsfällen erläutert werden.

48.1 Unterschied zwischen Drehfeldmagnet und Drehmagnet

Während der Drehmagnet nur einen begrenzten Winkelweg $< 360^\circ$ durchlaufen kann und dabei stets von einer bestimmten Ausgangslage in eine bestimmte Endlage kommen muss, kann der Drehfeldmagnet jeden beliebigen Winkelweg, also auch mehrere Umdrehungen, durchlaufen, ehe er an beliebiger Stelle auf festen Anschlag stößt (Bild 48.1.1). **Den Drehfeldmagneten könnte man auch mit einer Spiralfeder vergleichen, die einen unendlich langen Federweg zulässt und dabei eine konstante Federkraft entwickelt.** Diese Charakteristik kann eine mechanische Feder nicht aufweisen (Bild 48.1.2). In seinem konstruktiven Aufbau entspricht der Drehfeldmagnet dem normalen Drehstrom-Asynchronmotor. Durch eine besondere Auslegung der Wicklung mit einer relativ hohen Polzahl (meist 12 Pole für 500 r/min) und geringer magnetischer Flussdichte wird erreicht, dass sein Rotor beliebig oft zum Stillstand gebracht werden kann und dort unter voller Spannung stehen bleibt. Er entwickelt ein Drehmoment, mit dem er gegen die Last drückt.

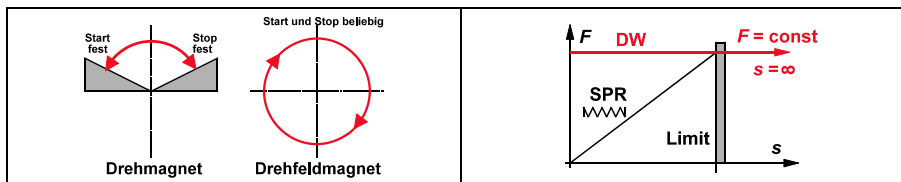


Bild 48.1.1
Prinzip des Drehmagneten und des Drehfeldmagneten

Bild 48.1.2
Vergleich der Federkennlinien
SPR - Feder, DW - Drehfeldmagnet

Weicht die Last aus, so folgt der Antrieb. Da ein Eigenlüfter wirkungslos wäre, weil er nicht rotiert, wird er meist weggelassen oder es wird ein dauernd durchlaufender Fremdlüfter eingesetzt. Bei der unbelüfteten Ausführung muss die verhältnismäßig hohe Verlustwärme durch Strahlung abgeführt werden. Die Folge ist eine relativ hohe Erwärmung des Ständergehäuses. Aber im Gegensatz zu einem belüfteten normalen Antriebsmotor ist die Wicklungstemperatur nur wenig höher als die Gehäusetemperatur. Beispielsweise kann bei der Verwendung von Isolierstoffen der Klasse F die Gehäusetemperatur mehr als 100°C betragen, ohne dass die Wicklung gefährdet ist.

48.2 Auswahl nach Anzugsmoment und Drehzahl

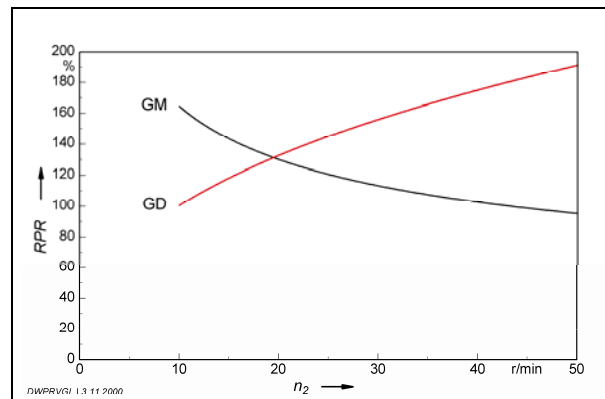
Da ein Drehfeldmagnet meist im Stillstand – also bei Drehzahl $n = 0$ – ein Drehmoment abgibt, ist auch seine Leistungsabgabe $P = 0$. **Aus diesem Grunde werden Getriebe-Drehfeldmagnete nicht nach Leistungen (in kW), sondern nach Anzugsmomenten M_A (in Nm) gestuft.** Als Drehmomentabstufung bietet sich die Normzahlreihe R 10 an, die einen Stufensprung von 25 % aufweist; z. B.

12,5 16 20 25 32 40 50 63 80 100
125 160 200 250 320 400 500 630 800 1000 Nm

Das erforderliche Anzugsmoment ergibt sich aus der benötigten Druck- oder Zugkraft (in N) sowie dem Hebelarm. Die Drehzahl ergibt sich aus der Zeit, die für einen zurückzulegenden Winkel oder Streckenabschnitt zur Verfügung steht. Falls diese Zeit nicht durch Taktbetrieb vorgegeben ist, sollte sie möglichst hoch gewählt werden. Es errechnet sich dann eine niedrige Drehzahl an der Antriebsstation. Im Gegensatz zu den nach Leistung gestuften normalen Getriebemotoren sind die nach Drehmoment gestuften Getriebe-Drehfeldmagnete **umso preisgünstiger, je niedriger ihre Drehzahl gewählt wird (Bild 48.2).**

Bild 48.2

Beispiel für den relativen Preis PRP von Getriebemotoren (GM) und Getriebe-Drehfeldmagneten (GD) in Abhängigkeit von der Drehzahl (n_2)



48.3 Ziehen oder Straffen mit variabler Kraft

Bei der Herstellung von Drahtgeweben müssen die »Kettfäden« unter Zug gehalten werden, der je nach Drahtdicke und Muster einstellbar sein muss. Variable Hängegewichte m nach **Bild 48.3** waren eine einfache Lösung, die jedoch bei jeder Umstellung einen großen Arbeitsaufwand erforderte und die nicht automatisiert werden konnte.

Mit Drehfeldmagneten als »Straffer« lässt sich über die angelegte Speisepannung das Anzugsmoment M_A und damit die Zugkraft F feinfühlig einstellen und konstant halten.

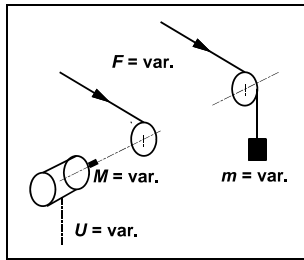


Bild 48.3
Drehfeldmagnete zum Straffen der Kettfäden bei der Herstellung von Drahtgeweben

- F - Zugkraft im Kettfaden
- M - Anzugsmoment des Drehfeldmagneten
- U - Speisespannung des Drehfeldmagneten
- m - Hängegewicht (durch Drehfeldmagnet abgelöst)

48.4 Drücker für Weichen oder Klappen

Bei gewissen Anwendungsgebieten wird verlangt, dass Betätigungsglieder wie Weichen, Klappen, Schieber oder Hebel in der Endlage unter Druck an die Begrenzung anschlagen. Wenn der Antrieb in der Endlage abgeschaltet wird, kann das Stellglied bei zu knapper Einstellung des Endlagenschalters – wegen des Motornachlaufs – zu hart auf die Begrenzung auftreffen. Weicht aber der Anschlag durch Deformation aus, so besteht die Gefahr, dass kein Formschluss zustande kommt und die Funktion der Anlage infrage gestellt wird. Der Drehfeldmagnet bietet hier eine funktionssichere Lösung. Wenn das Stellorgan (z. B. die Weichenzunge) in der Endlage schlagartig auf die Begrenzung auftrifft, so ergeben sich aus der Massenwirkung des Läufers unkontrollierbar hohe Stoßkräfte, die weit über den aus dem Anzugsmoment resultierenden Kräften liegen. Mit der gespeicherten »Schwungradenergie« kann beim Auftreffen am Anschlag Verformungsarbeit geleistet werden. Diese Kräfte treten auch auf, wenn der Antrieb kurz vor Erreichen der Endlage abgeschaltet wird, da die Schwungradenergie des Läufers erhalten bleibt. Zur Schonung der Betätigungsglieder, Übertragungsmittel und Getriebebauteile ist es daher notwendig, den Schließvorgang nicht schlagartig, sondern gedämpft und stetig einzuleiten. Wenn vor der Endlage ein elastisches Glied (**Bild 48.4.1**), z. B. eine Feder, eine hochflexible Kupplung oder ein Schwingmetall, deformiert werden muss, so wird dem Antrieb ein Drehmoment abverlangt.

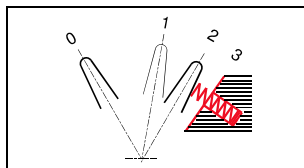


Bild 48.4.1
Dämpfung einer Weichenzunge in der Endlage

Ein Getriebe-Drehfeldmagnet mit normaler, harter Kennlinie (**Bild 48.4.2**) wird das verlangte Moment abgeben, ohne auf dem Weg von Position 2 nach 3 in der Drehzahl nennenswert nachzugeben: Er wird also mit fast voller Rotationsenergie auf den Endanschlag auftreffen.

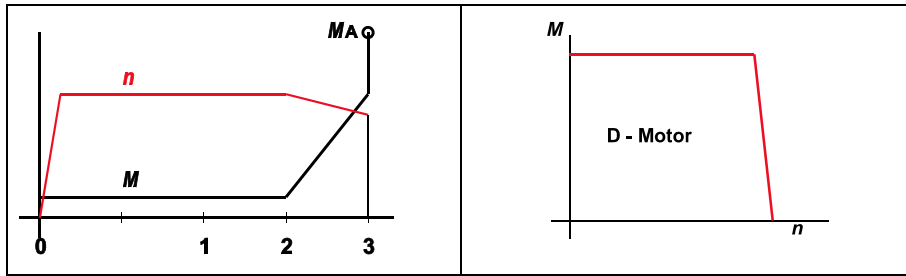


Bild 48.4.2 Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie bei einem Drehfeldmagneten mit normaler, harter Kennlinie (Rechteck-Kennlinie)

Durch Verwendung eines Sonderläufers erhält der Antrieb eine ausgeprägte Schlupfcharakteristik und lässt daher auf dem Weg von Position 2 nach 3 (Bild 48.4.3) stark in der Drehzahl nach.

Bei einem Drehzahlabfall auf etwa 50 % der Synchrondrehzahl würden die Kräfte in der Blockierphase nur etwa 25 % im Vergleich zu den errechneten Werten betragen.

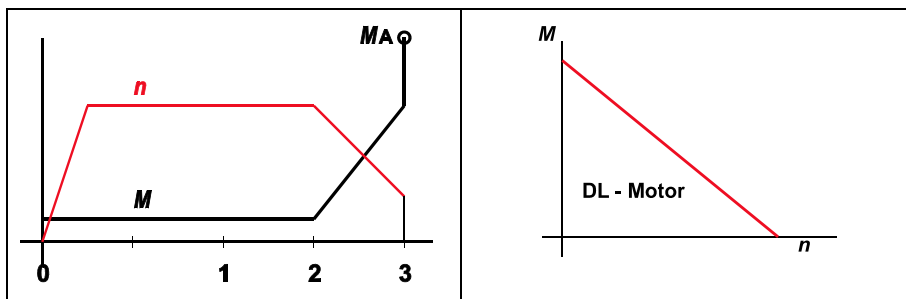


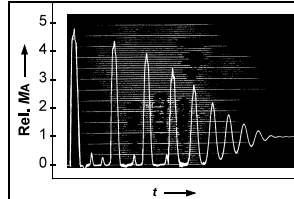
Bild 48.4.3 Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie bei einem Drehfeldmagneten mit spezieller Schlupf-Charakteristik (Dreieck-Kennlinie)

Wenn im Stellbereich kein nennenswertes Lastmoment auftritt, sollten Getriebe-Drehfeldmagnete für Drücker, Weichen u. Ä. möglichst mit einer Sonderkennlinie (**Dreiecks-Kennlinie**), wie in Bild 48.4.3 gezeigt, ausgeführt und **vor Erreichen der Endlage stetig abgebremst werden**.

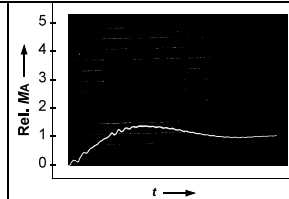
Bei Verwendung einer Feder (Bild 48.4.1) wird allerdings die nutzbare Anpresskraft vermindert. Es ist daher empfehlenswert, z. B. eine hochflexible, spielfreie Kupplung zu verwenden oder das Stellglied so auszubilden, dass es eine gewisse Materialdeformation zulässt.



Bild 48.4.4
Getriebe-Drehfeldmagnet
als Drückerantrieb an
einer Weiche



Rechteck-Kennlinie und
harter Anschlag
nach Bild 48.4.2



Dreieck-Kennlinie und
weicher Anschlag
nach Bild 48.4.3

Bild 48.4.5

Oszillogramm des Drehmoments in Relation zum Anzugsmoment M_A eines Drehfeldmagneten beim Auftreffen einer Weichenzunge am Anschlag

Beim automatischen oder halbautomatischen Schließen von Türen – z. B. an Personenaufzügen – ergeben sich zwei wichtige Forderungen, die mit Drehfeldmagneten elegant zu erfüllen sind (**Bild 48.4.6**):

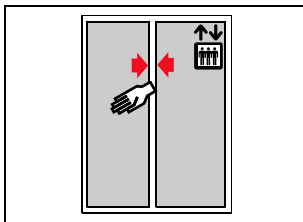


Bild 48.4.6

Schließen von Aufzugstüren mit Drehfeldmagneten

Unfallgefahr vermeiden durch sicheres Schließen,
Begrenzung der Schließkraft.

