

9 Grundlagen des elektrischen Antriebs

Elektromotoren sind die am häufigsten verwendeten Antriebe für Kreiselpumpen.

An erster Stelle stehen hierbei Drehstrommotoren, die für einen praktisch unbegrenzten Leistungsbereich zur Verfügung stehen.

Einphasen-Wechselstrommotoren kleiner Leistung werden nur dort vorgesehen, wo Drehstrom nicht zur Verfügung steht.

Gleichstrommotoren kommen nur dann zum Einsatz, wenn vom normalen Stromnetz unabhängige Notaggregate, z.B. Notschmierölpumpen, erforderlich sind um eine Anlage abzufahren bzw. im Notbetrieb weiter zu betreiben. Diese Motoren werden in der Regel von Akkumulatoren gespeist.

9.1 Elektrische Netze

9.1.1 Strom und Spannung

Ein elektrischer Strom entsteht durch die Bewegung negativ geladener Elementarteilchen, Elektronen, als elektrische Ladungsträger in metallischen Leitern, Halbleitern, Flüssigkeiten (Elektrolyten) und Gasen. Die konventionelle, willkürlich festgelegte, technische Stromrichtung verläuft vom (positiven) Plus- zum (negativen) Minuspol, entgegengesetzt zum Elektronenstrom.

Die elektrische Spannung ist die Ursache für den Stromfluss in einem Stromkreis.

Das Fließen eines elektrischen Stromes bedeutet die kontinuierlich gleichbleibende oder die schwingend wechselnde Bewegung von Ladungsträgern in einem Leiter.

9.1.2 Gleichstromnetze

Ein Strom von gleichbleibender Bewegungsrichtung bezeichnet man als Gleichstrom. Für die Erzeugung von Gleichstrom aus nichtelektrischen Energieformen stehen Gleichstromgeneratoren zur Verfügung. Da die öffentliche Energieversorgung jedoch ausschließlich mit Wechselstrom erfolgt, werden Gleichstromnetze über Gleichrichter (Stromrichter) aus dem Wechsel- oder Drehstromnetz gespeist oder für Notaggregate (z.B. Notschmierölpumpen) aus Akkumulatoren versorgt.

Gebräuchliche Bemessungsspannungen für Gleichstromnetze sind:

110, 220, 240, 440, 550 und 600 Volt sowie Kleinspannungen von 24 bis 60 V.

9.1.3 Wechselstrom - und Drehstromnetze

Ein Strom, dessen Bewegungsrichtung und dessen Stärke sich periodisch, meistens sinusförmig, zwischen einem positiven und einem negativen Scheitelwert ändert, bezeichnet man als Wechselstrom.

In einer Spule wird durch Drehung in einem homogenen Magnetfeld eine periodisch wechselnde Spannung induziert. Einer Drehung der Spule um 360° entspricht eine Periode der induzierten Wechselspannung. Dieser „elektro-magnetische Generator“ erzeugt somit einen Wechselstrom. Der Strom ist - im Gegensatz zum Gleichstrom - nach Größe und Richtung periodisch verschieden.

Ein Einphasensystem ist die einfachste Ausführung eines Wechselstromnetzes, in der Praxis werden jedoch Mehrphasensysteme bevorzugt. Standardsystem ist das Dreiphasen- oder Drehstromsystem.

Drehstrom (Dreiphasenstrom, Kraftstrom) ist die wichtigste Stromart der Elektroenergieversorgung. Er wird gebildet aus drei zeitlich um eine Drittelperiode (120°) gegeneinander phasenverschobenen Einphasenströmen und wird über drei (Dreileitersystem) oder vier Leiter (Vierleitersystem mit Nullleiter) übertragen. Neben der Spannung zwischen den Leitern (Leiterspannung, Dreieckspannung) steht noch die um den Faktor $\sqrt{3}$ kleinere Spannung (Sternspannung, Strangspannung) gegen Null (Erde) zur Verfügung. In Kraftwerken wird fast ausschließlich Drehstrom erzeugt. Für Beleuchtungsanlagen, kleine Elektromotoren und Elektrowerkzeuge wird Einphasenstrom zwischen einem Leiter des Drehstromnetzes und dem Sternpunktleiter abgegriffen.

Drehstrom - Niederspannungsnetze bestehen aus den drei Außenleitern L1, L2, L3 und dem Mittelleiter N. Der Mittelleiter ist am Sternpunkt des Generators oder Umspanners auf der Niederspannungsseite angeschlossen. Zwei Außenleiter allein oder ein Außenleiter mit Mittelleiter bilden ein einphasiges Wechselstromsystem.

Die Spannung zwischen zwei Außenleitern (L1, L2, L3) ist die Außenleiterspannung U_L (Netzspannung); die Spannung zwischen einem Außenleiter und dem Mittelleiter ist die Sternspannung U (Strangspannung).

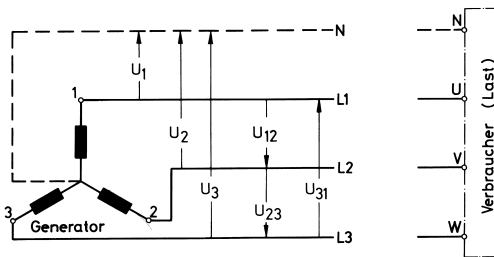


Abb. 9.01 Dreiphasen - oder Drehstromsystem

Wechselströme werden mit unterschiedlichen Frequenzen (Anzahl der Schwingungen je Sekunde) erzeugt. Das Formelzeichen der Frequenz ist f . Die Einheit der Frequenz ist Hertz (Hz). Das Verbundnetzsystem von Europa wird mit einer stabilen Frequenz von 50 Hz gefahren. Ausnahmen bilden einige lokale Netze von 42 Hz und das Fahrleitungsnetz der Deutschen Bahn mit $16 \frac{2}{3}$ Hz.

Außerhalb Europas sind auch Stromnetze mit 60 Hz üblich, wobei es jedoch auch Länder gibt in denen es abhängig vom Landesteil Stromnetze mit 50 Hz und 60 Hz gibt. Im Zweifelsfalle ist vor der Auslegung von Pumpen eine Rückfrage bezüglich der Frequenz erforderlich.

Tafel 9.01 Frequenzen außerhalb Europas

		Ausnahmen
Afrika	50 Hz	Liberia: 60 Hz
Amerika	60 Hz	Barbados, Chile, Jamaika, Paraguay, Uruguay: 50 Hz Bolivien, Guyana, Haiti: 50/60 Hz
Asien	50 Hz	Korea, Philippinen, Saudi-Arabien, Taiwan: 60 Hz Japan: 50/60 Hz
Australien und Neuseeland	50 Hz	

Elektrische Spannungen werden unterschieden in Kleinspannungen bis 42 V, Niederspannungen bis 1000 V und Hochspannungen > 1000 V. Kleinspannungen sind u.a. vorgeschrieben für Spielzeuge (bis 24 V) und Arbeitsleuchten in Kesseln und Behältern. Niederspannungen und Hochspannungen sind die üblichen Spannungen für elektrische Antriebe.

Tafel 9.02 Niederspannungen in Drehstromnetzen

Frequenz	Bemessungsspannung nach DIN IEC 38 (Spannungstoleranz $\pm 10\%$)	zulässiger Spannungsbereich nach DIN VDE 0530 bzw. DIN IEC 34-1 (zusätzliche Toleranz von $\pm 5\%$)
50 Hz	230V Δ / 400V Y	220...240V Δ / 380...420V Y
	400V Δ / 690V Y	380...420V Δ / 660...725V Y
60 Hz	460V Y	440...480V Y
	460V Δ	440...480V Δ

Tafel 9.03 Hochspannungen (Auswahl)

50 Hz		3 kV		6 kV	6,6 kV		10 kV	
60 Hz	2,4 kV		4,8 kv			6,9 kV		12 kV

9.2 Elektromotoren

Elektromotoren sind elektrische Maschinen zur Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Arbeit. In den Motoren werden die Kraftwirkungen, die ein Magnetfeld auf stromdurchflossene Leiter ausübt und die dadurch bewirkten Drehmomente ausgenutzt. Elektromotoren bestehen aus einem feststehenden Teil (Ständer oder Stator) und einem drehbaren Teil (Läufer oder Rotor) mit Antriebswelle. Läufer und Ständer sind bei der üblichen Ausführung durch einen Luftspalt getrennt.

Abhängig von der verfügbaren oder gewählten Art des Stromnetzes kommen für den Antrieb von Kreiselpumpen infrage:

- Gleichstrommotoren
- Einphasen-Wechselstrommotoren
- Drehstrommotoren

9.2.1 Gleichstrommotoren

Gleichstrommotoren werden ausgeführt als

- Nebenschlussmotor
- Reihenschlussmotor
- Doppelschlussmotor
- fremderregter Nebenschlussmotor (Dauermagnetmotor)

Für den Antrieb von Kreiselpumpen kommen ausschließlich Nebenschlussmotoren infrage.