48.5 Übergabe- oder Transferantrieb

Bei bestimmten Fördereinrichtungen (z. B. Ketten-Kreisförderern) wird der Hauptstrang mit verschiedenen, verstellbaren Drehzahlen angetrieben, um so die Fördergeschwindigkeit optimal an den Arbeitsablauf anzupassen. Häufig werden aus diesem Hauptstrang aus produktionstechnischen Gründen Einzelstücke des Fördergutes (z. B. Gehänge) entnommen. Zu diesem Zweck wird ein kurzer Hilfsförderer – der »Transfer« – mit dem Hauptförderer (**Bild 48.5.1**) mechanisch verklintet und übernimmt die ausgesonderten Gehänge auf den Nebenstrang.

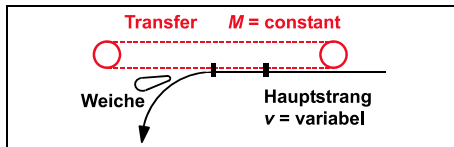


Bild 48.5.1

Schema eines Transferantriebes in
einem Ketten-Kreisförderer

Für eine stoßfreie und glatte Übergabe muss der Nebenstrang mit dem Hauptstrang absolut synchron laufen, wobei der Transfertrieb gerade das für sein Teilstück erforderliche Drehmoment entwickeln soll. Der Transfertrieb soll also weder versuchen, den Hauptstrang allein zu ziehen, noch soll er diesen zusätzlich belasten. Versucht man diese Aufgabe mit einem stufenlos verstellbaren Antrieb zu lösen, so ist eine recht komplizierte und aufwändige Regeltechnik erforderlich. Diese Antriebsaufgabe lässt sich mit Drehfeldmagneten ohne jede Regeltechnik auf einfache Weise lösen, indem folgendes Prinzip angewandt wird:

Im Arbeitsbereich eines normalen Drehstrom-Asynchronmotors wird – ausgehend vom Leerlauf – stets das Drehmoment unabhängig (z. B. durch schwankende Last) verändert und die Drehzahl muss sich (**Bild 48.5.2**) zwangsläufig einstellen.

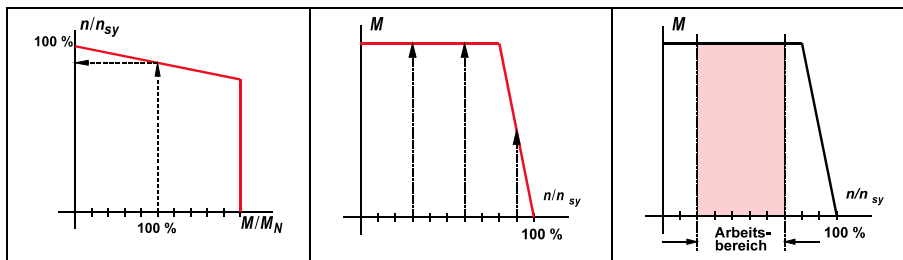


Bild 48.5.2
Drehmoment-Drehzahl-
Charakteristik eines Drehstrom-
Asynchronmotors

Bild 48.5.3
Drehzahl-Drehmoment-
Charakteristik eines Drehstrom-
Asynchronmotors

Bild 48.5.4
Arbeitsweise eines
Drehfeldmagneten als
Übergabe- oder Transfertrieb

Das Bemessungs-Drehmoment dieses Antriebs ist lediglich eine für das Leistungsschild festgelegte Größe mit Rücksicht auf die thermische Grenze: Tatsächlich aber wird der Antrieb jedes verlangte Drehmoment abgeben, sofern es unterhalb des Kippmoments liegt. Verlegt man den Arbeitsbereich jedoch in den Bereich zwischen Anzugsmoment und Kippmoment, so kann man mit einer unabhängig veränderlichen Drehzahl arbeiten (also eine Drehzahl »aufdrücken«) und das Drehmoment muss sich entsprechend der Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik (**Bild 48.5.3**) zwangsläufig einstellen. Das Drehmoment eines Drehfeldmagneten verläuft zwischen Anzugsmoment und Kippmoment etwa konstant; legt man den Arbeitsbereich also in diesen Bereich (**Bild 48.5.4**), so ergibt sich bei allen Geschwindigkeiten ein nahezu konstantes Drehmoment.

Der Getriebe-Drehfeldmagnet eignet sich also in idealer Weise als Übergabe- oder Transfertrieb.

Zur Verbesserung der Wärmeabfuhr werden diese Antriebe – im Gegensatz zu den Drückern für Weichen oder Klappen – zweckmäßig mit Eigenlüfter ausgeführt. In thermischer Hinsicht ist die Arbeitsweise mit aufgezwungener Teildrehzahl weniger kritisch als bei Stillstand an voller Spannung mit festgebremstem Läufer.

48.6 Aufroller für Kabel

Bei leitungsgebundenen Schienenfahrzeugen – z. B. fahrbaren Dreh- oder Portal- kranen – erfolgt die Stromzufuhr oft über ein Kunststoffkabel, das zur Vermeidung von Beschädigungen stets straff gehalten sein soll. Ist die Fahrstrecke sehr kurz, so kann das Kabel auf einer am Fahrzeug befestigten Trommel aufgewickelt werden, die durch eine Spiralfeder gedreht wird. Für eine längere Fahrstrecke reicht der Federweg allerdings nicht aus: Hier ist ein Antrieb mit »unendlich langem Federweg« – der Getriebe-Drehfeldmagnet – erforderlich.

Bewegt sich der in **Bild 48.6** dargestellte Kran in Richtung auf den Festpunkt des Kabels, so kann der Getriebe-Drehfeldmagnet als Motor arbeiten. Die Drehzahl wird durch die Fahrgeschwindigkeit des Krans bestimmt. Legt man den Arbeitsbereich so, dass die Kabeltrommel bei maximaler Fahrgeschwindigkeit gerade mit etwa 80 % der synchronen Drehzahl aufrollen kann, so arbeitet der Kabelaufroller mit einem begrenzten und konstanten Drehmoment. Da sich der Wickeldurchmesser nicht wesentlich ändert, ist auch die Zugkraft im Kabel nahezu konstant. Dies ist zur Schonung des Kabels sehr wichtig.

Stoppt der Kran, so bleibt der Kabelaufroller eingeschaltet und hält das Kabel unter Zug, verhindert also ein ungewünschtes Abrollen oder »Schlappkabel«.

Wenn der Befestigungspunkt für das Kabel überfahren wird, so kehrt sich die Drehrichtung der Kabeltrommel um: Das Kabel wird abgerollt. Der Getriebe-Drehfeldmagnet geht dabei in den Gegenstrombereich" über und arbeitet als Bremse. Da sich die Drehmoment-Kennlinie in diesem Bereich nahezu horizontal fortsetzt, ist die Bremskraft etwa gleich der Zugkraft und sorgt wiederum für einen störungsfreien Ablauf.

Die thermische Belastung für den Getriebe-Drehfeldmagneten ist bei Lauf gegen das Drehfeld wesentlich höher als im Stillstand an voller Spannung: Wenn der Anteil der Arbeitszeit als Bremse relativ hoch ist, so ist dies bei der Typenwahl zu berücksichtigen.

Bei manchen Anwendungsfällen kann der Kabelaufroller auch zusammen mit dem Fahrtrieb des Krans ein- und ausgeschaltet werden. Im Stillstand muss dann eine mechanische Bremse den Rücklauf der Trommel verhindern. Der Mehraufwand für die Bremse kann je nach Lage des einzelnen Falles durch die Verkleinerung des Getriebe-Drehfeldmagneten kompensiert werden, der ja dann nur für Kurzzeit- oder Aussetzbetrieb zu bemessen ist.

Bild 48.6 macht die relativ einfache Schaltungstechnik deutlich: Trotz wechselnder Drehrichtung der Aufrolltrommel und trotz variabler Kranfahrgeschwindigkeit bleibt der Aufroller immer in der gleichen Drehrichtung und ohne Spannungs- oder Drehzahlverstellung eingeschaltet.

Bei etwa gleichem Aufrolldurchmesser (der bei flachen, ein- bis zweilagigen Trommeln gegeben ist) ergibt sich zwangsläufig und ohne jede Regeleinrichtung eine nahezu konstante Zugkraft im Kabel.

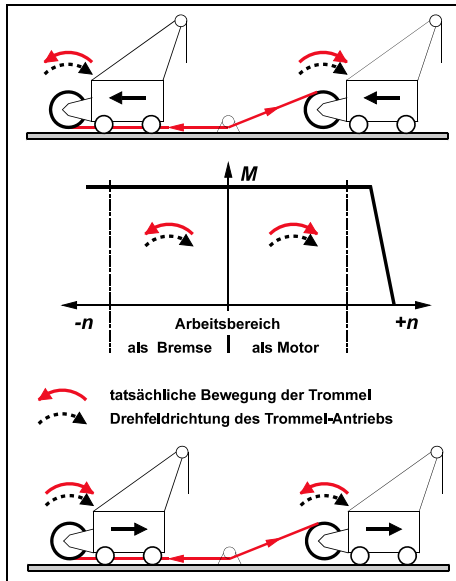


Bild 48.6
 Schema für die Arbeitsweise eines
 Drehfeldmagneten als Kabelaufroller

48.7 Übergabe mit Kraftschluss

Eine besondere Situation ergibt sich beispielsweise für den Übergabe-Rollgang zwischen einer Sandstrahl-Anlage, die wegen der unterschiedlichen Stahlbauteile mit variabler Geschwindigkeit laufen muss, und dem Abfuhr-Rollgang, der zur Verminderung des Aufwandes nur mit konstanter (nämlich höchster) Geschwindigkeit arbeiten soll.

Der Übergabe-Rollgang muss nun also das Transportgut am Ende des Haupt-Rollgangs mit der jeweiligen variablen Geschwindigkeit übernehmen und darf erst dann auf die maximale Geschwindigkeit des Abfuhr-Rollgangs beschleunigen, wenn das Transportgut den Haupt-Rollgang verlassen hat.

Auch hier wäre für eine Lösung mit verstellbaren Antrieben für den Übergabe-Rollgang ein erheblicher Aufwand für die Regelung notwendig. Entsprechend bemessene oder über die Spannung im Drehmoment angepasste Drehfeldmagnete lassen sich über den Kraftschluss zwischen Rolle und Transportgut zunächst die variable Drehzahl »aufdrücken«. Sie sollen nicht durchdrehen, damit am Transportgut keine Riefen entstehen. Erst wenn der Haupt-Rollgang die Drehzahl nicht mehr »führt«, beschleunigt der Übergabe-Rollgang.

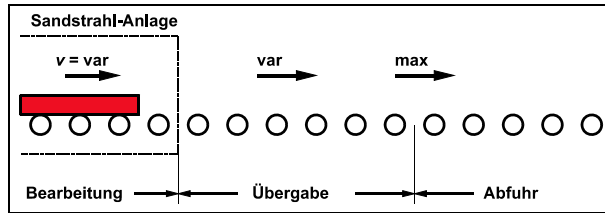


Bild 48.7
 Schema eines Übergabe-
 Rollgangs zwischen
 Bearbeitung und Abfuhr

Der Getriebe-Drehfeldmagnet eignet sich also in idealer Weise als Übergabe- oder Transferantrieb.

Zur Verbesserung der Wärmeabfuhr werden diese Antriebe – im Gegensatz zu den Drückern für Weichen oder Klappen – zweckmäßig mit Eigenlüfter ausgeführt. In thermischer Hinsicht ist die Arbeitsweise mit aufgezwungener Teildrehzahl weniger kritisch als bei Stillstand an voller Spannung mit festgebremstem Läufer.

48.8 Zusammenfassung

Der Drehfeldmagnet ist eine relativ geringe Abwandlung des Drehstrom-Kurzschlussläufermotors; mit ihm lassen sich spezielle Aufgaben der Fördertechnik auf einfache Art lösen. Er kann in vielen Fällen komplizierte Regelsysteme ersetzen und ist dabei leicht zu bedienen und betriebs sicher.

XI ANHANG**49 Formeln und Einheiten in der Antriebstechnik**

Auf Beschluss der 11. »Generalkonferenz für Maß und Gewicht« 1960 wurde mit der ISO-Empfehlung R 1000 vom Februar 1969 ein international gültiges Einheitensystem SI (**S**ystème **I**nternational d'**U**nités) eingeführt. DIN 1301 (aktuelle Ausgabe 1993) wurde auf dieser Basis überarbeitet, und das am 5. Juli 1970 in Kraft getretene »Gesetz über Einheiten im Messwesen« (kurz »Einheitengesetz«) und seine Ausführungsverordnungen regeln die Einführung der neuen Einheiten im geschäftlichen und amtlichen Verkehr. Das SI ist »kohärent«, das heißt, alle seine Einheiten sind durch Gleichungen verknüpft, in denen kein von 1 abweichender Zahlenfaktor vorkommt. Es ist außerdem »absolut«, d. h. unabhängig von den Verhältnissen auf unserer Erde (z. B. der Fallbeschleunigung). Es unterscheidet streng zwischen Gewichten im Sinne von Massen mit der Einheit kg, die z. B. durch vergleichende Wägung ermittelt werden, und den von diesen Gewichten infolge der Fallbeschleunigung ausgehenden Kräften (Gewichtskraft) mit der Einheit N (Newton). 1 N ist die Kraft, die einem Gewicht (Masse) von 1 kg die Beschleunigung von 1 m/s² erteilt.

Neben den Ländern, die seit jeher das metrische System verwendet haben, benutzen auch alle Länder, die vom Zollsystem zum metrischen System umgestellt haben, das SI als Grundlage ihrer nationalen Normen.

49.1 SI-Basiseinheiten

Größe	Einheit Zeichen	Name
Länge	m	Meter
Masse	kg	Kilogramm
Zeit	s	Sekunde
Elektrische Stromstärke	A	Ampere
Thermodynamische Temperatur	K	Kelvin
Lichtstärke	cd	Candela

49.2 Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Zehnerpotenz	Vorsatz	Vorsatzzeichen
10^{12}	Tera	T
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Kilo	k
10^2	Hekto	h
10	Deka	da
10^{-1}	Dezi	d
10^{-2}	Zenti	c
10^{-3}	Milli	m
10^{-6}	Mikro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Piko	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Atto	a

Das Vorsatzzeichen steht ohne Zwischenraum vor dem Einheitenzeichen.
 Es ist unzulässig, das Vorsatzzeichen allein zu benutzen,
 also $10^{-6} \text{ m} = 1\mu\text{m} = 1 \text{ Mikrometer}$ und nicht $1 \mu = 1 \text{ Mikron}$.

49.3 Formelzeichen und Einheiten

Sachgebiet	Zeichen	Bedeutung	Einheit	
			Zeichen	Name
Geometrie	A	Fläche	m ²	Quadratmeter
	a	Abstand	m	Meter
	α, β, γ	Winkel	rad	Radian
			°	Grad
	b	Breite	m	Meter
	d, δ	Dicke	m	Meter
	d	Durchmesser	m	Meter
	h	Höhe	m	Meter
	l	Länge	m	Meter
	r	Radius	m	Meter
	s	Weg	m	Meter
	V	Volumen	m ³	Kubikmeter
Zeit	a	Beschleunigung	m/s ²	
	α	Winkelbeschleunigung	rad/s ²	
	f	Frequenz	Hz	Hertz
	g	Fallbeschleunigung	m/s ²	
	n	Drehzahl	1/s	
			r/min	
	ω	Winkelgeschwindigkeit	rad/s	
	T	Zeitkonstante	s	Sekunde
	t	Zeit, Zeitspanne, Dauer	s	Sekunde
	v	Geschwindigkeit	m/s	
Mechanik	E	Elastizitätsmodul	Pa	Pascal
	F	Kraft	N	Newton
	G	Gewichtskraft	N	Newton
	J	Massenträgheitsmoment	kgm ²	
	M	Drehmoment	Nm	
	m	Masse	kg	Kilogramm
	P	Leistung	W	Watt
	p	Druck	Pa	Pascal
	ρ	Dichte	kg/m ³	
	σ	Zug-, Druck-, Biegespannung	Pa	Pascal
	W	Arbeit, Energie	J	Joule
	η	Wirkungsgrad	1	
	μ	Reibungszahl	1	

Sachgebiet	Zeichen	Bedeutung	Einheit	
			Zeichen	Name
Wärme	α	Temperatur-Koeffizient	1/K	
	T	thermodynamische (Kelvin-) Temperatur	K	Kelvin
	t, ϑ	Celsius-Temperatur	°C	Grad Celsius
	$\Delta T, \Delta \vartheta$	Temperaturdifferenz, Übertemperatur	K	Kelvin
Elektrizität	C	el. Kapazität	F	Farad
	G	el. Leitwert	S	Siemens
	I	el. Stromstärke	A	Ampere
	J, S, G	el. Stromdichte	A/m ²	
	P	Wirkleistung	W	Watt
	Q, P_q	Blindleistung	W, var	Var
	R	Wirkwiderstand	Ω	Ohm
	S, P_s	Scheinleistung	W, VA	Voltampere
	U	el. Spannung	V	Volt
	X	Blindwiderstand	Ω	Ohm
Z	Scheinwiderstand	Ω	Ohm	
Magnetismus	B	magn. Flussdichte, Induktion	T	Tesla
	Φ	magn. Fluss	Wb	Weber
	H	magn. Feldstärke	A/m	
	L	Induktivität	H	Henry

49.4 Wichtige Größengleichungen

Translation	Rotation
$v = \frac{s}{t}$	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$
	$v = \omega \cdot r = 2\pi \cdot n \cdot r$
$s = v \cdot t$	$\varphi = \omega \cdot t = 2\pi \cdot n \cdot t$
$a = \frac{v}{t_a}$	$\alpha = \frac{\omega}{t_a}$
	$M = F \cdot r$
$P = F \cdot v$	$P = M \cdot \omega$
$F = m \cdot a$	$M = J \cdot \alpha$
$W = F \cdot s$	$W = M \cdot \varphi$
$W = \frac{m \cdot v^2}{2}$	$W = \frac{J \cdot \omega^2}{2}$
$W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$	$J = m \cdot r^2$

49.5 Wichtige Definitionen

Wirkungsgrad	$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{auf}}} = \frac{P_{\text{auf}} - V}{P_{\text{auf}}} = 1 - \frac{V}{P_{\text{auf}}}$	P_{auf} - Aufnahmeleistung P_{ab} - Abgabeleistung V - Verluste
Übersetzung	$i = \frac{n_1}{n_2}$	n_1 - Eingangsrehzahl n_2 - Ausgangsrehzahl

49.6 Wichtige Zahlenwertgleichungen

Bei Zahlenwertgleichungen oder zugeschnittenen Größengleichungen sind die jeweils vorgegebenen Einheiten zu beachten.
Gewichte sind im SI stets im Sinne einer Masse in kg anzugeben.

49.6.1 Leistung

Hubbewegung

$$P = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta \cdot 1000}$$

P - Leistung in kW

Translation

$$P = \frac{F_R \cdot v}{1000}$$

F_R -

Reibwiderstand in N

m -

Masse (Gewicht) in kg

g -

Fallbeschleunigung (9,81 m/s²)

$$F_R = \mu \cdot m \cdot g$$

v -

Geschwindigkeit in m/s

η -

Wirkungsgrad als Dezimalbruch

Rotation

$$P = \frac{M \cdot n}{9550}$$

μ -

Reibungszahl

M -

Moment in Nm

n -

Drehzahl in r/min

49.6.2 Drehmoment

$$M = F \cdot r$$

M -

Drehmoment in Nm

F_R -

Reibwiderstand in N

$$M = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

r -

Hebelarm (Radius) in m

P -

Leistung in kW

n -

Drehzahl in r/min

49.6.3 Arbeit

$$W = F \cdot s = m \cdot g \cdot s$$

W -

Arbeit (Energie) in Nm = Ws = J

F -

Kraft in N

s -

Weg in m

$$W = \frac{J \cdot n^2}{182,5}$$

m -

Masse (Gewicht) in kg

g -

Fallbeschleunigung (9,81 m/s²)

J -

Massenträgheitsmoment in kgm²

n -

Drehzahl in r/min

49.6.4 Beschleunigungs- oder Bremszeit

$t_a = \frac{J \cdot n}{9,55 \cdot M_a}$	t_a	-	Beschleunigungs- oder Bremszeit in s
	J	-	Massenträgheitsmoment in kgm^2
	n	-	Drehzahl in r/min
	M_a	-	Beschleunigungs- /Bremsmoment in Nm

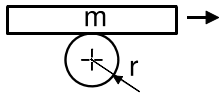
49.6.5 Massenträgheitsmoment und Schwungmoment

Der früher im Technischen Maßsystem übliche Begriff Schwungmoment GD^2 wurde nicht in das SI übernommen. Für Berechnungen mit dem Massenträgheitsmoment mr^2 sind daher nicht nur die unterschiedlichen Einheiten, sondern auch die andere Definition zu beachten.

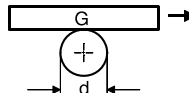
Vollzylinder $J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r_a^2 = \frac{1}{32} \cdot 1000 \cdot \pi \cdot \zeta \cdot l \cdot d_a^4 = 98 \cdot \zeta \cdot l \cdot d_a^4$

Hohlzylinder $J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_a^2 + r_i^2) = \frac{1}{32} \cdot 1000 \cdot \pi \cdot \zeta \cdot l \cdot (d_a^4 - d_i^4) = 98 \cdot \zeta \cdot l \cdot (d_a^4 - d_i^4)$

Linearbewegung als Tangente am Kreis



$$J = m \cdot r^2 = m \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{m \cdot d^2}{4}$$



$$GD^2 = G \cdot d^2$$

Da hier das Gewicht G als Masse in kg verstanden wird, sind die Zahlenwerte von m und G gleich. Für die Umrechnung von Schwungmomenten in Massenträgheitsmomente gilt daher:

$$J = \frac{GD^2}{4}$$

d. h., die Zahlenwerte des GD^2 (in kpm^2) sind durch 4 zu teilen und ergeben so die Zahlenwerte von J (in kgm^2).

Umrechnung einer Massenwirkung
von Translation auf Rotation

$$J = 91,2 \cdot m \cdot \frac{v^2}{n^2}$$

J	-	Massenträgheitsmoment in kgm^2	η	-	Innenhalbmesser in m
m	-	Masse in kg	l	-	Länge in m
r	-	Radius in m	ζ	-	Dichte in kg/dm^3
d_a	-	Außendurchmesser in m	v	-	Geschwindigkeit in m/s
d_i	-	Innendurchmesser in m	n	-	Drehzahl in r/min
r_a	-	Außenhalbmesser in m			

Trägheitsfaktor

Der Trägheitsfaktor FI (Factor of Inertia) ist das Verhältnis sämtlicher auf die Drehzahl des Motors umgerechneter und von ihm angetriebener Massen einschließlich des Trägheitsmoments des Motorläufers zum Trägheitsmoment des Motorläufers, also

$$FI = \frac{J_{\text{total}}}{J_{\text{rotor}}} = \frac{J_{\text{extern1}} + J_{\text{rotor}}}{J_{\text{rotor}}}$$

49.6.6 Elektrische Kennwerte des Antriebsmotors

Aufnahme

$$P_{\text{auf}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}{1000}$$

P	-	Leistung in kW
U	-	Hauptleiterspannung in V
I	-	Hauptleiterstrom in A
$\cos \varphi$	-	Leistungsfaktor als Dezimalbruch

Abgabe

$$P_{\text{ab}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{1000}$$

η	-	Motor-Wirkungsgrad als Dezimalbruch
ΔT	-	Übertemperatur der Wicklung in K
ϑ	-	Temperatur der Wicklung in °C

Temperaturzunahme

$$\Delta T = \frac{R_w - R_k}{R_k} \cdot (235 + \vartheta_k)$$

Index		
auf	-	Aufnahme
ab	-	Abgabe
k	-	bezogen auf kalten Zustand
w	-	bezogen auf warmen Zustand

50 Umrechnungsfaktoren für Einheiten

Da Zahlenwertgleichungen sowohl für die Eingaben wie für das Ergebnis bestimmte Einheiten voraussetzen, müssen oft Umrechnungsfaktoren verwendet werden. Dies gilt auch für Größen des Zollsystems, das in Nordamerika nach wie vor verbreitet ist.