Bei dem Gleichstrom-Nebenschlussmotor sind die Erreger (Ständer) - und die Anker (Läufer) - wicklungen parallel an das Gleichstromnetz angeschlossen.

Gegenüber den anderen Gleichstrommotorbauarten hat der Nebenschlussmotor den Vorteil, dass die Drehzahl nahezu lastunabhängig ist.

Die Einsatzgebiete des Gleichstrom - Nebenschlussmotors als Kreiselpumpenantrieb beschränken sich auf Sonderfälle wie Antriebe auf Fahrzeugen und Schiffen und Antrieb von Notaggregaten wie z.B. Notschmierölpumpen. Als Energiequelle kommen Gleichstromgeneratoren, Gleichrichter oder Akkumulatoren infrage.

9.2.2 Einphasen-Wechselstrommotoren

Einphasen-Wechselstrommotoren werden für kleine Leistungen bis etwa 5 kW gebaut. Sie werden einphasig an ein Wechselstromnetz angeschlossen. Die gebräuchlichste Betriebsspannung hierfür ist 230V. Ein einphasiger Anschluss an ein Drehstromnetz ist ebenfalls möglich. Die Betriebsspannung entspricht dann der Sternspannung (Strangspannung U).

Durch das einphasige Wechselfeld ist für den Motor keine eindeutige Drehrichtung gegeben, er läuft daher aus dem Stillstand nicht selbst an.

Um eine eindeutige Drehrichtung festzulegen, wird im Ständer eine Hilfswicklung (Anlaufwicklung) angebracht, deren Strom über einen Kondensator zur Ständerwicklung phasenverschoben wird. So ergibt sich ein eindeutiges magnetisches Drehfeld, der Motor läuft immer in der vorgegebenen Drehrichtung an.

Für Kreiselpumpenantriebe genügt in der Regel die Ausführung mit einem Betriebskondensator. Das Anzugsmoment des Motors beträgt hierbei das 0,3- bis 0,4-fache des Nennmoments. Falls dies nicht ausreicht, ist eine Ausführung mit Betriebs- und Anlaufkondensator möglich. Das Anzugsmoment bei dieser Ausführung beträgt das 1,5- bis 1,8-fache des Nennmoments. Der Anlaufkondensator wird nach dem Hochlauf durch einen Fliehkraftschalter abgeschaltet.

9.2.3 Drehstrommotoren

Drehstrommotoren werden sowohl als Niederspannungsmotoren als auch als Hochspannungsmotoren ausgeführt. Die Leistungsgrenze für Niederspannungsmotoren liegt bei etwa 800 kW. Hochspannungsmotoren werden ab etwa 160 kW gebaut, aber das Haupteinsatzgebiet liegt im Leistungsbereich von 1 bis 11 MW.

Drehstrommotoren werden gebaut als:

- Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer
- Asynchronmotor mit Schleifringläufer
- Synchronmotor

9.2.3.1 Drehstrom-Asynchronmotoren mit Kurzschlussläufer

Diese Motorenart wird weitaus am häufigsten als Kreiselpumpenantrieb benutzt. Die Betriebseigenschaften genügen in der Regel den Anforderungen und der mechanische Aufbau kann an Einfachheit kaum unterboten werden. Der Läufer (Rotor) benötigt keine Stromzuführung, er kommt also ohne Kommutatoren, Schleifringe und Bürsten aus. Außer an den beiden Lagern ergeben sich keine Abnutzungen.

Die Anbaumaße und die Leistungszuordnung der meistverwendeten Baugrößen sind in Abhängigkeit von den Bauformen und Schutzarten genormt, so dass eine Planung von Antrieben mit diesen Motoren ohne spezielle Herstellerunterlagen möglich ist.

Der elektrische Teil des Motors besteht aus dem Ständer (Stator) und dem Läufer (Rotor). Der Ständer aus geschichtetem Eisenblech trägt eine in Nuten liegende Drehstromwicklung. In den Nuten des Läufers liegen Leiterstäbe aus Kupfer oder Aluminium, die auf den Stirnseiten durch Kurzschlussringe (Kurzschlussläufer) zu einem Käfig (Käfigläufer) verbunden sind. Für die Charakterisierung dieser Motoren sind daher auch die Bezeichnungen „Kurzschlussläufermotor“ oder „Käfigläufermotor“ üblich. Die Stränge der Ständerwicklung können in „Stern“ (Y) oder „Dreieck“ (Δ) geschaltet sein oder die Enden der drei Wicklungsstränge werden zu einem Stern-Dreieckschalter geführt. Näheres hierzu siehe Abschnitt 9.4.1.

Wird die Ständerwicklung an ein Netz mit einer festen Spannung und Frequenz angeschlossen, so entsteht ein magnetisches Drehfeld, das gegenüber dem stillstehenden Ständer mit der Synchrondrehzahl

$$n_{\text{syn}} = \frac{f}{p} \cdot 60 \quad \text{in 1/min}$$

mit f = Netzfrequenz in Hz

p = Polpaarzahl der Ständerwicklung

umläuft. Dieses Drehfeld induziert in den Leitern der Läuferwicklung Spannungen und je nach der Größe der in diesem Kreis wirksamen Widerstände Läuferströme. Drehfeld und Läuferstrom sind die notwendigen Voraussetzungen für die Bildung des Drehmomentes. Dies bedeutet, dass der Läufer nicht die Drehzahl des Drehfeldes erreichen kann, da zur Erzeugung des Läuferstromes die Leiter der Läuferwicklung die Kraftlinien des Drehfeldes schneiden müssen. Der Läufer läuft daher asynchron (Asynchronmotor), d.h. mit einer Abweichung zur synchronen Drehzahl.

Die notwendige Abweichung, der Schlupf s , wird in % der Synchrondrehzahl angegeben.

$$s = \frac{n_{\text{syn}} - n}{n_{\text{syn}}} \cdot 100 \text{ in } \%$$

Die Motordrehzahl (Asynchrondrehzahl) ergibt sich damit zu:

$$n = n_{\text{syn}} \left(1 - \frac{s}{100}\right) \quad \text{in 1/min}$$

Tafel 9.04 Synchrondrehzahlen n_{syn} in 1/min bei $f = 50$ und 60 Hz für verschiedene Polzahlen

Polzahl	2	4	6	8	10	12	14	16	18
50 Hz	3000	1500	1000	750	600	500	428	375	333
60 Hz	3600	1800	1200	900	720	600	514	450	400

Mit steigender Belastung des Motors ist ein größerer Läuferstrom erforderlich, der Schlupf steigt an und die Motordrehzahl nimmt ab. Der erforderliche Schlupf bei Nennleistung ist ferner von der Motorbaugröße abhängig und nimmt mit steigender Größe ab. Im Leerlauf hat der Motor nur geringe Eigenverluste zu überwinden, wofür ein kleines Drehmoment genügt. Bei unbelastetem Motor liegt die Motordrehzahl daher nahe der Synchrondrehzahl.

Tafel 9.05 Schlupf s_N für verschiedene Nennleistungen (Richtwerte)

Nennleistung kW	1	10	100	1000
Schlupf s_N %	6 - 9	3 - 4	0,7 - 1,6	0,5 - 0,8

Der niedrige Wert gilt für 2-polige, der höhere Wert für 8-polige Elektromotoren

Die genauen Nenndrehzahlen bei Nennleistung sind den Unterlagen der Motorhersteller zu entnehmen.

Für den Hochlauf des Asynchronmotors mit Kurzschlussläufer von $n = 0$ auf Nenndrehzahl n_N bei gegebener Last sind die Größe des Anzugs (Anlauf) - momentes und der Verlauf des Drehmomentes in Abhängigkeit von der Drehzahl von Bedeutung. Der Kurvenverlauf wird dabei wesentlich von der konstruktiven Ausführung des Läufers (Gestaltung der Läuferstäbe) bestimmt. Die große Zahl von Ausführungsformen und Bezeichnungen lässt sich dabei grundsätzlich auf drei Läuferarten: Rundstabläufer, Hochstabläufer und Doppelstabläufer zurückführen.

Abhängig von der Polzahl und der Baugröße der Motoren werden Drehstrommotoren mit verschiedenen Läuferausführungen (Läuferklassen) und entsprechend unterschiedlichen Drehmomentenkennlinien geliefert. Bei Kreiselpumpen mit ihrem quadratischen Drehmomentverlauf spielen die verschiedenen Läuferausführungen in der Regel keine Rolle beim Anfahren der Pumpen. Es steht in jedem Fall ein ausreichendes Beschleunigungsmoment M_{bmi} zur Verfügung.

M_A	Anzugsmoment
M_K	Kippmoment
M_L	Lastmoment
M_m	Motormoment
M_N	Nennmoment
M_S	Sattelmoment
n_N	Nenn Drehzahl
n_{syn}	Synchron Drehzahl

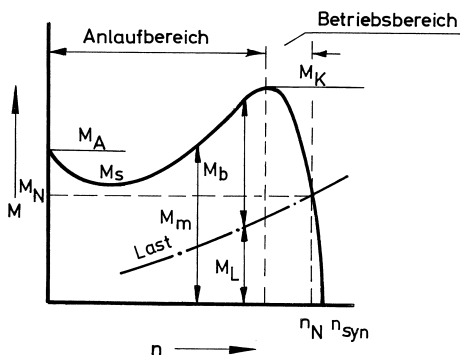


Abb. 9.02 Charakteristischer Drehmomentenverlauf von Kurzschlussläufermotoren

9.2.3.2 Sonderbauarten der Drehstrom-Asynchronmotoren mit Kurzschlussläufer

Für einige Anwendungsfälle sind Sonderbauarten von Motoren entwickelt worden, die zusammen mit dem Pumpenteil eine kompakte Einheit bilden.

Solche Motoren sind:

- Tauchmotoren
- Spaltrohrmotoren
- Unterwassermotoren

Der **Tauchmotor** hat ein von außen benetzbares Motorgehäuse, so dass seine Motorwärme an die Förderflüssigkeit, in die das Pumpenaggregat eintaucht, abgegeben werden kann. Die Motoren sind mit Luft oder Öl gefüllt und gegen die Förderflüssigkeit abgedichtet. Die Motoren sind häufig so ausgelegt, dass sie auch betrieben werden können wenn das Motorgehäuse nur gelegentlich oder nur zum Teil von außen benetzt wird. Die Motoren werden eingesetzt für den Antrieb vertikaler Tauchpumpen wie z.B. Schmutzwasser-, Abwasser- und Kühlwasserpumpen.

Der **Spaltrohrmotor** ist ein Nassläufermotor mit trockener Statorwicklung. Durch korrosionsbeständige dünnwandige zylindrische Rohre (Spaltröhre) wird die Statorwicklung und meistens auch der Rotor gegen die Förderflüssigkeit im Rotorraum abgedichtet. Spaltrohrmotor und Pumpe bilden ein wellendichtungsloses Pumpenaggregat (Spaltrohrmotorpumpe). Spaltrohrmotorpumpen werden als Chemiepumpen und Heizungsumwälzpumpen eingesetzt. Näheres hierzu siehe Abschnitt 4.11.2, Seite 152.

Der **Unterwassermotor** ist ein Nassläufermotor mit nasser Statorwicklung. Der Motor ist vollständig mit Flüssigkeit, meistens Wasser gelegentlich auch Öl, gefüllt. Der Motor dient zum Antrieb von Unterwassermotorpumpen die in engen Brunnen oder Bohrlöchern (4-, 6-, oder 8-Zoll Nennweite) installiert werden.

9.2.3.3 Drehstrom - Asynchronmotoren mit Schleifringläufer

Dieser Motor wird anstelle eines Drehstrom - Asynchronmotors mit Kurzschlussläufer gewählt

- bei Notwendigkeit eines hohen Anzugsmomentes
- bei Forderung eines Hochlaufs ohne Stoßbelastung des Netzes

Da bei einem Kreiselpumpenantrieb diese beiden Forderungen nicht relevant sind ist der Schleifringläufermotor aus diesen Gründen nicht erforderlich.

Als Antrieb für Kreiselpumpen wird der Schleifringläufermotor in einigen Fällen eingesetzt, wenn bei großen Leistungen eine Drehzahlregelung erforderlich ist. In Verbindung mit einer untersynchronen Stromrichteraskade ist hierfür eine wirtschaftliche Lösung möglich. Siehe hierzu auch Abschnitt 9.6.1.3, Seite 239.

Der Schleifringläufer hat eine Drehstromwicklung derselben Polpaarzahl und mit ähnlichem Aufbau wie der Stator. Die Wicklung wird über Schleifringe mit veränderbaren Widerständen verbunden. Durch Vergrößerung des Gesamtwiderstandes im Läuferkreis können das Anzugsmoment und das Drehmoment während des Hochlaufs verändert werden. Durch die Schleifringbauart verliert dieser Asynchronmotor sowohl an Einfachheit als auch an Betriebssicherheit, er ist gegenüber dem Asynchronmotor mit Käfigläufer teurer und seine Bürsten und Schleifringe bedürfen einer Wartung. Ist der Motor zugänglich, so lässt sich die im Betrieb auftretende Bürsten- und Schleifringabnutzung mit einer Kurzschluss- und Bürstenabhebe-Vorrichtung vermeiden. Die Motoren werden auch mit einer Bürstenüberwachung mit analoger Längenmessung und Endabschaltung durch Mikroschalter ausgeführt.

9.2.3.4 Drehstrom - Synchronmotoren

Die Verwendung eines Synchronmotors als Kreiselpumpenantrieb ist eine Frage der Kosten (Investitionen), des Netzes (Blindstromkompensation) und des Einsatzgebietes der Pumpe. Der Aufwand für den Anlauf, für die Synchronisierung, zur Erregung und Steuerung ist nur bedingt von der Motorgröße abhängig und fällt mit steigendem Motorwert zunehmend weniger ins Gewicht. Synchronmotoren kosten je nach Leistung zwischen 10 und 40% mehr als Asynchronmotoren. Dem stehen die Vorteile der Synchronmaschine - Möglichkeit der Blindstromkompensation, hoher Wirkungsgrad - gegenüber, sodass ein wirtschaftlicher Einsatz im obersten Leistungsbereich der Kreiselpumpenantriebe, etwa ab 8 - 10 MW, gegeben ist.

Synchrongeneratoren können auch als Synchronmotoren betrieben werden. So dienen derartige Maschinen in Speicherkraftwerken als Antrieb bei Pumpbetrieb.

9.3 Ausführung der Elektromotoren

9.3.1 Bauformen




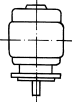
Die Bauformen drehender elektrischer Maschinen und ihre Aufstellung sind gemäß DIN EN 60034-7 genormt. Diese Norm entspricht auch IEC 34-7 und der Klassifikation VDE 0530, Teil 7.

Das Bezeichnungssystem wird als IM-Code (IM = International Mounting) spezifiziert. Es sind zwei Bezeichnungssysteme wie folgt vorgesehen:

- Code I: Eine alphanumerische Bezeichnung, anwendbar für Motoren mit Lagerschildlagern und nur einem Wellenende
- Code II: Eine rein numerische Bezeichnung, anwendbar für einen größeren Bereich von Motoren einschließlich dem des Codes I

Die gebräuchlichsten Bauformen für Elektromotoren zum Antrieb von Kreiselpumpen sind in der folgenden Tabelle bezeichnet und beschrieben.

Tabelle 9.06 Bauformen elektrischer Maschinen

Code I	Code II	Bild	Ausführung
Maschinen mit horizontalen Wellen			
IM B3	IM 1001		2 Schildlager, Gehäuse mit Füßen, Fußaufstellung, Füße unten
IM B35	IM 2001		2 Schildlager, Gehäuse mit Füßen, Flanschlagerschild auf der Antriebsseite, Fußaufstellung, Füße unten, mit zusätzlichem Flanschanbau
IM B5	IM 3001		2 Schildlager, Gehäuse ohne Füße, Flanschlagerschild auf der Antriebsseite, Flanschanbau Es wird empfohlen, diese Bauform nur bis zur Baugröße 200 (37kW, 2-polig; 30kW, 4-polig) einzusetzen. Für größere Leistungen kann die Bauform IM B35 vorgesehen werden.
Maschinen mit vertikalen Wellen			
IM V1	IM 3011		2 Schildlager, Flanschlagerschild auf der Antriebsseite, Flanschanbau, Antriebsseite unten Bei dieser Bauform ist die Ausführung „mit Schutzdach“ zu empfehlen. Bei explosionsgeschützten Motoren ist die Ausführung „mit Schutzdach“ vorgeschrieben.

9.3.2 Schutzarten für elektrische Betriebsmittel

9.3.2.1 IP - Code

Der IP-Code (IP = International Protection) beschreibt die Schutzarten durch Gehäuse für den Berührungs-, Fremdkörper- und Wasserschutz gemäß DIN EN 60034-5 und IEC 34-5.

Die Schutzarten umfassen

- den Schutz von Personen gegen Berühren von betriebsmäßig unter Spannung stehenden Teilen oder gegen Annähern an solche Teile sowie gegen Berühren sich bewegender Teile innerhalb von Gehäusen und Schutz der Betriebsmittel gegen Eindringen von festen Fremdkörpern (Berührungs- und Fremdkörperschutz).
- den Schutz der Betriebsmittel gegen schädliches Eindringen von Wasser
- (Wasserschutz).

Die Schutzarten werden durch ein Kurzzeichen angegeben, das sich aus den zwei stets gleichbleibenden Kennbuchstaben IP und zwei nachfolgenden Kennziffern für die Schutzgrade zusammensetzt.