50.1 Länge

		m	dm	cm	mm	yd	ft	in	mil
1 m	=	1	10	100	1000	1.094	3.281	39.370	39.4×10^3
1 dm	=	0.1	1	10	100	0.1094	0.3281	3.937	3937
1 cm	=	0.01	0.1	1	10	10.9×10^{-3}	32.8×10^{-3}	0.3937	393.7
1 mm	=	0.001	0.01	0.1	1	1.09×10^{-3}	3.28×10^{-3}	39.4×10^{-3}	39.37
1 yd	=	0.9144	9.144	91.44	914.4	1	3	36	36×10^3
1 ft	=	0.3048	3.048	30.48	304.8	0.3333	1	12	12×10^3
1 in	=	25.4×10^{-3}	0.2540	2.540	25.40	27.8×10^{-3}	83.3×10^{-3}	1	1000
1 mil	=	25.4×10^{-6}	254×10^{-6}	2.54×10^{-3}	25.4×10^{-3}	27.8×10^{-6}	83.3×10^{-6}	1×10^{-3}	1

1 mile (statute or British mile) = 1760 yd = 5280 ft = 1609.344 m
 1 n mile(nautical mile) = 6080 ft = 1.853 km
 1 km = 39370 in = 3281 ft = 1093.6 yd = 0.6214 mile = 0.5396 n mile
 1 fathom = 6 ft = 1.8288 m

50.2 Fläche

		m ²	dm ²	cm ²	mm ²	yd ²	ft ²	in ²	CM
1 m ²	=	1	100	10×10^3	1×10^6	1.196	10.764	1550	–
1 dm ²	=	0.01	1	100	10×10^3	12×10^{-3}	0.1076	15.50	–
1 cm ²	=	0.1×10^{-3}	0.01	1	100	0.12×10^{-3}	1.08×10^{-3}	0.1550	197×10^3
1 mm ²	=	1×10^{-6}	0.1×10^{-3}	0.01	1	1.2×10^{-6}	10.8×10^{-6}	1.55×10^{-3}	1.97×10^3
1 yd ²	=	0.8361	83.61	8361	836×10^3	1	9	1296	–
1 ft ²	=	92.9×10^{-3}	9.290	929.03	92.9×10^3	0.1111	1	144	183×10^6
1 in ²	=	0.645×10^{-3}	64.5×10^{-3}	6.4516	645.16	772×10^{-6}	6.94×10^{-3}	1	1.27×10^6
1 CM	=	–	–	5.07×10^{-6}	0.507×10^{-3}	–	5.45×10^{-9}	0.785×10^{-6}	1

CM – circular mil – Zolleinheit für kleine Flächen

1 square mile = 640 acres = 2.590 km² = 259 ha
 1 acre = 4840 yd² = 0.405 ha = 4047 m²
 1 km² = 0.386 sq. mile = 100 ha = 10 000 a
 1 ha = 100 a = 2.471 acres = 11959.6 yd²
 1 a = 100 m² = 119.6 yd² = 1076.4 ft²

50.3 Volumen

		m ³	dm ³	cm ³	yd ³	ft ³	in ³	gal (UK)	gal (US)
1 m ³	=	1	1000	1 x 10 ⁶	1.3079	35.32	61.02 x 10 ³	220	264.2
1 dm ³	=	1 x 10 ⁻³	1	1000	1.3 x 10 ⁻³	35.3 x 10 ⁻³	61.02	0.22	0.2642
1 cm ³	=	1 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻³	1	1.3 x 10 ⁻⁶	35.3 x 10 ⁻⁶	61 x 10 ⁻³	0.22 x 10 ⁻³	0.26 x 10 ⁻³
1 yd ³	=	0.765	764.6	765 x 10 ³	1	27	46.7 x 10 ³	168.2	202
1 ft ³	=	28.3 x 10 ⁻³	28.32	28.3 x 10 ³	37 x 10 ⁻³	1	1728	6.229	7.481
1 in ³	=	16.4 x 10 ⁻⁶	16.4 x 10 ⁻³	16.39	21.4 x 10 ⁻⁶	579 x 10 ⁻⁶	1	3.6 x 10 ⁻³	4.3 x 10 ⁻³
1 gal (UK)	=	4.55 x 10 ⁻³	4.546	4546	5.95 x 10 ⁻³	0.1605	277	1	1.201
1 gal (US)	=	3.79 x 10 ⁻³	3.785	3785	4.95 x 10 ⁻³	0.1337	231	0.8327	1

1 bushel (UK) = 8 gal (UK) = 64 pt (UK) = 36.37 l
 1 bushel (US) = 0.969 bu (UK) = 35.24 l
 1 pint (UK) = 1/8 gal (UK) = 0.5682 l
 1 liqu. pt (US) = 1/8 gal (US) = 0.4732 l
 1 l = 1.76 pt (UK) = 2.113 liqu. pt (US)

50.4 Kraft

		N	kgf	p	dyn	tonf (UK)	lbf	ozf
1 N	=	1	0.1020	102.0	1 x 10 ⁵	100.4 x 10 ⁻⁶	0.2248	3.597
1 kgf	=	9.807	1	1000	981 x 10 ³	0.984 x 10 ⁻³	2.205	35.27
1 p	=	9.81 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³	1	980.7	0.984 x 10 ⁻⁶	2.2 x 10 ⁻³	35.3 x 10 ⁻³
1 dyn	=	1 x 10 ⁻⁵	1.02 x 10 ⁻⁶	1.02 x 10 ⁻³	1	1 x 10 ⁻⁹	2.25 x 10 ⁻⁶	36 x 10 ⁻⁶
1 tonf (UK)	=	9964	1016	1.02 x 10 ⁶	996 x 10 ⁶	1	2240	35.8 x 10 ³
1 lbf	=	4.448	0.4536	453.6	445 x 10 ³	446 x 10 ⁻⁶	1	16
1 ozf	=	0.278	28.4 x 10 ⁻³	28.35	27.8 x 10 ³	27.9 x 10 ⁻⁶	62.5 x 10 ⁻³	1

1 (long) ton (UK) = 160 stones = 2240 lb = 1.016 t
 1 (short) ton (US) = 142.9 stones = 2000 lb = 0.907 t
 1 stone = 14 lb = 224 oz = 6.35 kg
 1 ton = 20 cwt
 1 cwt (UK) = 4 quarters = 8 stones = 112 lb
 1 cwt (US) = 100 lb = 45.36 kg
 1 t = 1000 kg = 0.984 ton (UK) = 1.101 ton (US)

50.5 Geschwindigkeit

		km/h	m/min	m/s	mile/h	ft/min	f t/s	in/s
1 km/h	=	1	16.667	0.2778	0.6214	54.68	0.9113	10.936
1 m/min	=	0.06	1	16.7×10^{-3}	37.3×10^{-3}	3.281	54.7×10^{-3}	0.656
1 m/s	=	3.6	60	1	2.237	196.85	3.281	39.37
1 mile/h	=	1.609	26.82	0.4470	1	88	1.467	17.6
1 ft/min	=	18.3×10^{-3}	0.3048	5.08×10^{-3}	11.4×10^{-3}	1	16.7×10^{-3}	0.2
1 ft/s	=	1.097	18.288	0.3048	0.6818	60	1	12
1 in/s	=	91×10^{-3}	1.524	25.4×10^{-3}	56.8×10^{-3}	5	83.3×10^{-3}	1

50.6 Drehmoment

		Nm	cNm	kgfm	cpm	lbf x ft	lbf x in	ozf x in
1 Nm	=	1	100	0.10197	10.2×10^3	0.73756	8.8507	141.61
1 cNm	=	0.01	1	1.02×10^{-3}	101.97	7.376×10^{-3}	88.5×10^{-3}	1.4161
1 kgfm	=	9.8067	980.67	1	100×10^3	7.233	86.796	1389
1 cpm	=	98.1×10^{-6}	9.81×10^{-3}	10×10^{-6}	1	72.3×10^{-6}	868×10^{-6}	13.9×10^{-3}
1 lbf x ft	=	1.356	135.6	0.1383	13.8×10^3	1	12	192
1 lbf x in	=	0.1129	11.29	11.5×10^{-3}	1152	83.3×10^{-3}	1	16
1 ozf x in	=	7.062×10^{-3}	0.7062	0.72×10^{-3}	72.01	5.21×10^{-3}	62.5×10^{-3}	1

50.7 Leistung

		kW	mhp	hp	kgfm/s	ft x lbf/s	kcal/s	Btu/s
1 kW	=	1	1.360	1.341	102.0	737.6	0.2388	0.9478
1 mhp	=	0.7355	1	0.9863	75	542.5	0.1757	0.6971
1 hp	=	0.7457	1.014	1	76.04	550	0.1781	0.7068
1 kgfm/s	=	9.81×10^{-3}	13.33×10^{-3}	13.15×10^{-3}	1	7.233	2.342×10^{-3}	9.295×10^{-3}
1 ft x lbf/s	=	1.36×10^{-3}	1.84×10^{-3}	1.82×10^{-3}	0.1383	1	0.324×10^{-3}	1.285×10^{-3}
1 kcal/s	=	4.1868	5.692	5.615	426.9	3088	1	3.968
1 Btu/s	=	1.055	1.435	1.415	107.6	778.2	0.2520	1

50.8 Massenträgheitsmoment und Schwungmoment

	kgm ² (m ²)	kgfm ² (GD ²)	lbf x ft ² (WK ²)	kpms ²	ft x lbf s ²
1 kgm ² (m ²)	= 1	4	23.73	0.102	0.7376
1 kgfm ² (GD ²)	= 0.25	1	5.933	25.5 x 10 ⁻³	0.1844
1 lbf x ft ² (WK ²)	= 42.1 x 10 ⁻³	0.1686	1	4.30 x 10 ⁻³	31.1 x 10 ⁻³
1 kpms ²	= 9.807	39.23	232.7	1	7.233
1 ft x lbf s ²	= 1.356	5.423	32.17	0.1383	1

50.9 Druck

		Pa (N/m ²)	bar	kgf/m ²	kgf/cm ²	kgf/mm ²	lbf/yd ²
1 Pa	=	1	1 x 10 ⁻⁵	0.102	10.2 x 10 ⁻⁶	0.102 x 10 ⁻⁶	0.188
1 bar	=	1 x 10 ⁵	1	10.2 x 10 ³	1.02	10.2 x 10 ⁻³	18.8 x 10 ³
1 kgf/m ²	=	9.81	98.1 x 10 ⁻⁶	1	0.1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻⁶	1.843
1 kgf/cm ²	=	98.1 x 10 ³	0.981	10 x 10 ³	1	0.01	18.4 x 10 ³
1 kgf/mm ²	=	9.81 x 10 ⁶	98.1	1 x 10 ⁶	100	1	1.84 x 10 ⁶
1 lbf/yd ²	=	5.32	53.2 x 10 ⁻⁶	0.543	54 x 10 ⁻⁶	0.54 x 10 ⁻⁶	1
1 lbf/ft ²	=	47.88	479 x 10 ⁻⁶	4.882	0.488 x 10 ⁻³	4.88 x 10 ⁻⁶	9
1 lbf/in ²	=	6.89 x 10 ³	68.9 x 10 ⁻³	703	70.3 x 10 ⁻³	0.703 x 10 ⁻³	1296
1 tonf/in ²	=	15.4 x 10 ⁶	154	1.58 x 10 ⁶	157.5	1.575	2.9 x 10 ⁶

		lbf/ft ²	lbf/in ²	tonf/in ²
1 Pa	=	20.88 x 10 ⁻³	145 x 10 ⁻⁶	64.75 x 10 ⁻⁹
1 bar	=	2.088 x 10 ³	14.5	6.475 x 10 ⁻³
1 kgf/m ²	=	0.2048	1.42 x 10 ⁻³	0.64 x 10 ⁻⁶
1 kgf/cm ²	=	2.05 x 10 ³	14.223	6.4 x 10 ⁻³
1 kgf/mm ²	=	205 x 10 ³	1.422 x 10 ³	0.6349
1 lbf/yd ²	=	0.1111	772 x 10 ⁻⁶	0.345 x 10 ⁻⁶
1 lbf/ft ²	=	1	6.94 x 10 ⁻³	3.1 x 10 ⁻⁶
1 lbf/in ²	=	144	1	0.446 x 10 ⁻³
1 tonf/in ²	=	0.323 x 10 ⁶	2240	1

1 N/m² = 1 Pa (Pascal)
 1 mbar = 1 hPa (Hektopascal)

50.10 Temperatur

	°F	°C	K	°Réau	°R
v °F =	v	$5/9 (v - 32)$	$5/9 (v - 32) + 273$	$4/9 (v - 32)$	$v + 460$
w °C =	$9/5 w + 32$	w	$w + 273$	$4/5 w$	$9/5 w + 492$
x K =	$9/5 x - 460$	$x - 273$	x	$4/5 (x - 273)$	$9/5 x$
y °Réau =	$9/4 y + 32$	$5/4 y$	$5/4 y + 273$	y	$9/4 y + 492$
z °R =	$z - 460$	$5/9 z - 273$	$5/9 z$	$4/9 z - 219$	z

Bezugspunkte der Temperatur:

Siedepunkt des Wassers:

212 °F 100 °C 373.15 K 80 °Réau 671.67 °R

Gefrierpunkt des Wassers:

32 °F 0 °C 273.15 K 0 °Réau 491.67 °R

Absoluter Nullpunkt:

- 459.67 °F - 273.15 °C 0 K – 0 °R

Leerseite für Notizen

XII ANHANG VDE 0530

51 Inhalt der DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1)

Bemessung und Betriebsverhalten von drehenden elektrischen Maschinen

Diese wichtigste Norm für den Elektromaschinenbau ist 2005 in revidierter Fassung und mit völlig neuer, verbesserter Struktur erschienen. Die nachfolgenden Inhaltsangaben beziehen sich auf diese neue Ausgabe; sie sollen den Umgang mit der Norm erleichtern.

51.1 Nationale Vorgeschichte und internationale Zusammenhänge

Schon im Jahr 1901 erschienen die „Normen zu Prüfung elektrischer Maschinen und Transformatoren“ [XII-1]. Ab 1922 galten die vielzitierten REM („Regeln für Maschinen“), die dann 1966 im Zuge der Angleichung an die internationalen Empfehlungen IEC 34-1 in „Bestimmungen für elektrische Maschinen, Teil 1“ umbenannt wurden. Spezifische nationale Festlegungen konnten zunächst in einem Anhang (z.B. in der Fassung von 1972 für die „Bestimmungen für umlaufende elektrische Maschinen, Teil 1“) weitergeführt werden.

Die strengen Regeln des CENELEC (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung) erlaubten für eine EN (Europäische Norm) solche Abweichungen und Ergänzungen nicht mehr – sie mussten daher bei der Neufassung entfallen. Das zuständige DKE-Komitee 311 hielt den Verzicht auf den Anhang für vertretbar, weil er sich überwiegend noch auf eine veraltete Einteilung von Isolierstoffen bezog und weil in der Zwischenzeit für die Bewertung der Isoliersysteme von drehenden elektrischen Maschinen die Norm VDE 0530 Teil 18 erschienen ist. Europäische Normen werden dreisprachig (deutsch/englisch/französisch) veröffentlicht. Daneben gibt es eine nationale (deutsche) Fassung mit einer VDE-Klassifikation und einem meist etwas späteren Ausgabedatum. Je nach Bezug wird daher mit unterschiedlichen Zitaten der gleiche Inhalt gemeint:

Internationale Norm: IEC 60034-1 : 11. Ausgabe

Europäische Norm: EN 60034-1 : 2004

Nationale Fassung: DIN EN 60034-1 (VDE 0530 - 1) : 04. 2005

Die Einbindung in das europäische Normenwerk ergibt sich auch aus den Zwängen des EG-Binnenmarktes und der ab 01.01.1997 erforderlichen Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel mit dem CE-Zeichen. EN 60034-1 gehört zu den Normen, deren Einhaltung sich aus der »Niederspannungsrichtlinie« 73/23/EWG für elektrische Maschinen ergibt.

Die nachfolgenden Inhaltsangaben beziehen sich auf DIN EN 60034-1 (VDE 0530 - 1) vom April 2005. Ein Nachdruck von Textauszügen ist aus urheberrechtlichen Gründen nicht möglich.

Die Norm in der jeweils gültigen Ausgabe kann bezogen werden bei VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach; Beuth Verlag GmbH, Berlin.

51.2 Struktur und Inhalt der Norm

(Die Nummern der Abschnitte beziehen sich auf die Norm)

1 - ANWENDUNGSBEREICH

2 - NORMATIVE VERWEISUNGEN

3 - BEGRIFFE UND DEFINITIONEN

- 3.1 Bemessungsgröße
- 3.2 Bemessung
- 3.3 Bemessungsleistung
- 3.4 Belastung
- 3.5 Leerlauf (-betrieb)
- 3.6 Volllast
- 3.7 Volllastwert
- 3.8 spannungsloser Ruhezustand
- 3.9 Betrieb
- 3.10 Betriebsart
- 3.11 relative Einschaltdauer
- 3.12 Anzugsmoment
- 3.13 Anzugsstrom
- 3.14 Sattelmoment (eines Wechselstrommotors)
- 3.15 Kippmoment (eines Wechselstrommotors)
- 3.16 Kippmoment (eines Synchronmotors)
- 3.17 Kühlung
- 3.18 Kühlmittel
- 3.19 primäres Kühlmittel
- 3.20 sekundäres Kühlmittel
- 3.21 direkt-leitergekühlte Wicklung
- 3.22 indirekt gekühlte Wicklung
- 3.23 zusätzliche Isolierung
- 3.24 Massenträgheitsmoment
- 3.25 thermischer Beharrungszustand
- 3.26 thermische Ersatzzeitkonstante
- 3.27 gekapselte Wicklung
- 3.28 Bemessungs-Gleichstromformfaktor für den Ankerkreis eines aus einem Stromrichter gespeisten Gleichstrommotors
- 3.29 Strom-Schwankungsfaktor
- 3.30 Toleranz
- 3.31 Typprüfung
- 3.32 Stückprüfung

4 - BETRIEB

- 4.1 Angabe des Betriebes
- 4.2 Betriebsarten
 - 4.2.1 Betriebsart S1 - Dauerbetrieb

- 4.2.2 Betriebsart S2 - Kurzzeitbetrieb
- 4.2.3 Betriebsart S3 - Periodischer Aussetzbetrieb
- 4.2.4 Betriebsart S4 - Periodischer Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufvorgangs
- 4.2.5 Betriebsart S5 - Periodischer Aussetzbetrieb mit elektrischer Bremsung
- 4.2.6 Betriebsart S6 - Ununterbrochener periodischer Betrieb
- 4.2.7 Betriebsart S7 - Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung
- 4.2.8 Betriebsart S8 - Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Last-/Drehzahländerungen
- 4.2.9 Betriebsart S9 - Betrieb mit nichtperiodischen Last-/Drehzahländerungen
- 4.2.10 Betriebsart S10 - Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen

5 - BEMESSUNG

- 5.1 Festlegung der Bemessung
- 5.2 Bemessungsklassen
 - 5.2.1 Bemessung für Dauerbetrieb
 - 5.2.2 Bemessung für Kurzzeitbetrieb
 - 5.2.3 Bemessung für periodischen Betrieb
 - 5.2.4 Bemessung für nichtperiodischen Betrieb
 - 5.2.5 Bemessung für Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen
 - 5.2.6 Bemessung für gleichwertige Belastung
- 5.3 Auswahl einer Bemessungsklasse
- 5.4 Zuordnung von Leistungen zur Bemessungsklasse
- 5.5 Bemessungsleistung
 - 5.5.1 Gleichstromgeneratoren
 - 5.5.2 Wechselstromgeneratoren
 - 5.5.3 Motoren
 - 5.5.4 Blindleistungsmaschinen
- 5.6 Bemessungsspannung
 - 5.6.1 Gleichstromgeneratoren
 - 5.6.2 Wechselstromgeneratoren
- 5.7 Zuordnung von Spannungen und Leistungen
- 5.8 Maschinen mit mehr als einer Bemessung

6 - BETRIEBSBEDINGUNGEN AM AUFSTELLUNGORT

- 6.1 Allgemeines
- 6.2 Aufstellungshöhe
- 6.3 Maximale Umgebungstemperatur der Luft
- 6.4 Minimale Umgebungstemperatur der Luft
- 6.5 Kühlwassertemperatur
- 6.6 Lagerung und Transport
- 6.7 Reinheit von Wasserstoff als Kühlmittel

7 - ELEKTRISCHE BETRIEBSBEDINGUNGEN

- 7.1 Stromversorgung
- 7.2 Kurvenform und Symmetrie von Spannungen und Strömen
 - 7.2.1 Wechselstrommotoren
 - 7.2.2 Wechselstromgeneratoren
 - 7.2.3 Synchronmaschinen
 - 7.2.4 Gleichstrommotoren, die von Stromrichtern gespeist werden
- 7.3 Spannungs- und Frequenzschwankungen während des Betriebes
- 7.4 Dreiphasen-Wechselstrommaschinen bei Betrieb an einem Netz mit nicht geerdetem Sternpunkt
- 7.5 Steherte für Scheitelwert und Anstiegsgeschwindigkeit der Spannung

8 - THERMISCHES VERHALTEN UND PRÜFUNGEN

- 8.1 Wärmeklasse
- 8.2 Referenz-Kühlmittel
- 8.3 Bedingungen für Erwärmungsprüfungen
 - 8.3.1 Elektrische Versorgung
 - 8.3.2 Maschinentemperatur vor Beginn der Prüfung
 - 8.3.3 Kühlmitteltemperatur
 - 8.3.4 Messung der Kühlmitteltemperatur während der Prüfung
 - 8.3.4.1 Offene oder geschlossene Maschinen ohne Wärmetauscher (Kühlung durch Umgebungsluft oder ein umgebendes Gas)
 - 8.3.4.2 Luft- oder gasgekühlte Maschinen mit entfernter, über Belüftungskanäle angeschlossene Kühlmittelversorgung und Maschinen mit getrennt aufgestellten Wärmetauschern
 - 8.3.4.3 Geschlossene Maschinen mit auf- oder eingebauten Wärmetauschern
- 8.4 Übertemperatur eines Maschinenteils
- 8.5 Temperatur-Messverfahren
 - 8.5.1 Allgemeines
 - 8.5.2 Widerstandsverfahren
 - 8.5.3 Verfahren mit eingebauten Temperaturfühlern (ETF)
 - 8.5.4 Thermometerverfahren
- 8.6 Bestimmung der Wicklungstemperatur
 - 8.6.1 Wahl des Verfahrens
 - 8.6.2 Bestimmung nach dem Widerstandsverfahren
 - 8.6.2.1 Messung
 - Direkte Messung
 - Messung mit Hilfe von Gleichstrom/-spannung
 - Überlagerungsverfahren
 - 8.6.2.2 Berechnung
 - 8.6.2.3 Berücksichtigung der Zeit nach dem Stillsetzen
 - 8.6.2.3.1 Allgemeines
 - 8.6.2.3.2 Kurze Stillsetzzeit
 - 8.6.2.3.3 Längere Stillsetzzeit
 - 8.6.2.3.4 Wicklungen mit einer Spulenseite je Nut

- 8.6.3 Bestimmung nach dem ETF-Verfahren
 - 8.6.3.1 Allgemeines
 - 8.6.3.2 Zwei oder mehr Spulenseiten je Nut
 - 8.6.3.3 Eine Spulenseite je Nut
 - 8.6.3.4 Wickelköpfe
- 8.6.4 Bestimmung nach dem Thermometerverfahren
- 8.7 Dauer der Erwärmungsprüfungen
 - 8.7.1 Bemessung für Dauerbetrieb
 - 8.7.2 Bemessung für Kurzzeitbetrieb
 - 8.7.3 Bemessung für periodischen Betrieb
 - 8.7.4 Bemessung für nichtperiodischen Betrieb und für Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen
- 8.8 Bestimmungen der thermischen Ersatzzeitkonstanten für Maschinen der Betriebsart S9
- 8.9 Verfahren zum Messen der Lagertemperatur
- 8.10 Grenzwerte für Temperatur und Übertemperatur
 - 8.10.1 Indirekt gekühlte Wicklungen
 - 8.10.2 Direkt-leitergekühlte Wicklungen
 - 8.10.3 Anpassungen zur Berücksichtigung der Wasserstoffreinheit bei Prüfungen
 - 8.10.4 Dauernd kurzgeschlossene Wicklungen, Eisenkerne und alle Bauteile, gleichgültig, ob sie mit der Isolierung in Berührung sind oder nicht (ausgenommen Lager)
 - 8.10.5 Kommutatoren und Schleifringe, offen oder geschlossen, und ihre zugehörigen Bürsten und Bürstenhalter

9 - SONSTIGES ZU BETRIEBSVERHALTEN UND PRÜFUNGEN

- 9.1 Stückprüfungen
- 9.2 Prüfung der Stehspannung
- 9.3 Gelegentliche Stromüberlastung
 - 9.3.1 Allgemeines
 - 9.3.2 Generatoren
 - 9.3.3 Wechselstrommotoren (ausgenommen Kommutatormotoren und Motoren mit Dauermagneten)
 - 9.3.4 Kommutatormaschinen
- 9.4 Kurzzeitige Drehmoment-Überlastbarkeit von Motoren
 - 9.4.1 Mehrphasen-Induktionsmotoren und Gleichstrommotoren
 - 9.4.2 Mehrphasen-Synchronmotoren
 - 9.4.3 Andere Motoren
- 9.5 Sattelmoment
- 9.6 Sichere Betriebsdrehzahl von Induktionsmotoren mit Käfigläufer
- 9.7 Schleuderdrehzahl
- 9.8 Stoßkurzschlussstrom von Synchronmaschinen
- 9.9 Stoßkurzschlussprüfung von Synchronmaschinen
- 9.10 Kommutierungsprüfung von Kommutatormaschinen
- 9.11 Gesamt-Verzerrungsfaktor (THD) für Synchronmaschinen
 - 9.11.1 Allgemeines
 - 9.11.2 Grenzwerte
 - 9.11.3 Prüfungen

10 - LEISTUNGSSCHILDER

- 10.1 Allgemeines
- 10.2 Kennzeichnung

11 - SONSTIGE ANFORDERUNGEN

- 11.1 Erdung von Maschinen
- 11.2 Passfeder(n) für Wellenenden

12 - TOLERANZEN

- 12.1 Allgemeines

13 - ELEKTROMAGNETISCHE VERTRÄGLICHKEIT (EMV)

- 13.1 Allgemeines
- 13.2 Störfestigkeit
 - 13.2.1 Maschinen ohne elektronische Stromkreise
 - 13.2.2 Grenzwert der Emission
- 13.3 Emission
 - 13.3.1 Bürstenlose Maschinen
 - 13.3.2 Maschinen mit Bürsten
- 13.4 Prüfungen der Störfestigkeit
- 13.5 Emissions-Prüfungen
 - 13.5.1 Bürstenlose Maschinen
 - 13.5.2 Maschinen mit Bürsten

14 - SICHERHEIT

- Anhang A Hinweise für die Anwendung der Betriebsart S10 und die Festlegung des Zahlenwertes der bezogenen thermischen Lebenserwartung TL
- Anhang B Grenzwerte der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)
- Anhang ZA Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

51.3 Alphabetisches Register der Abschnitte

(Die Nummern der Abschnitte beziehen sich auf die Norm)