Tafel 9.07 Erste Kennziffer für den Berührungs- und Fremdkörperschutz

Erste Kennziffer	Schutzgrad (Berührungs- und Fremdkörperschutz)
0	Kein besonderer Schutz
1	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern größer als 50mm Kein Schutz gegen absichtlichen Zugang
2	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern größer als 12mm Fernhalten von Fingern oder ähnlichen Gegenständen
3	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern größer als 2,5mm Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem
4	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern größer als 1mm Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem
5	Schutz gegen schädliche Staubablagerungen. Das Eindringen von Staub ist nicht vollkommen verhindert; aber der Staub darf nicht in solchen Mengen eindringen, dass die Arbeitsweise des Betriebsmittels beeinträchtigt wird (staubgeschützt) Vollständiger Berührungsschutz
6	Schutz gegen Eindringen von Staub (staubdicht) Vollständiger Berührungsschutz

Tafel 9.08 Zweite Kennziffer für den Wasserschutz

Zweite Kennziffer	Schutzgrad (Wasserschutz)
0	Kein besonderer Schutz
1	Schutz gegen tropfendes Wasser, das senkrecht fällt Es darf keine schädliche Wirkung haben (Tropfwasser)
2	Schutz gegen tropfendes Wasser, das senkrecht fällt Es darf bei einem bis zu 15° gegenüber seiner normalen Lage gekippten Gehäuse keine schädliche Wirkung haben (Schrägfalles Tropfwasser)
3	Schutz gegen Wasser, das in einem beliebigen Winkel bis 60° zur Senkrechten fällt Es darf keine schädliche Wirkung haben (Sprühwasser)
4	Schutz gegen Wasser, das aus allen Richtungen gegen das Gehäuse spritzt Es darf keine schädliche Wirkung haben (Spritzwasser)
5	Schutz gegen einen Wasserstrahl aus einer Düse, der aus allen Richtungen gegen das Gehäuse gerichtet wird Er darf keine schädliche Wirkung haben (Strahlwasser)
6	Schutz gegen schwere See oder starken Wasserstrahl Wasser darf nicht in schädlichen Mengen in das Gehäuse eindringen (Überfluten)
7	Schutz gegen Wasser, wenn das Gehäuse unter festgelegten Druck- und Zeitbedingungen in Wasser getaucht wird Wasser darf nicht in schädlichen Mengen eindringen (Eintauchen)
8	Das Gehäuse ist geeignet zum dauernden Untertauchen in Wasser bei Bedingungen, die durch den Hersteller zu beschreiben sind (Eintauchen)

Die Standardausführung für Drehstrommotoren ist die Schutzart IP 55.

9.3.2.2 IK - Code

Der IK-Code beschreibt die Schutzarten durch Gehäuse gegen äußere mechanische Beanspruchungen gemäß DIN EN 50102, Klassifikation VDE 0470, Teil 100.

Die Schutzarten werden durch ein Kurzzeichen angegeben, das sich aus den zwei stets gleichbleibenden Kennbuchstaben IK und zwei nachfolgenden Kennziffern für die Schutzgrade zusammensetzt.

Tafel 9.09 Schutzgrade für den mechanischen Schutz

IK-Code	Beanspruchungs- energie Schockprüfung mit	IK-Code	Beanspruchungs- energie Schockprüfung mit
01	0,15 J	06	1 J
02	0,20 J	07	2 J
03	0,37 J	08	5 J
04	0,50 J	09	10 J
05	0,70 J	10	20 J

Die Standardausführung von Drehstrommotoren ist die Schutzart IK 08.

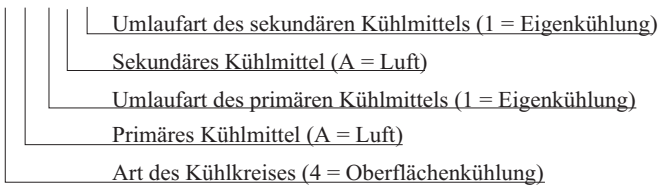
9.3.3 Kühlarten

Der IC-Code (IC = International Cooling) legt gemäß DIN EN 60034-6 und IEC 34-6 die Bezeichnung der Kühlarten fest. Die Norm lässt zwei Bezeichnungen nämlich erstens eine allgemeine Form und zweitens eine vereinfachte Form zu.

Beispiel:

allgemeine Form:

IC 4 A 1 A 1



einfache Form:

Wenn keine Verwechslungsmöglichkeit besteht, kann der Buchstabe A für Luft entfallen. Durch diese Verkürzung erhält man die vereinfachte Form:

IC 411

Die standardmäßige Ausführung von Drehstrommotoren der Schutzart IP 55 ist die Kühlart IC 411. Diese Kühlart entspricht der Ausführung eines oberflächengekühlten Motors mit einem belüfteten glatten oder mit Kühlrippen versehenem Gehäuse und mit einem auf der Welle montierten externen Lüfter.

9.3.4 Isolation

Die für die Isolation der Wicklungen verwendeten Isolierstoffe sind gemäß IEC 34-1 in Wärmeklassen eingeteilt.

Tafel 9.10 Erwärmung (ΔT) und maximale Temperaturen an den heißesten Punkten der Wicklung (T_{\max}) gemäß den Wärmeklassen der Norm IEC 34-1

Isolierstoff	ΔT gemessen nach der Widerstandsmethode	T_{\max} bei einer Kühlmitteltemperatur von 40 °C
Klasse B	80 K	125 °C
Klasse F	105 K	155 °C
Klasse H	125 K	180 °C

In der Regel sind Drehstrommotoren mit einer Isolation der Wärmeklasse F ausgeführt.

9.4 Betrieb der Elektromotoren

9.4.1 Betriebswerte

9.4.1.1 Leistung

Die Auswahl der Motoren erfolgt nach der in Auswahltabellen angegebenen Bemessungsleistung.

Die Bemessungsleistung ist die an der Motorwelle verfügbare mechanische Leistung. Sie soll dem Leistungsbedarf der Pumpe angepasst sein. Siehe hierzu auch Abschnitt 1.7.4, Seite 40.

9.4.1.2 Leistungsaufnahme, Wirkungsgrad und Leistungsfaktor von Drehstrom-Asynchronmotoren

Die Leistungsaufnahme eines Elektromotors - als Produkt des Leiterstromes und der dazugehörigen Leiterspannung - ist wegen der Verlustleistung größer als die abgegebene Leistung. Ein Drehstrommotor ist ein Verbraucher mit einer Kombination von Wirk- und Blindwiderständen. Dies bewirkt eine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom, wobei der Strom der Spannung um den Winkel φ nacheilt. Für die Berechnung der Leistungsaufnahme ist daher nur der mit der Spannung phasengleiche Wirkstrom zu berücksichtigen und man erhält als Wirkleistung

$$P_w = \frac{I \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}}{1000} \quad \text{in kW}$$

Aus der Wirkleistung kann die Stromaufnahme errechnet werden

$$I = \frac{P_w \cdot 1000}{U \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}} \quad \text{in Ampere (A)}$$

Der Motorwirkungsgrad η gibt das Verhältnis der von einem Elektromotor abgegebenen Leistung P_M (mechanische Leistung an der Welle) zur aufgenommenen Leistung P_w (Wirkleistung) an.

$$\eta = \frac{P_M}{P_w} \cdot 100 \text{ in \%}$$

Somit ergibt sich für die abgegebene Leistung an der Welle

$$P_M = \frac{I \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3} \cdot \eta}{1000 \cdot 100} \quad \text{in kW}$$

Für die Stromaufnahme gilt

$$I = \frac{P_M \cdot 1000 \cdot 100}{\cos \varphi \cdot \eta \cdot U \cdot \sqrt{3}} \quad \text{in Ampere (A)}$$

Das Produkt aus Leiterspannung und messbarem Strom stellt die Scheinleistung P_s dar, eine reine Rechengröße ohne physikalische Bedeutung, da U und I zu verschiedenen Zeiten auftreten.

$$P_s = \frac{I \cdot U \cdot \sqrt{3}}{1000} \quad \text{in Kilovoltampere (kVA)}$$

Zum Aufbau des magnetischen Feldes, d.h. zur „Magnetisierung“ des Motors wird elektrische Leistung benötigt, die jedoch nicht in mechanische Leistung umgewandelt wird. Es findet nur ein dauernder Austausch zwischen Feldwicklung und Netz statt. Diese sogenannte Blindleistung P_b errechnet sich aus der geometrischen Subtraktion der Wirk- und der Scheinleistung.

$$P_b = P_s^2 - P_M^2 = \frac{I \cdot U \cdot \sin \varphi \cdot \sqrt{3}}{1000} \quad \text{in Kilovoltampere reaktiv (kvar)}$$

Der bei der Berechnung der Wirkleistung auftretende Faktor „ $\cos \varphi$ “ wird Leistungsfaktor genannt und gibt das Verhältnis der Wirkleistung zur Scheinleistung an.

$$\cos \varphi = \frac{P_w}{P_s}$$

Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ ist somit ein Maß für den Anteil der Scheinleistung, der in eine andere Energieform umgesetzt wird, und somit eine Art Ausnutzungsfaktor.