Stichwort	Abschnitt
Allgemeines (zu Leistungsschilder)	10.1
Allgemeines (zu Toleranzen)	12.1
Allgemeines (Verzerrungsfaktor THD)	9.11.1
Allgemeines (zu den Betriebsbedingungen am Aufstellungsort)	6.1
Allgemeines (zu den Temperatur-Messverfahren)	8.5.1
Allgemeines (zum ETF-Verfahren)	8.6.3.1
Allgemeines (zur Berücksichtigung der Zeit nach dem Stillsetzen)	8.6.2.3.1
Allgemeines (zur EMV)	13.1
Allgemeines (zur gelegentlichen Stromüberlastung)	9.3.1
Andere Motoren (Drehmoment-Überlastung)	9.4.3
Angabe des Betriebes	4.1
Angepasste Grenzwerte der Temperatur am Prüfort ...	Tab. 14
Angepasste Grenzwerte der Übertemperatur am Prüfort ...	Tab. 11
Anpassung der Grenzwerte der Temperatur am Betriebsstandort ...	Tab. 13
Anpassung der Grenzwerte der Übertemperatur am Betriebsstandort ...	Tab. 9
Anpassungen zur Berücksichtigung der Wasserstoffreinheit bei Prüfungen	8.10.3
ANWENDUNGSBEREICH	1
Anzugsmoment	3.12
Anzugsstrom	3.13
Aufstellungshöhe	6.2
Auswahl einer Bemessungsklasse	5.3
Bedingungen für Erwärmungsprüfungen	8.3
Belastung	3.4
Bemessung	3.2
BEMESSUNG	5
Bemessung für Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen und Drehzahlen	5.2.5
Bemessung für Dauerbetrieb	5.2.1
Bemessung für Dauerbetrieb (Erwärmungsprüfung)	8.7.1
Bemessung für gleichwertige Belastung	5.2.6
Bemessung für Kurzzeitbetrieb	5.2.2
Bemessung für Kurzzeitbetrieb (Erwärmungsprüfung)	8.7.2
Bemessung für nichtperiodischen Betrieb	5.2.4
Bemessung für nichtperiodischen Betrieb und für Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen (Erwärmungsprüfung)	8.7.4
Bemessung für periodischen Betrieb	5.2.3
Bemessung für periodischen Betrieb (Erwärmungsprüfung)	8.7.3
Bemessungsklassen	5.2
Bemessungs-Gleichstromformfaktor für den Ankerkreis eines aus einem Stromrichter gespeisten Gleichstrommotors	3.28
Bemessungsgröße	3.1
Bemessungsleistung (Begriff)	3.3
Bemessungsleistung (je nach Maschinenart)	5.5

Bemessungsspannung	5.6
Berechnung (der Übertemperatur)	8.6.2.2
Berücksichtigung der Zeit nach dem Stillsetzen	8.6.2.3
Bestimmung der Wicklungstemperatur	8.6
Bestimmung nach dem ETF-Verfahren	8.6.3
Bestimmung nach dem Thermometerverfahren	8.6.4
Bestimmung nach dem Widerstandsverfahren	8.6.2
Bestimmungen der thermischen Ersatzzeitkonstanten für Maschinen der Betriebsart S9 (Erwärmungsprüfung)	8.8
Betrieb	3.9
BETRIEB	4
Betriebsart	3.10
Betriebsart S1 - Dauerbetrieb	4.2.1
Betriebsart S10 - Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen und Drehzahlen	4.2.10
Betriebsart S2 - Kurzzeitbetrieb	4.2.2
Betriebsart S3 - Periodischer Aussetzbetrieb	4.2.3
Betriebsart S4 - Periodischer Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufvorgangs	4.2.4
Betriebsart S5 - Periodischer Aussetzbetrieb mit elektrischer Bremsung	4.2.5
Betriebsart S6 - Ununterbrochener periodischer Betrieb	4.2.6
Betriebsart S7 - Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung	4.2.7
Betriebsart S8 - Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Last-/Drehzahländerungen	4.2.8
Betriebsart S9 - Betrieb mit nichtperiodischen Last- und Drehzahländerungen	4.2.9
Betriebsarten	4.2
BETRIEBSBEDINGUNGEN AM AUFSTELLUNGORT	6
Bevorzugte Bemessungsspannungen	Tab. 1
Blindleistungsmaschinen	5.5.4
Bürstenlose Maschinen (Emission)	13.3.1
Bürstenlose Maschinen (Emissions-Prüfungen)	13.5.1
Dauer der Erwärmungsprüfungen	8.7
Dauernd kurzgeschlossene Wicklungen, Eisenkerne und alle Bauteile, gleichgültig, ob sie mit der Isolierung in Berührung sind oder nicht (ausgenommen Lager)	8.10.4
DEFINITIONEN	3
Direkte Messung (des Widerstandes)	8.6.2.1
direkt-leitergekühlte Wicklung	3.21
Direkt-leitergekühlte Wicklungen	8.10.2
Dreiphasen-Wechselstrommaschinen bei Betrieb an einem Netz mit nicht geerdetem Sternpunkt	7.4
Eine Spulenseite je Nut	8.6.3.3
ELEKTRISCHE BETRIEBSBEDINGUNGEN	7
Elektrische Versorgung	8.3.1
ELEKTROMAGNETISCHE VERTRÄGLICHKEIT (EMV)	13
Emission	13.3
Emissions-Prüfungen	13.5
Erdung von Maschinen	11.1
Festlegung der Bemessung	5.1

gekapselte Wicklung	3.27
Gelegentliche Stromüberlastung	9.3
Generatoren	9.3.2
Gesamt-Verzerrungsfaktor (THD) für Synchronmaschinen	9.11
Geschlossene Maschinen mit auf- oder eingebauten Wärmetauschern	8.3.4.3
Gleichstromgeneratoren	5.5.1
Gleichstromgeneratoren	5.6.1
Gleichstrommotoren, die von Stromrichtern gespeist werden	7.2.4
Grenzwert der Emission	13.2.2
Grenzwerte (Verzerrungsfaktor THD)	9.11.2
Grenzwerte der elektromagnetischen Emission für Maschinen mit Bürsten	Tab. B.2
Grenzwerte der elektromagnetischen Emission für Maschinen ohne Bürsten	Tab. B.1
Grenzwerte der Temperatur von direkt gekühlten Wicklungen und ihrer Kühlmittel	Tab. 12
Grenzwerte der Übertemperatur von indirekt mit Luft gekühlten Wicklungen	Tab. 7
Grenzwerte der Übertemperatur von indirekt mit Wasserstoff gekühlten Wicklungen	Tab. 8
Grenzwerte für Temperatur und Übertemperatur	8.10
Höchste Betriebsdrehzahl von Drehstrom-Induktionsmotoren mit Käfigläufer, ...	Tab. 17
indirekt gekühlte Wicklung	3.22
Indirekt gekühlte Wicklungen	8.10.1
Kenngößen der Funktionstüchtigkeit von Maschinen	Tab. 3
Kennzeichnung	10.2
Kippmoment (eines Synchronmotors)	3.16
Kippmoment (eines Wechselstrommotors)	3.15
Kommutatoren und Schleifringe, offen oder geschlossen, und ihre zugehörigen Bürsten und Bürstenhalter	8.10.5
Kommutatormaschinen (Stromüberlastung)	9.3.4
Kommutierungsprüfung von Kommutatormaschinen	9.10
Kühlmittel	3.18
Kühlmitteltemperatur	8.3.3
Kühlung	3.17
Kühlwassertemperatur	6.5
Kurvenform und Symmetrie von Spannungen und Strömen	7.2
Kurze Stillsetzzeit	8.6.2.3.2
Kurzzeitige Drehmoment-Überlastbarkeit von Motoren	9.4
Lagerung und Transport	6.6
Längere Stillsetzzeit	8.6.2.3.3
Leerlauf (-betrieb)	3.5
LEISTUNGSSCHILDER	10
Luft- oder gasgekühlte Maschinen mit entfernter, über Belüftungskanäle angeschlossene Kühlmittelversorgung und Maschinen mit getrennt aufgestellten Wärmetauschern	8.3.4.2
Maschinen mit Bürsten (Emission)	13.3.2
Maschinen mit Bürsten (Emissions-Prüfungen)	13.5.2
Maschinen mit mehr als einer Bemessung	5.8
Maschinen ohne elektronische Stromkreise	13.2.1
Maschinentemperatur vor Beginn der Prüfung	8.3.2

Massenträgheitsmoment	3.24
Maximale Umgebungstemperatur	Tab. 10
Maximale Umgebungstemperatur der Luft	6.3
Mehrphasen-Induktionsmotoren und Gleichstrommotoren (Drehmoment-Überlastung)	9.4.1
Mehrphasen-Synchronmotoren (Drehmoment-Überlastung)	9.4.2
Messstellen (für die Lagertemperatur)	Tab. 6
Messung (des Widerstandes)	8.6.2.1
Messung (des Widerstandes) mit Hilfe von Gleichstrom/-spannung	8.6.2.1
Messung der Kühlmitteltemperatur während der Prüfung	8.3.4
Mindestaufwand an Stückprüfungen	Tab. 15
Minimale Umgebungstemperatur der Luft	6.4
Motoren	5.5.3
NORMATIVE VERWEISUNGEN	2
Offene oder geschlossene Maschinen ohne Wärmetauscher (Kühlung durch Umgebungsluft oder ein umgebendes Gas)	8.3.4.1
Passfeder(n) für Wellenenden	11.2
primäres Kühlmittel	3.19
Prüfung der Stehspannung	9.2
Prüfung der Stehspannungen	Tab. 16
Prüfungen (Verzerrungsfaktor THD)	9.110.3
Prüfungen der Störfestigkeit	13.4
Querschnitte der Erdungsleiter	Tab. 19
Referenz-Kühlmittel	8.2
Referenz-Kühlmittel	Tab. 4
Reinheit von Wasserstoff als Kühlmittel	6.7
relative Einschaltdauer	3.11
Sattelmoment	9.5
Sattelmoment (eines Wechselstrommotors)	3.14
Schieflast-Betriebsbedingungen für Synchronmaschinen	Tab. 2
Schleuderdrehzahl	9.7
Schleuderdrehzahlen	Tab. 18
sekundäres Kühlmittel	3.20
Sichere Betriebsdrehzahl von Induktionsmotoren mit Käfigläufer	9.6
SICHERHEIT	14
SONSTIGE ANFORDERUNGEN	11
SONSTIGES ZU BETRIEBSVERHALTEN UND PRÜFUNGEN	9
Spannungs- und Frequenzschwankungen während des Betriebes	7.3
spannungsloser Ruhezustand	3.8
Stehwerte für Scheitelwert und Anstiegsgeschwindigkeit der Spannung	7.5
Störfestigkeit	13.2
Stoßkurzschlussprüfung von Synchronmaschinen	9.9
Stoßkurzschlussstrom von Synchronmaschinen	9.8
Strom-Schwankungsfaktor	3.29
Stromversorgung	7.1
Stückprüfung	3.32

Stückprüfungen	9.1
Synchronmaschinen	7.2.3
Temperatur-Messverfahren	8.5
thermische Ersatzzeitkonstante	3.26
thermischer Beharrungszustand	3.25
THERMISCHES VERHALTEN UND PRÜFUNGEN	8
Thermometerverfahren	8.5.4
Toleranz	3.30
TOLERANZEN	12
Toleranzen von Größen (Zusammenstellung)	Tab. 20
Typprüfung	3.31
Überlagerungsverfahren (zur Messung des Widerstandes)	8.6.2.1
Übertemperatur eines Maschinenteils	8.4
Verfahren mit eingebauten Temperaturfühlern (ETF)	8.5.3
Verfahren zum Messen der Lagertemperatur	8.9
Volllast	3.6
Volllastwert	3.7
Wahl des Verfahrens	8.6.1
Wärmeklasse	8.1
Wechselstromgeneratoren	5.5.2
Wechselstromgeneratoren	5.6.2
Wechselstromgeneratoren	7.2.2
Wechselstrommotoren	7.2.1
Wechselstrommotoren (Stromüberlastung; ausgenommen Kommutatormotoren und Motoren mit Dauermagneten)	9.3.3
Wickelköpfe	8.6.3.4
Wicklungen mit einer Spulenseite je Nut	8.6.2.3.4
Widerstandsverfahren	8.5.2
Zeitintervalle (nach dem Abschalten)	Tab. 5
Zuordnung von Leistungen zur Bemessungsklasse	5.4
Zuordnung von Spannungen und Leistungen	5.7
zusätzliche Isolierung	3.23
Zwei oder mehr Spulenseiten je Nut	8.6.3.2

Literatur zum ANHANG XII:

- XII-1 *Jäger, K.:*
Sicherheit von Turbogeneratoren und die Entwicklung der VDE-
Bestimmungen für elektrische Maschinen
Bd. 14 zur Geschichte der Elektrotechnik
VDE-Verlag GmbH, 1994
- XII-2 *Dettmar, G.:*
Erläuterungen zu den Regeln für Maschinen
Oskar Brandstetter Verlag, 1930
- XII-3 IEC 60034-1: 2004
Rotating electrical machines
Part 1: Rating and performance
- XII-4 EN 60034-1: 2004
DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1): 2005
Drehende elektrische Maschinen
Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten
VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach;
Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Literaturverzeichnis