Allgemein kann gesagt werden, dass Wirkungsgrad und Leistungsfaktor

- mit steigender Motornennleistung zunehmen
- mit fallender Motorbelastung abnehmen

Dies ist bei der Auswahl eines Motors zu beachten, da bei Einrechnung übertrieben hoher Sicherheitszuschläge in den Leistungsbedarf der Pumpe der Motor dauernd im Teillastgebiet läuft und damit bei ungünstigerem Wirkungsgrad und Leistungsfaktor.

Die in den folgenden Tafeln enthaltenen Werte für den Leistungsfaktor und den Wirkungsgrad sind Richtwerte und können je nach Motorhersteller abweichen.

Mit diesen Werten kann auch die abgegebene Leistung eines Motors aufgrund der aufgenommenen Stromstärke und der Spannung überschläglich errechnet werden.

Eine alleinige Messung der aufgenommenen Stromstärke während des Betriebes zwecks Überwachung des Kreiselpumpenaggregates kann somit lediglich der Feststellung dienen, ob der Motor innerhalb seines Betriebsbereiches gefahren wird. Dies kann dann wichtig sein, wenn die Gefahr besteht, dass sich durch ungewollte Einflüsse, durch Änderung der Betriebsverhältnisse oder Verschleiß in der Pumpe der Leistungsbedarf der Pumpe nennenswert gegenüber den Auslegungsdaten ändert. Bevor der Motorschutz anspricht und den Motor abschaltet, können bereits Maßnahmen getroffen werden, um eine Überschreitung der zulässigen Bemessungsleistung des Motors zu verhindern und Betriebsstörungen zu vermeiden.

Tafel 9.11 Leistungsfaktoren $\cos \varphi$ für verschiedene Nennleistungen (Richtwerte)

Nennleistung kW	1	10	100	1000
Leistungsfaktor $\cos \varphi$	0,81 - 0,84	0,84 - 0,85	0,86 - 0,88	0,89 - 0,93

Der niedrige Wert gilt für 4-polige, der höhere Wert für 2-polige Elektromotoren

Tafel 9.12 Abhängigkeit des Leistungsfaktors $\cos \varphi$ von der Belastung bei Teillast von

1/2 der Volllast	3/4	4/4	5/4	1/2 der Volllast	3/4	4/4	5/4
0,86	0,90	0,92	0,92	0,69	0,79	0,83	0,84
0,85	0,89	0,91	0,91	0,67	0,77	0,82	0,83
0,83	0,88	0,90	0,90	0,66	0,76	0,81	0,82
0,80	0,86	0,89	0,89	0,65	0,75	0,80	0,81
0,78	0,85	0,88	0,88	0,63	0,74	0,79	0,80
0,76	0,84	0,87	0,87	0,61	0,72	0,78	0,80
0,75	0,83	0,86	0,86	0,59	0,71	0,77	0,79
0,73	0,81	0,85	0,86	0,58	0,70	0,76	0,78
0,71	0,80	0,84	0,85	0,56	0,69	0,75	0,78

Die Werte bei 4/4-Last = Bemessungsleistung können den Unterlagen der Motorenhersteller entnommen werden. Die Teillastwerte sind Durchschnittswerte.

Nach DIN EN 60034 gilt folgende Toleranz: $-\frac{1 - \cos \varphi}{6}$

mit der Maßgabe: mindestens 0,02 höchstens 0,07

Tafel 9.13 Wirkungsgrade η_N in % für verschiedene Nennleistungen (Richtwerte)

Nennleistung kW	1	10	100	1000
Wirkungsgrad η_N %	74 - 76	85 - 87	94 - 95	96 - 97

Der niedrige Wert gilt für 4-polige, der höhere Wert für 2-polige Elektromotoren

Tafel 9.14 Abhängigkeit des Wirkungsgrades η % von der Belastung bei Teillast von

1/2 der Volllast	3/4	4/4	5/4	1/2 der Volllast	3/4	4/4	5/4
96	97	97	96,5	81	82	82	80,5
95	96	96	95,5	80	81	81	79,5
93,5	95	95	94,5	79	80	80	78,5
92,5	94	94	93,5	77	79,5	79	77,5
91,5	93	93	92,5	75,5	78,5	78	76,5
91	92	92	91,5	74	77,5	77	75
90	91	91	90	73	76	76	74
89	90	90	89	72	75	75	73
88	89	89	88	71	74	74	72
87	88	88	87	70	73	73	71
86	87	87	86	68	72	72	70
85	86	86	85	67	71	71	69
84	85	85	83,5	66	70	70	68
83	84	84	82,5	65	69	69	67
82	83	83	81,5	64	67,5	68	66

Die Werte bei 4/4 - Last = Bemessungsleistung können den Unterlagen der Motorenhersteller entnommen werden. Die Teillastwerte sind Durchschnittswerte.

Nach DIN EN 60034 gilt folgende Toleranz:

$$\text{bei } P_N \leq 50 \text{ kW} \quad - 0,15 (1 - \eta)$$

$$\text{bei } P_N > 50 \text{ kW} \quad - 0,1 (1 - \eta)$$

Dabei ist η als Dezimalzahl einzusetzen.

9.4.2 Aufstellungsbedingungen

Die in Auswahltabellen angegebenen Nenn- bzw. Bemessungsleistungen gelten nur für bestimmte Aufstellungsbedingungen vor Ort.

Die Bemessungsleistung gilt bei einer Kühlmitteltemperatur (KT) von 40 °C und einer Aufstellungshöhe (AH) bis 1000 m über NN.

Für andere Aufstellungsbedingungen ist die Bemessungsleistung laut Auswahltablelle mit den in der folgenden Tafel aufgeführten Korrekturfaktoren zu multiplizieren.

Tafel 9.15 Korrekturfaktoren für Aufstellungshöhe (AH) und Kühlmitteltemperatur (KT)

Aufstellungshöhe (AH) über NN in m	Kühlmitteltemperatur in °C					
	< 30	30-40	45	50	55	60
1000	1,07	1,00	0,96	0,92	0,87	0,82
1500	1,04	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79
2000	1,00	0,94	0,90	0,86	0,82	0,77
2500	0,96	0,90	0,86	0,83	0,78	0,74
3000	0,92	0,86	0,82	0,79	0,75	0,70
3500	0,88	0,82	0,79	0,75	0,71	0,67
4000	0,82	0,77	0,74	0,71	0,67	0,63

Bei schwierigen klimatischen Aufstellungsbedingungen, wenn z.B. die Umgebungstemperatur $< -40\text{ °C}$ ist oder wenn die relative Luftfeuchtigkeit $> 95\%$ ist, wäre eine Stillstandsheizung des Motors zu empfehlen. Mit dieser kann eine mittlere Motortemperatur gehalten werden, die ein problemloses Einschalten ermöglicht. Außerdem können Probleme durch Kondensationswasser im Motor mit einem Verlust an Isolationsfestigkeit der Wicklungen vermindert werden.

Bei einer andauernden relativen Luftfeuchtigkeit von 90 bis 100% ist eine Imprägnierung der Wicklungen mit einem tropfenfesten Imprägniermittel nötig, die einen vollkommnen Tropenschutz bietet.

9.4.3 Einfluss der Änderung von Netzspannung und Frequenz auf die Betriebseigenschaften der Drehstrom-Asynchronmotoren

9.4.3.1 Änderung der Spannung bei gleichbleibender Frequenz

Anzugs- und Kippmoment ändern sich mit dem Quadrat, der Anzugsstrom etwa proportional der Spannung.

Nach DIN EN 60 034-1 gilt für Elektromotoren eine Spannungstoleranz von $\pm 5\%$ (Bereich A). DIN IEC 38 sieht für die Netzspannungen 230 V, 400 V und 690 V eine Toleranz von $\pm 10\%$ vor.

Auf den Bemessungsspannungsbereich gilt zusätzlich die Toleranz von $\pm 5\%$ nach DIN EN 60 034, bei deren Ausnutzung die zulässige Grenzüberetemperatur der Wärmeklasse um 10 K überschritten werden darf.

Änderung der Betriebswerte siehe Tafel 9.16.

9.4.3.2 Änderung der Frequenz bei gleichbleibender Spannung

Der Absolutwert von Anzugs- und Kippmoment ändert sich umgekehrt proportional mit dem Quadrat, die Nenndrehzahl proportional der Frequenz. Im Allgemeinen sind Frequenzabweichungen bis zu $\pm 5\%$ zulässig. Änderung der Betriebswerte siehe nachfolgende Tafel.

Tafel 9.16

Einfluss der Änderungen von Spannung und Frequenz auf die Betriebswerte

Betriebswert	Spannung 110% vom Nennwert	Spannung 90% vom Nennwert	Frequenz 105% vom Nennwert	Frequenz 95% vom Nennwert
Anzugs- und Kippmoment	Anstieg 21%	Abfall 19%	Abfall 10%	Anstieg 11%
Synchrondrehzahl	unverändert	unverändert	Anstieg 5%	Abfall 5%
Volllastdrehzahl	Anstieg 1%	Abfall 1,5%	Anstieg 5%	Abfall 5%
Wirkungsgrad bei Volllast	Anstieg 0,5 bis 1 Punkt	Abfall 2 Punkte	leichter Anstieg	leichter Abfall
Leistungsfaktor bei Volllast	Abfall 3 Punkte	Anstieg 1 Punkt	leichter Anstieg	leichter Abfall
Anzugsstrom	Anstieg 10 bis 12%	Abfall 10 bis 12%	Abfall 5 bis 6%	Anstieg 5 bis 6%
Nennstrom bei Volllast	Abfall 7%	Anstieg 11%	leichter Abfall	leichter Anstieg
Temperatur	Abfall 3 - 4 K	Anstieg 6 - 7 K	leichter Abfall	leichter Anstieg

Alle Angaben sind Richtwerte. Genaue Werte sind beim Motorhersteller zu erfragen.

Die Verwendung der Motoren bei größerer Änderung der Frequenz ist nur bedingt möglich. So verringern sich bei einem 50 Hz-Motor am 60 Hz - Netz bei unveränderter Spannung Anzugs- und Kippmoment auf etwa 70%. Bei Einsatz von 60 Hz-Motoren im 50 Hz - Netz muss die Leistung erheblich reduziert werden, um die ursprünglichen magnetischen Verhältnisse wiederherzustellen. Andernfalls würde infolge zu großer Stromaufnahme eine Zerstörung der Wicklungsisolierung durch Übertemperatur die Folge sein.

9.4.3.3 Gleichzeitige Änderung von Spannung und Frequenz

Bei gleichzeitiger Änderung der Spannung und der Frequenz im gleichen Verhältnis und im selben Sinne, z.B. 400 V, 50 Hz auf 460 V, 60 Hz werden die magnetischen Verhältnisse, wenn der Einfluss der Widerstände vernachlässigt werden kann, nicht geändert. Vom Motor wird das normale Drehmoment bei etwa denselben Ständer- und Läuferströmen abgegeben.

Nenn Drehzahl und Leistung ändern sich proportional der Frequenz. Dies gilt etwa für $\pm 20\%$ der Nennfrequenz. Jedoch ist Rückfrage beim Motorhersteller erforderlich, da die mögliche Leistungserhöhung wegen der zunehmenden Erwärmung geringer sein kann.

9.4.4 Momentenklasse (Läuferklasse) von Drehstrom - Asynchronmotoren mit Käfigläufer

Wie bereits im Abschnitt 9.2.3.1 dargestellt, haben Drehstrommotoren mit Käfigläufer unterschiedliche Drehmomentenkennlinien, abhängig von der Form der Stabquerschnitte des Läuferkäfigs. Die Querschnittsform allein sagt jedoch über den absoluten Verlauf der Drehmomentenkennlinie nichts aus. In Herstellerunterlagen wird daher zu jedem Motor eine Momentenklasse (Läuferklasse) angegeben, aus welcher ersichtlich ist, gegen welches Lastmoment ein Motor sicher hochlaufen kann. Die folgende Abb. zeigt als Beispiel den Bereich der Drehmomentenkennlinien von Motoren mit einer Momentenklasse (Läuferklasse), die bei Direkteinschaltung ein Anlaufen gegen ein Lastmoment bis zu 90% des Nennmomentes (strichpunktierte Linie) gewährleistet.

Da das Lastmoment von Kreiselpumpen quadratisch mit der Drehzahl zunimmt ($M \sim n^2$) und das Losbrechmoment normalerweise nur 5 bis 10% des Nennmomentes beträgt, ist beim Antrieb von Kreiselpumpen die Momentenklasse (Läuferklasse) in der Regel nicht von Bedeutung.

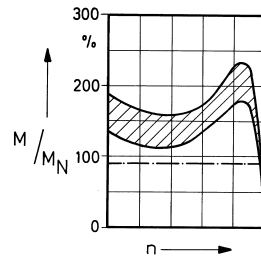


Abb. 9.03 Drehmomentenkennlinie (Beispiel)

9.4.5 Anschluss von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer an das Netz

Drehstrommotoren werden an die drei Außenleiter L1, L2 und L3 angeschlossen. Gewöhnlich lassen sich die drei Wicklungsstränge des Motors auf zwei Arten miteinander verbinden (verketteten); in der Stern- und in der Dreieckschaltung.

9.4.5.1 Sternschaltung

Die Enden U2, V2 und W2 der Wicklungsstränge werden miteinander verbunden. Die Strangspannungen (Strangspannung = Spannung an der Wicklung) sind gleich den Sternspannungen (Phasenspannungen) des Netzes, die Ströme in den Strängen gleich den Strömen im Netz.

Sind die drei Stränge nach Größe und Verschiebung gleich belastet (symmetrische Belastung), ist die Summe der Strangströme in jedem Augenblick gleich Null.

Sternschaltung Y

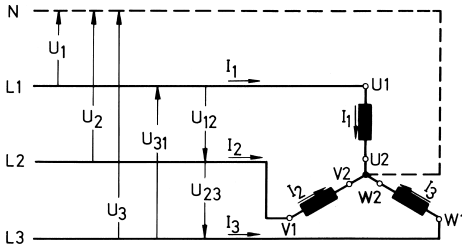


Abb. 9.04 Prinzipschaltbild

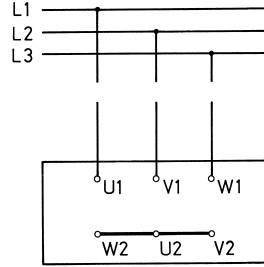


Abb. 9.05 Anschlussbild

9.4.5.2 Dreieckschaltung

Die Enden eines Wicklungsstranges werden mit dem Anfang des nächsten verbunden. Die Strangspannungen sind gleich den Leiterspannungen des Netzes, die Ströme in den Strängen sind verkettete Ströme, die sich aus den Leiterströmen zusammensetzen. Bei symmetrischer Belastung ist die Summe der verketteten Ströme in jedem Augenblick gleich Null.

Dreieckschaltung Δ

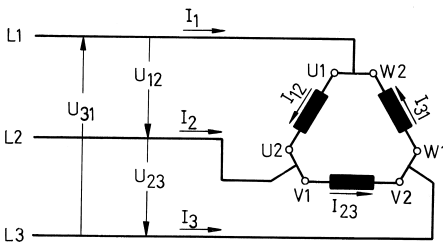


Abb. 9.06 Prinzipschaltbild

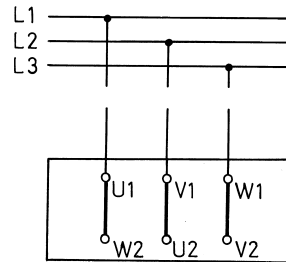


Abb. 9.07 Anschlussbild

Die Art der Einschaltung des Motors hat ebenfalls Einfluss auf die Betriebsschaltung. Die folgende Tafel zeigt die möglichen Betriebsschaltungen für Motoren mit Käfigläufer in Abhängigkeit von Wicklungsausführung und Betriebsspannung.

Für Stern-Dreieck-Einschaltung muss die Betriebsschaltung grundsätzlich die Dreieckschaltung sein.

Tafel 9.17 Betriebsschaltungen für Motoren mit Käfigläufer

Wicklungs- ausführung	Betriebs- spannung in V bei 50 Hz	für direktes Einschalten oder Schleifringläufer	für Stern- Dreieck- Anlauf
230 Δ / 400 Y	230 400	230 Δ 400 Y	230 Δ —
400 Y 400 Δ	400	400 Y 400 Δ	— 400 Δ
400 Δ / 690 Y	400 690	400 Δ 690 Y	400 Δ —

Der Drehsinn des Motors stimmt mit dem Drehsinn des magnetischen Drehfeldes überein. Soll der Drehsinn des Drehfeldes und damit der Drehsinn des Motors geändert werden, genügt ein Vertauschen des Anschlusses von zwei der drei Phasen am Klemmbrett des Motors.

9.4.6 Einschaltverfahren von Drehstrom - Asynchronmotoren mit Käfigläufer

9.4.6.1 Direkte Einschaltung

Die direkte Einschaltung des Motors ist das ideale, weil einfachste Anlassverfahren. Der Motor wird durch ein Schütz unmittelbar an die volle Betriebsspannung (Leiterspannung des Netzes) gelegt. Im Augenblick des Einschaltens fließt ein Anzugstrom vom vier- bis siebenfachen des Nennstroms.

Dadurch sinkt die Spannung in den Zuleitungen und andere Abnehmer können gestört werden. Aus diesem Grunde werden für öffentliche Netze nach den Technischen Anschlussbedingungen (TAB) des zuständigen Elektrizitätsversorgungsunternehmens (EVU) für Einzelmotoren Leistungsgrenzen (ca. 4 kW) für die direkte Einschaltung vorgeschrieben. Aber auch für den Anschluss von Niederspannungsmotoren an werkseigene Netze mit hochspannungsseitigem Anschluss an ein EVU-Netz sind die Leistungsgrenzen mit der Anlagen-Planung abzustimmen.