I GETRIEBEMOTOREN

- I-1 Jahresbericht 2005 des Fachverbandes Elektrische Antriebe im ZVEI
- I-2 Elektronischer Katalog für Getriebemotoren
Danfoss Bauer GmbH D-73726 Esslingen
- I-3 *Greiner, H.:*
60 Jahre Katalog-Getriebemotoren
Elektronische Publikation der Fa. Danfoss Bauer GmbH
- I-4 *Beitz, W., Küttner, K.-H.:*
Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau
Springer-Verlag (1995)
- I-5 *Niemann, G., Winter, H.:*
Maschinenelemente Band I; Springer-Verlag
- I-6 DIN EN 50347
Drehstromasynchronmotoren für den Allgemeingebrauch mit
standardisierten Abmessungen und Leistungen;
Baugrößen 56 bis 315 und Flanschgrößen 65 bis 740

II ELEKTRISCHE KENNGRÖSSEN VON KÄFIGLÄUFERMOTOREN

- II-1 DIN IEC 60038
IEC-Normspannungen
- II-2 Electric Current Abroad (Internationale Zusammenstellung von
Netzspannungen und -frequenzen)
U.S. Department of Commerce mit Ergänzungen des ZVEI
- II-3 DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1)
Drehende elektrische Maschinen; Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten
- II-4 Erläuterungen zu VDE 0530
VDE-Schriftenreihe 10; VDE-Verlag GmbH, Berlin, Offenbach
- II-5 *Greiner, H.:*
Energie sparen mit Getriebemotoren
Sonderdruck SD 3407 der Fa. Danfoss Bauer GmbH

III BAUARTEN UND KENNGRÖSSEN VON GETRIEBEN

- III-1 DIN 51354
Prüfung von Schmierstoffen; FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine
- III-2 *Eckhardt, F.:*
Stationäre Zahnradgetriebe; Schmierung und Wartung
Broschüre der Mobil Oil AG
- III-3 *Bartz, W. J.:*
Getriebeschmierung; Expert Verlag, Ehningen
- III-4 Mineralöle und Brennstoffe
DIN-Taschenbuch 20
- III-5 *Heck, C.:*
Technische und wirtschaftliche Vorteile synthetischer Getriebeschmierstoffe
Lehrgangsunterlagen der TAE
- III-6 *Greiner, H.:*
Auswahl und Einbau von Trommelmotoren
Sonderdruck SD 585 der Fa. Danfoss Bauer GmbH

IV BETRIEBSARTEN

- IV-1 DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1)
Drehende elektrische Maschinen; Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten
- IV-2 *Vogel, J.:*
Elektrische Antriebstechnik
Hüthig Verlag Heidelberg (1998)

V NORMEN FÜR MOTORAUSFÜHRUNGEN

- V-1 *Greiner, H.:*
IP-Schutzarten
Publikation EP 102 der Fa. Danfoss Bauer GmbH
- V-2 *Greiner, H.:*
Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren
Publikation der Fa. Danfoss Bauer GmbH (2004)

- V-3 *Greiner, H. u. a.:*
Elektroinstallation und Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen
Hüthig & Pflaum Verlag, München/Heidelberg (2006)

VI EMISSIONEN

- VI-1 *Greiner, H.:*
Messung und Beurteilung von Maschinen-Geräuschen
Sonderdruck SD 1800 der Fa. Danfoss Bauer GmbH
- VI-2 *Greiner, H.,:*
Halbkeilwuchtung bei Elektromotoren
"de" (1998) Heft 18
- VI-3 *Doppelbauer, M.:*
EG-Richtlinien und CE-Kennzeichnung in der elektrischen Antriebstechnik
Sonderdruck SD 3396 der Fa. Danfoss Bauer GmbH

VII MESSUNG UND BEURTEILUNG DER ERWÄRMUNG

- VII-1 *Nürnberg, W.:*
Die Prüfung elektrischer Maschinen
Springer Verlag Berlin
- VII-2 *Dreier, H.; Stadler, H.; Engel, U.; Wickboldt, H.:*
PTB-Prüfregeln
Deutscher Eichverlag GmbH; Braunschweig (1969, Nachdruck 1974)
- VII-3 *Geisweid, R.:*
Elektrotechnik und elektrische Antriebe
Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York (1973)
- VII-4 *Falk, K.:*
Der Drehstrommotor – Ein Lexikon für die Praxis
VDE-Verlag GmbH, Berlin-Offenbach (1997)
- VII-5 *Brosch, P.:*
Falsch ist rasch gemessen
Elektrotechnik 73 (1991), Heft 4

VIII ÜBERLASTBARKEIT UND ÜBERLASTUNGSSCHUTZ

- VIII-1 *Greiner, H.:*
Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren
Publikation der Fa. Danfoss Bauer GmbH (2004)
- VIII-2 *Greiner, H.:*
Betriebsfaktoren
Sonderdruck SD 3200 der Fa. Danfoss Bauer GmbH

IX DREHZAHLVERSTELLUNG

- IX-1 *Greiner, H.:*
Umrichtergespeiste Drehstrommotoren
Publikation 2906 der Fa. Danfoss Bauer GmbH
- IX-2 *Greiner, H.:*
Anlaufen, Bremsen, Positionieren mit Drehstrom-Asynchronmotoren
Herausgeber Danfoss Bauer GmbH (2001)
- IX-3 Wissenswertes über Frequenzumrichter
Herausgeber Danfoss A/S (1997)

X SONDERMOTOREN

- X-1 *Greiner, H.:*
Anlaufen, Bremsen, Positionieren mit Drehstrom-Asynchronmotoren
Herausgeber Danfoss Bauer GmbH (2001)
- X-2 *Greiner, H.:*
Auswahl von Rollgangantrieben
Sonderdruck SD 807 der Fa. Danfoss Bauer GmbH

Stichwortverzeichnis

Stichwort	Abschnitt
A	
Abfuhrrollgang	47.1
Abstufung der Leistungsreihe	3.4.3
Akzeptanz des Maßmotors	3.4.2
Anpresskraft beim Reibrad	16.7
Anschluss an erhöhte Frequenz	29.3.2
Anschluss an geänderte Spannung und Frequenz	29.3.1
Anschluss an verminderte Frequenz	29.3.2
Anschlussbezeichnungen	29.2
Antriebe mit niedrigen Drehzahlen	1
Antriebskräfte	16
Antriebswahl	14
Anwendungsbeispiel der Baureihe BS	13.1
Arbeitsrollgang	47.1
Arbeitswelle, Querkraftbelastung	16
Arbeitswellenlager, Belastbarkeit	16.8
Asynchronmotor mit Käfigläufer	8.1
Asynchronmotor mit Schlupfläufer	8.3
Aufhängung	32.3
Aufsteckgetriebe, paralleler Abtrieb	11
Aufsteckritzel	10.1
Aufsteck-Rollgangs-Getriebemotor	47.4
Aufstellung (IM-Code)	26
Auslastungsgrad, Ermittlung	38
Ausnutzungsfaktor bei S2	21
Ausnutzungskennziffer	4.8
Außenleiter	5
Außertrittfallmoment	45
Aussetzbetrieb S3	22
Aussetz-Schaltbetrieb S4	23
Austauschbarkeit	3.4.6
Auswahl, computergestützte	4.12
B	
Bauart (IM-Code)	26
Baukastensystem	12.1
Baumusterprüfbescheinigung	28.2
Bedeutung, 690 V	5.10.2
Beharrungszustand beim Erwärmungslauf	36
Beharrungszustand, thermischer	20
Belastungskennlinie	6.4
Belastungskennlinie	38.1
Bemessungsdrehmoment	2

STICHWORTVERZEICHNIS

Bemessungsdrehzahl	8
Bemessungsdrehzahl, Angabetoleranz	38.4.2
Bemessungsleistung	6
Bemessungsleistung des Antriebs	6.3
Bemessungsleistung, Berechnung des Motors	2.1
Bemessungsleistung, Bestimmung	6.4
Bemessungsschlupf	8.2
Bemessungsspannung	5
Bemessungsspannung, Bereich	5.4
Bemessungsspannung, oberhalb Optimum	5.6.3
Bemessungsspannung, Optimum	5.6.1
Bemessungsspannung, unterhalb Optimum	5.6.2
Bemessungsstrom	7
Beschleunigungsziffer (B-Wert)	47.2.3
Beschleunigungsziffer, Ausnutzung	47.2.3.3
Beschleunigungsziffer, Definition	47.2.3.1
Beschleunigungsziffer, Ermittlung	47.2.3.2
Betrieb	19.1
Betrieb, Angabe	19.2
Betriebsart	19.1
Betriebsarten nach Norm	19.3
Betriebsarten, Begriffe	19.1
Betriebsarten, Einteilung	19
Betriebsfaktoren	41
Betriebsfaktor, Getriebe	41.2
Betriebsfaktor, Motor	41.1
Betriebskosten	12.2
Beurteilungsgrenzen für Schwingungen	32,1
Bezeichnungssystem	3.4.6
Blockierscheinleistung	30.9
C	
CEMEP	9
CENELEC-Memorandum	5.2.3
Code I	26.1.1
Code II	26.1.2
Conduit System	30.11
COPANT	9.4
D	
Dahlanderschaltung	43.1
Dauerbetrieb S1	20
Dauertemperatur, zulässige	36.3
Design A, B, C, D, E	30.10
Deutscher Maßmotor	3.4.2
Dichtung	3.1.1
Direktvergleich BG – BF – BK – BS	14

Drehfeldmagnet	48
Drehfeldmagnete, Auswahl	48.2
Drehfeldmagnete, Drücker	48.4
Drehfeldmagnete, Kabelaufroller	48.6
Drehfeldmagnete, Übergabe	48.5
Drehfeldmagnete, Ziehen oder Straffen	48.3
Drehmagnet	48.1
Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie	2.3
Drehmomentmessung, direkte	38.5
Drehmomentstütze	11.2
Drehzahl	44.1
Drehzahl, Berechnung aus Geschwindigkeit	2.3
Drehzahlangebot	1.1
Drehzahlbedarf	1.1
Drehzahlbereich	4.4
Drehzahlgrenzen, wirtschaftliche	1.3
Drehzahlmesser, Anzeigetoleranz	38.4.1
Drehzahlverhältnis 1 : 2	43.1
Drehzahlverhältnisse, andere	43.2
Drehzahlverhältnisse, ausführbare	43.2.2
Dreieck-Charakteristik, Kranfahrantrieb	46
Dreieck-Kennlinie, Rollgang	47.2.1
Drehmomentmesswelle	38.5
Dritte Kennziffer	27.1
Druckaufnahmefähigkeit	17.1
Durchlaufbetrieb mit Aussetzbelastung S6	22
E	
ED	19.1
EFF1, EFF2, EFF3	9.1
EG-Baumusterprüfbescheinigung	28.2
EG-Richtlinien	28.1
Einlauf-Schmierfrist	17.3
Einschaltdauer, relative	19.1
Einsteckritzeln	3.1.2
eisenaktiv	3.4.6
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	34
Emissionskennwerte, Getriebe (ETS)	31.4
Emissionskennwerte, Normmotoren (ETS)	31.3
EMV, Asynchronmaschinen	34.2
EMV, Gleichstrommotoren (Kommutatormaschinen)	34.3
EMV, Konformitätserklärung	34.4
Energieverbrauch, Schneckengetriebe	13.2
Engler-Grade	17.1
EPACT	9.4
Ersatzhaltung, Getriebemotor	33

Ersatzhaltung, Motorteil	3.3
Erwärmungslauf, Abbruch	36.5
Erwärmungslauf, Dauer bei S1	36.2
Erwärmungslaufs, Dauer bei S3 ... S8	36.4
Erwärmungsverlauf, theoretischer	36.1
Erwärmungsvorgang	35
Erwärmungszeitkonstante	35.2
Europäischer Normmotor	3.4.7
Eurospannung, Akzeptanz	5.2.3
Explosionsschutz	28
Ex-Vorschriften, Ausland	28.4
Ex-Vorschriften, Europa	28.4.1
Ex-Vorschriften, Nordamerika	28.4.2
F	
Fahrwagen, Anwendungsbeispiel	11.3
Feldschwächung	44.4
Finite-Elemente-Methode (FEM)	16.9
Flachgetriebe	11
Flachriemenscheiben	3.1.2
Flanschmotor, Direktanbau	3.1
Flanschmotors, Adapter-Anbau	3.2
freie Aufhängung	32.2
G	
Gerätesicherheitsgesetz	28
Geräusch	31
Geräusch, Grenzwerte für alle Maschinenarten	31.1
Geräusch, Grenzwerte für Normmotoren	31.2
Geräuschanregung	10.3
Getriebe, Bauart	1.7
Getriebe, Raumbedarf	1.7
Getriebe, Überlastbarkeit	40.1
Getriebebelastung	40
Getriebegrößen, Abstufung	1.6
Getriebegrößen, Zahl	4.5
Getriebemotor, Schutzmöglichkeiten	39
Getriebemotoren, Katalogdarstellung	4
Getriebemotors, Hüllmaße	4.10
Getriebewirkungsgrad	15
Gewichte	4.7
Gleitreibung bei Schneckengetrieben	15.2
Gummipuffer	11.2
H	
Halbkeilwuchtung	33
Halbkeilwuchtung, Kennzeichnung	33.6
Halb-Passfeder-Vereinbarung	33.4