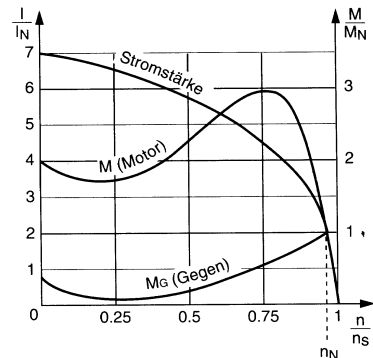


Abb. 9.08 Kennlinien bei direkter Einschaltung (Beispiel)

9.4.6.2 Stern-Dreieck-Einschaltung

Muss der Anlaufstrom begrenzt werden ist die Stern-Dreieck-Einschaltung ein mögliches Verfahren, aber auch hierfür kann je nach den Verhältnissen im Stromnetz eine Leistungsbegrenzung vorgegeben sein. Dann könnten anstelle der Y/ Δ -Einschaltung Einschaltverfahren über Spartransformatoren oder über Widerstände vorgesehen werden, die allerdings einen höheren Aufwand erfordern und daher nur selten eingesetzt werden.

Zur Stern - Dreieck - Einschaltung werden Sterndreieckschalter oder entsprechende Schützenkombinationen verwendet, an die alle 6 Wicklungsenden geführt sind. Der Anlauf erfolgt in der Sternschaltung. Hierbei beträgt die Strangspannung (Phasen-spannung) nur 1/3 der Leiter-spannung, im Gegensatz zur Dreieckschaltung (= Betriebs-schaltung), bei der die volle Leiter-spannung am Strang liegt. Da das Drehmoment etwa proportional dem Quadrat der Spannung ist, sinkt es in der Sternschaltung auf etwa 1/3 des Wertes bei Betriebs-schaltung. Entsprechend wird auch der Strom auf 1/3 des Wertes bei Betriebs-schaltung reduziert. Nach dem Hochlauf wird der Motor auf Dreieck geschaltet, wobei je nach Belastung ein zweiter Stromstoß auftritt, so dass der gewünschte strombegrenzende Effekt nicht erreicht wird.

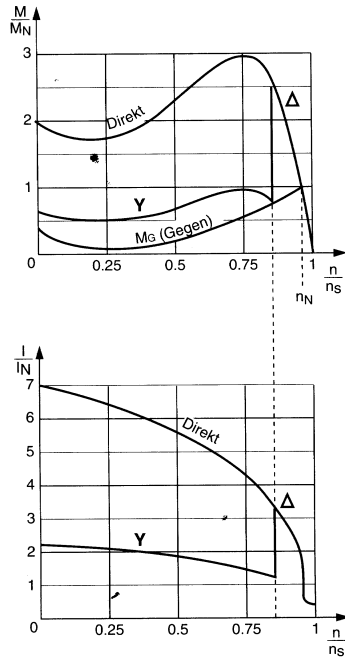


Abb. 9.09 Kennlinien bei Y/ Δ -Einschaltung (Beispiel)

9.4.6.3 Einschaltung über Drehstromsteller

Ein Sanftanlauf der Motoren ist mit elektronischen Anlassern (Drehstromsteller) möglich.

Mit diesen Geräten kann die Höhe des Anlaufstroms, den Anforderungen entsprechend, frei gewählt werden. Es lassen sich für die Hochlaufzeit Rampen und / oder Begrenzungen für die Stromwerte einstellen.

Ist nach dem Hochlauf der Pumpe die volle Spannung erreicht, wird der Drehstromsteller zur Verlustreduzierung über ein Schütz (durch mechanische Kontakte) überbrückt.

Der Drehstromsteller kann auch als Sanftauslaufgerät eingesetzt werden. Hiermit kann die Auslaufzeit des Pumpenaggregats den Erfordernissen entsprechend geregelt werden und es könnten daher z.B. Druckstöße (Wasserschläge) im Rohrleitungsnetz verhindert werden.

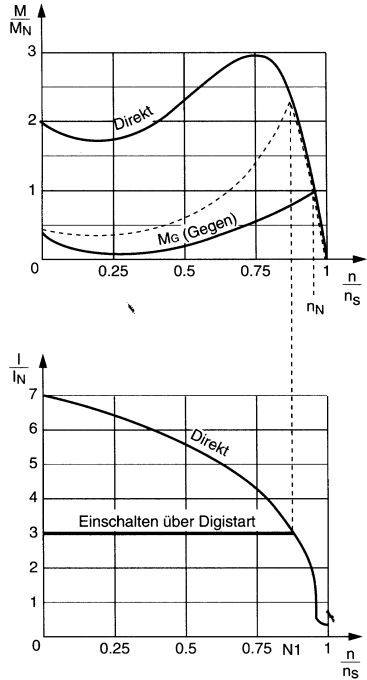


Abb. 9.10 Kennlinien bei Anlauf über Drehstromsteller (Beispiel)

9.4.6.4 Einschaltung von Hochspannungsmotoren

Soweit das EVU bzw. der Netzbetreiber es zulässt, ist es wirtschaftlich Kurzschlussläufermotoren zu verwenden, die für direkte Einschaltung vorgesehen sind. Für Leistungen, die über der zulässigen Grenze liegen, ist zu prüfen, ob ein Anlauf über einen Hochspannungsfrequenzumrichter möglich ist. Über die Drehzahlregelung ist es möglich, den Anlaufstrom auf den Bemessungsstrom zu begrenzen.

9.4.7 Betriebsarten

Die Betriebsart eines Motors hat Einfluss auf sein thermisches Verhalten, damit auf seine Belastbarkeit und somit auf Auswahl und Auslegung der geeigneten Maschine. Die Betriebsart soll vom Betreiber so genau wie möglich angegeben werden. Aus der Vielzahl der möglichen Betriebsarten wurden in DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1) zur Erleichterung der Verständigung zwischen Anwender und Hersteller zehn Hauptbe-

triebsarten (S1 bis S10) ausgewählt und beschrieben. Für den Betrieb von Kreiselpumpen kommt normalerweise nur die Betriebsart S1-„Dauerbetrieb“ infrage. Die Bemessungsleistungen der Elektromotoren werden in den Auswahllisten ebenfalls für die Betriebsart S1 angegeben.

Ein Dauerbetrieb ist dadurch definiert, dass die Betriebsdauer mit konstanter Belastung so lang ist, dass ein thermischer Beharrungszustand erreicht wird. Die Auswahl des Motors (Motor-Nennleistung) kann bei dieser Betriebsart nach dem Leistungsbedarf der Pumpe erfolgen, wobei Leistungszuschläge entsprechend den Normen bzw. den Erfahrungswerten zu beachten sind.

Für die Kennzeichnung auf dem Leistungsschild des Motors erscheint die Aufschrift „Dauerbetrieb“ oder das Kurzzeichen „S1“. Fehlt eine Angabe über die Betriebsart, so bedeutet dies, geeignet für Dauerbetrieb.

9.4.8 Motorschutz vor Überstrom und thermischer Überlastung

Die Motoren werden üblicherweise durch thermisch verzögerten Überlastschutz (Leistungsschalter für den Motorschutz, Motorschutzschalter bzw. Überlastrelais) geschützt.

Dieser Schutz ist stromabhängig und wird zum Schutz gegen hohe Erwärmung eingesetzt. Eine zu hohe Erwärmung kann z.B. auftreten durch Überlastung, unsymmetrische Stromaufnahme, Ausfall einer Phase (Netzzuleitung), durch zu hohe Schaltdauer oder durch einen blockierten Läufer.

Darüber hinaus ist es möglich, die Motoren zusätzlich durch, in die Wicklung eingebaute Halbleiter-Temperaturfühler in Verbindung mit einem Auslösegerät, zu schützen (Thermistor-Motorschutz).

Dieser Schutz ist temperaturabhängig und schützt den Motor vor unzulässiger Wicklungserwärmung z.B. bei stark wechselnder Belastung oder Schaltbetrieb.

Bei polumschaltbaren Motoren mit zwei getrennten Wicklungen ist die doppelte Anzahl Temperaturfühler erforderlich.

Sicherungen (Schmelzsicherungen oder Sicherungsautomaten) sind kein Motorschutz sondern nur ein Schutz der Motorzuleitungen und Geräte vor hohen Kurzschlussströmen.

9.5 Explosionsschutz

9.5.1 Allgemeines

Bei industriellen Produktionsprozessen, insbesondere in der chemischen Industrie und in Raffinerien, entstehen Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube, die, zusammen mit dem Sauerstoff der Luft, explosionsfähige Gemische bilden können. Unter bestimmten Voraussetzungen kann sich ein solches Gemisch entzünden, d.h., es kommt zu einer Verpuffung oder Explosion.