Handtacho, Digitalanzeige	38.4.1.3
Harmonisierungsdokument HD	3.4.7
Hochdruckeigenschaften von Ölen	17.2
Hohlwelle, Ausführung	11.1
Hohlwelle, Passfeder	11.1.1
Hohlwelle, Schrumpfscheibenverbindung (SSV)	11.1.2
Hottest spot	36.3
Hubleistung	6.1
I	
IC- Bezeichnungssystem	25.2
IC-Beispiele	25.10
IC-Bezeichnungen, allgemein gebräuchliche	25.7
IC-Bezeichnungssystem, Ursprung	25.1
IC-Bezeichnungssystem, vereinfachtes	25.3
IC-Kennzeichnung auf dem Leistungsschild	25.8
IE-Code für den Wirkungsgrad	9.4
IEC-Motor	3
IK-Code, Anwendungsbereich der Norm	27.2
IK-Code, Aufbau	27.3
IK-Code, äußere mechanische Beanspruchung	27
IK-Code, Bedeutung	27.4
IK-Code, Hintergründe	27.1
IM-Kennziffer im Code II, erste	26.1.3
IM-Kennziffer im Code II, vierte	26.1.4
Intrittfallmoment	45
IP-Code, Anordnung	24.2
IP-Code, Normen	24.1
IP-Code, Bedeutung	24.3
ISO-Viskositätsklassen	17.1
K	
Käfigtemperaturen	37
Käfigtemperaturen, Dauerbetrieb S1	37.1
Käfigtemperaturen, Kurzschluss	37.2
Kegelradgetriebe	15.1
Kegelradgetriebe, rechtwinkliger Abtrieb	12
Kegelradstufe, Anordnung	12.1
Keilriemenscheiben	3.1.2
Kennzeichens, Aufbau	26.1
Kettenantrieb	16.3
Klemmenkasten, Lage	26.2
Klemmenschalung	43.2.1
Konformitätsbescheinigung	28.2
Konsole	11.4
Konstruktionsmerkmale	1.4
Kontrollbescheinigung	28.2

STICHWORTVERZEICHNIS

Kostenvergleich	11.4
Kostenvergleich Kegelradgetriebe – Schneckengetriebe	12.2
Kraftübertragung, formschlüssige	16.2
Kraftübertragung, reibschlüssige	16.5
Kranfahrantriebe,	46
Kühlbettrollgang	47.1
Kühlkreisordnung, Kennziffer	25.4
Kühlmittel, Bewegungsart	25.6
Kühlmittel, Kennbuchstabe	25.5
Kühlverfahren (IC-Code)	25
kupferaktiv	3.4.6
Kupfer-Übertemperatur, Berechnung	36.3
Kurzzeitbetrieb S2	21
L	
Laufzeit bis zum Schmierstoffwechsel	17.3
Lebensdauerschmierung	17.4
Leistungsabgabe bei Getriebemotoren	15
Leistungsaufnahme	38.2
Leistungsbedarf, verschiedene Geschwindigkeiten	2.2
Leistungsbereich	4.3
Leistungsfaktor, Maßstab	5.7
Leistungsreihe	3.4.3
Leistungsschild mit internationalen Symbolen	29.1
Leistungssteigerung bei S2	21
M	
Materialaufwand	3.4.1
Maßbuchstabe	3.4.5
Maßmotor	3.4
maximale Materialausnützung	3.4.8
Mehrspannungsauslegung	5.4
Mindestfrequenz	44.1
Montagefehler, bei Halbkeilwuchtung	33.7
Motor, Überlastbarkeit	39.1
Motorgrößen, Zahl	4.6
Motorwicklung, Schutzmöglichkeiten	39.2
N	
Nebenschlussverhalten	8.1
NEMA	3.4.4
Netz 220 V, nicht gebräuchlich	5.10.1
Netzart, Bezeichnung	5.9
Netze, Norm	5.2.1
Netzfrequenz	29.3
Netzspannungen, Deutschland	5.1.1
Netzspannungen, Großbritannien, Australien, Indien	5.1.2
Netzspannungen, Nordamerika (Frequenz 60 Hz)	5.1.3

Netzspannungen, übliche	5.1
Netzspannungen, zwei	5.10
Neutralleiter	5
Normmotoren an Getrieben	3
NPT	30.11
O	
Oberflächenhärte	10.2
Oberschwingungen	44.5
Öffnungsweite, Gehäuse	24.4
Optimierung des Wirkungsgrades	3.4.8
P	
Part-winding-starting	30.5
Passfedervereinbarungen, üblich	33.1
Pause	19.1
Planscharbeit	15.1
Polumschaltung, Grenzen	43.3
Polumschaltung, zwei Drehzahlen	43
Polyglykole	17.4
Polygoneffekt	16.3
Preise	4.11
Preisvergleich Schneckengetriebe – Stirnradgetriebe	13.2
Premium Wirkungsgrad	9.4
Produktionsanteile der Getriebebauarten	13.2
progressive Reihe	3.4.8
Prüfungsschein	28.2
Q	
Querkraft, Höhe und Richtung	16.1
R	
Reaktionsmoment	11.2
Rechteck-Kennlinie, Rollgang	47.2.1
Reibrad	16.7
Reibungsleistung	6.2
Relative Einschaltdauer	19.1
Reluktanzmotor	45
RGW	3.8.4
Riemenantrieb	16.6
Ritzelsitz, Läuferwelle	10.1
Ritzelwelle	10.3
Rollgang, Anwendungsbeispiele	47.1
Rollgang, Anzugsmoment	47.2.1
Rollgang, Drehmomentbedarf	47.3
Rollgang, Kenndaten	47.2
Rollgang, Maximaldrehmoment	47.3.2
Rollgang, Mindestdrehmoment	47.3.1
Rollgang, Synchrondrehzahl	47.2.2

Rollgangantrieb	47
Rotation	16.1.2
S	
Schalldruckpegel	31.5
Schalleistungspegel	31.5
Schallpegel von Getriebemotoren	31.5
Schleifringläufermotor	46
Schlupf	38.4
Schlupf	44.1
Schlupfläufer, Kranfahrantrieb	46
Schlupfmessung, direkt	38.4.1.5
Schmierfrist	17.3
Schmierkeil, hydrodynamisch	17.2
Schmierstoffe, synthetische	17.4
Schmierung	17
Schneckengetriebe	15.2
Schneckengetriebe, rechtwinkliger Abtrieb	13
Schrägungswinkel	10.3
Schrumpfscheibenverbindung (SSV)	11.1.2
Schutzart (IP-Code)	24
Schutzarten, häufig verwendete	24.5
Schutzmöglichkeiten, Getriebe	40.2
Schwinggeschwindigkeit	32
Schwinggröße	32.5
Schwingstärke	32
Schwingungen	32
Sealed for life	17.4
Selbsthemmung	13
Spannungs-Frequenz-Verhältnis	44.2
Spannungsänderung, Betriebsverhalten	5.6
Spannungsangabe 230 V, Bedeutung	5.2.2
Spannungsbereich, Schreibweise	5.4.2
Spannungsbereich, Toleranz	5.4.3
Spannungsbereiche, Notwendigkeit	5.4.1
Spannungsschwankung, zulässige	5.3
Spannungsumschaltung, Δ/Δ 1:2	5.10.4
Spannungsumschaltung, Δ/Y 1:1,73	5.10.3
starre Aufstellung	32.3
Steckkupplung	3.2
Stirnradgetriebe	15.1
Stirnradgetriebe, zentraler Abtrieb	10
Stirn-Zahnräder	16.4
Störaussendung	34.1
Störfestigkeit	34.1
Stoßbeanspruchung, dynamische	40

Stroboskop	38.4.1.4
Stromkennlinie, vereinfachte	38.3
Stufen der Schwinggröße	32.5
Stromkosteneinsparung	12.2
Super-Premium Wirkungsgrad	9.4
T	
Temperaturanstieg bei S1	35.1
Temperaturindikatoren	37.3
Thermischer Beharrungszustand	20
Thermischer Beharrungszustand beim Erwärmungslauf	36
Transferantrieb	48,5
Translation	16.1.1
Trommelmotor	18
U	
<i>U/f</i> -Kennlinie	44.2
<i>U/f</i> -Kennlinien, Beispiele	44.3
Überlastungsreserve bei Feldschwächung	44.4
Übertemperatur, Grenzwert	36.3
Umlaufzählung	38.4.1.2
umrichter gespeiste Drehstrommotoren	44
Umweltschutz, Geräusch	31
US- Elektromotoren, Besonderheiten	30
US- Elektromotoren, wichtige Vorschriften	30.1
US-Abkürzungen	30.12
US-Anlassverfahren	30.5
US-Anschlussbezeichnung	30.3
US-Bauform und Aufstellung	30.7
US-Baugröße	30.8
US-Bemessungsspannung	30.2
US-Blockier-kVA (Code Letter)	30.9
US-Drehmoment-Charakteristik	30.10
US-Leitungseinführung in den Anschlussraum	30.11
US-Netzbezeichnung	30.2
US-Polumschaltung	30.4
US-Schaltzeichen für Schaltpläne	30.6
V	
Verbundteil, Anpassung	33.5
Verbundteile	33
Vergütung	10.2
Verschleißfestigkeit	10.2
Verstellbereich, Drehmoment-Reduzierung	44.5
Verstellgetriebe, mechanisch	42
Viskosität	17.1
Viskositäts-Index (VI)	17.4
Voll-Passfeder-Vereinbarung	33.3

STICHWORTVERZEICHNIS

Vorschriften, Ausland	29
Vorschriften, verbindliche	29.4
Vorspannung bei Riemen	16.5
W	
Wärmeabgabefähigkeit	35.2
Wärmekapazität	35.2
Wartungsintervall	17.4
Weitbereichswicklung	5.4
Weiterbetrieb an 400 V, Empfehlung	5.8
Weit Spannungsbereich, Grenzen und Risiken	5.5
Wellendurchmesser	4.9
Wellenstumpf, dicker	3.1.3
Wellenstumpf, langer	3.1.2
Welt-Normspannung nach DIN IEC 60038	5.2
Wendepole, EMV	34.3
Widerstandsverfahren	36.3
Wirkungsgrad	9
Wirkungsgrad, Auslastung	9.2
Wirkungsgrad, hoch, verbessert, normal	9.1
Wirkungsgrad, Motorgröße	9.2
Wirkungsgrade, Klasseneinteilung CEMEP	9.1
Wirkungsgrade, Klasseneinteilung IEC	9.4
Wuchtung, neue Festlegungen	33.2
Z	
Zähigkeit eines Öls	17.1
Zahneingriff	3.1.2
Zahneingriffsfrequenz	3.1.3
Zahnrad-Getriebe	1.5
Zahnradwerkstoff und Härte	10.2
Zahnschrägung	10.3
Zeitählung	38.4.1.2
Zertifizierung	28.2
Zufuhrrollgang	47.1
Zugmittel-Getriebe	1.2
Zündschutzarten	28.3
Zusatzbuchstaben, Berührungsschutz	24.4



Getriebemotoren sind ein erheblicher Faktor der Antriebstechnik; je nach Branche wird ihr Anteil auf 25 ... 75 % des jeweiligen Bestands an Elektromotoren geschätzt. Sie werden mit Bemessungsleistungen bis zu etwa 100 kW und mit Drehzahlen von weniger als 1 r/min bis unter etwa 750 r/min aus einem konstruktiven Baukasten in Serie gefertigt und in Katalogen angeboten.

Als »prime mover« wird meist der Drehstrommotor in seinen verschiedenen Ausführungsarten benutzt. Zur stufenlosen Verstellung oder Regelung der Drehzahl dominiert die Frequenzverstellung über statische Umrichter – bei kleinen Leistungen bis derzeit 7,5 kW jetzt auch mit integriertem Umrichter als »Getriebe-Umrichtermotor«. Der Gleichstrom-Nebenschlussmotor ist weitgehend abgelöst. Die Anbaumaße der Motoren sind meist der Forderung nach möglichst kompakter Ausführung untergeordnet; es werden also fast keine »Normmotoren« verwendet. In allen anderen Belangen sind jedoch die weitreichenden Normen für elektrische Maschinen eingehalten.

Bei der Gestaltung und Ausnutzung der Getriebe bestehen im Vergleich zu den Motoren große Freiheitsgrade, die nur durch die optimale bauliche Anpassung an den Verwendungszweck und durch die Anforderungen an Zuverlässigkeit und Lebensdauer eines Qualitätsprodukts bestimmt werden. Neben dem in Deutschland mit etwa 40 % dominierenden Anteil der Stirnradgetriebe mit konzentrischem Abtrieb teilen sich die Bauarten Aufsteck-Flachgetriebe, Kegelfradgetriebe und Schneckengetriebe den Rest des Marktes etwa gleichmäßig.

Das Buch befasst sich in praxisnaher Form mit den Kriterien für Bemessung, Auswahl und Anwendung von Getriebemotoren – es gibt einen Teil der in mehr als 50 Jahren auf diesem Gebiet gesammelten Erfahrungen wider.

Danfoss Bauer GmbH

Eberhard-Bauer-Straße 36-60
73734 Esslingen
Telefon 0711 – 3 51 80
Telefax 0711 – 3 51 83 51

BAUER geared motors

The Gear Motor Specialist