Eine wesentliche Rolle spielen dabei die Zusammensetzung und Konzentration des Gemisches (Zündwilligkeit) und die Energie der Zündquelle (z.B. Schaltfunke, Erwärmung eines Motors). Die Folgen einer solchen Explosion sind häufig neben hohem Sachschaden auch der mögliche Verlust an Menschenleben. Aus diesem Grund wird der Explosionsschutz vom Gesetzgeber vorgeschrieben.

Als explosionsgefährdete Betriebsstätten sind alle Räume zu verstehen, in denen sich nach den örtlichen und betrieblichen Verhältnissen Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube, die mit Luft explosionsfähige Gemische bilden, in gefahrdrohender Menge ansammeln können. Auch für Betriebsstätten im Freien gelten unter Umständen die Vorschriften für explosionsgefährdete Räume.

Der Explosionsschutz umfasst ein sehr großes Einsatzgebiet, entsprechend umfangreich ist daher auch das Vorschriftenwerk über den Explosionsschutz elektrischer Betriebsmittel und deren Einrichtung.

Die nachfolgend aufgeführten Vorschriften stellen daher nur eine Grundlage dar; im Einzelfall sind stets sämtliche zutreffenden Bestimmungen zu berücksichtigen.

Für explosionsgefährdete Betriebsstätten gelten:

DIN VDE 0165 Bestimmungen für das Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen

DIN EN 50 014 / VDE 0170/0171 Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche

Allgemeine Bestimmungen

Sind explosionsgefährdete Betriebsstätten auch explosivstoffgefährdet, so gelten die Explosionsschutz-Vorschriften in Verbindung mit:

DIN VDE 0166 Bestimmungen für elektrische Anlagen und deren Betriebsmittel in explosivstoffgefährdeten Bereichen

Für schlagwettergefährdete Grubenbauten gelten, gegebenenfalls in Verbindung mit bergbehördlichen Vorschriften:

DIN VDE 0118 Bestimmungen für das Errichten elektrischer Anlagen in bergbaulichen Betrieben unter Tag

Nach der gültigen „Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen“ (Elex V) dürfen elektrische Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Räumen nur in Betrieb genommen werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- sie müssen für die auftretenden Gase oder Dämpfe zugelassen sein
- sie müssen durch den Hersteller einer Stückprüfung unterzogen worden sein, dass sie mit der Bauartzulassung übereinstimmen
- sie müssen die von der Zulassungsbehörde festgelegten Kennzeichen und Angaben tragen

Die Bauartzulassung wird von der nach Landesrecht zuständigen Behörde aufgrund von Gutachten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig (Rahmenbescheinigungen und Konformitätsbescheinigungen der PTB) ausgesprochen. Zur Beachtung der in diesen Dokumenten festgelegten Vorschriften sind alle Beteiligten verpflichtet.

Für die Eingruppierung der Explosionsschutzanforderungen bei der Auslegung eines Pumpenaggregates, z.B. einer Spaltröhrenmotorpumpe, ist die Angabe der Förderdaten mit den physikalischen Werten der Flüssigkeit allein nicht ausreichend. Aufgrund der örtlichen Verhältnisse sind häufig andere Gefahrenquellen für die notwendigen Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen wie sie durch die Förderflüssigkeit der betreffenden Pumpe gegeben sind, z.B. wenn im Bereich einer Ethyletheranlage (Temperaturklasse T4) eine Kreiselpumpe zur Förderung von Aceton (Temperaturklasse T1) eingesetzt werden soll.

Ob ein Bereich im Freien oder im geschlossenen Raum als explosionsgefährdet im Sinne der einschlägigen Vorschriften und Bestimmungen zu betrachten ist, muss vom Betreiber und im Zweifelsfall von der zuständigen Aufsichtsbehörde (Gewerbeaufsichtsamt bzw. Technischer Überwachungsverein) beurteilt werden. Die Aufsichtsbehörde entscheidet über die erforderlichen Schutzmaßnahmen zur Abwendung einer Explosionsgefahr.

9.5.2 Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche in Zonen

Nach der zeitlichen und örtlichen Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins gefährlicher explosibler Atmosphäre werden in explosionsgefährdeten Bereichen folgende Zonen unterschieden (nach DIN VDE 0165 für brennbare Gase, Dämpfe und Nebel):

Zone 0 umfasst Bereiche, in denen gefährliche explosionsfähige Atmosphäre ständig oder langfristig vorhanden ist (z.B. das Innere von Behältern mit brennbaren Flüssigkeiten oder Gasen).

In Zone 0 dürfen nur Betriebsmittel verwendet werden, die hierfür besonders bescheinigt sind. Der Einsatz von Elektromotoren gleich welcher Schutzart ist nicht zulässig.

Zone 1 umfasst Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre gelegentlich auftritt.

Elektromotoren müssen durch Ausführung in einer der folgenden Zündschutzarten explosionsgeschützt sein:

Druckfeste Kapselung „d“ Erhöhte Sicherheit „e“

Zone 2 umfasst Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre nur selten und dann auch nur kurzzeitig auftritt.

Zulässig sind Motoren in Schutzart druckfeste Kapselung „d“ und Schutzart erhöhte Sicherheit „e“. In vielen Fällen können auch normale Drehstrom - Asynchronmotoren mit Käfigläufer ohne Explosionsschutz eingesetzt werden.

9.5.3 Explosionsgruppen

Die brennbaren Gase und Flüssigkeiten sind nach ihrer Zünddurchschlagsfähigkeit durch Spalte nach festgelegten Bedingungen (Normspaltweite) und / oder nach dem Mindestzündstromverhältnis in folgende Explosionsgruppen eingeteilt:

Tafel 9.18 Einteilung von Gasen und Dämpfen in Explosionsgruppen (Beispiele)

Gruppe	brennbare Gase und Dämpfe
II A	Aceton, Ammoniak, Benzine, Benzol, Butan, Dieselkraftstoffe, Düsentreibstoffe, Essigsäure, Heizöle, Hexan, Methanol, Propan, Toluol
II B	Ethanol, Ethylenoxid, Ethylether, Stadtgas
II B + H ₂	wie II B + Wasserstoff
II B + CS ₂	wie II B + Schwefelkohlenstoff
II B + C ₂ H ₂	wie II B + Schwefelwasserstoff
II C	Acetylen

9.5.4 Temperaturklassen

Elektrische Betriebsmittel können durch ihre normale Erwärmung eine sie umgebende explosionsfähige Atmosphäre zur Entzündung bringen. Um dies zu verhindern, muss die maximale Oberflächentemperatur (Wandtemperatur) unter der Zündtemperatur des brennbaren Stoffes liegen. Unter der Zündtemperatur eines brennbaren Stoffes versteht man dabei die niedrigste Temperatur einer erhitzten Wand, an der sich der brennbare Stoff im Gemisch mit Luft gerade noch entzündet. Die Zündtemperatur von Flüssigkeiten und Gasen wird nach dem in DIN 51 794 festgelegten Verfahren ermittelt. Die Zündtemperaturen werden zu den Temperaturklassen T1 bis T6 zusammengefasst.

Mit maximaler Oberflächentemperatur wird die höchste Temperatur bezeichnet, die im Betrieb unter den ungünstigsten Bedingungen von Teilen oder Oberflächen eines Betriebsmittels erreicht wird und deren Berührung mit einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre eine Zündung hervorrufen kann. Die ungünstigsten Bedingungen schließen auch mögliche vorherzusehende Überlastungen und Störungen ein. Bei Pumpenaggregaten ist nicht nur die Oberflächentemperatur des elektrischen Betriebsmittels, d.h. des Motors maßgebend, sondern auch die der Pumpe.

Die „Sicherheitstechnischen Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe“ wie z.B. Flammpunkt, Zündtemperatur, Temperaturklasse und Explosionsgruppe werden im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig (PTB) ermittelt und zusammengestellt und können der einschlägigen Literatur entnommen werden.

Tafel 9.19 Einteilung der Temperaturklassen

Temperaturklasse	Höchstzulässige Oberflächentemperatur der Betriebsmittel °C	Zündtemperatur der brennbaren Stoffe °C
T1	450	> 450
T2	300	> 300 < 450
T3	200	> 200 < 300
T4	135	> 135 < 200
T5	100	> 100 < 135
T6	85	> 85 < 100

9.5.5 Vergleich von Kennzeichnungen und Begriffen

Die ab Mai 1978 gültigen Normen DIN EN 50 014 bis 50 020 werden mit den früheren Normen DIN VDE 0170 / 0171 nach denen bis zum 1.5.1988 gefertigt wurde und die für den Betrieb unbegrenzt gültig sind verglichen.

Tafel 9.20 Erläuterungen zur Ex-Schutz-Kennzeichnung nach DIN EN 50 014 / 50 020:

DIN EN 50 014 / 50 020			DIN VDE 0170/0171	
Explosionsschutz		Gruppe II	Explosionsschutz (Ex)	
Zündschutzarten	Druckfeste Kapselung Erhöhte Sicherheit	d e	Explosionsschutzarten	d e
Temperaturklasse		T1 T2 T3 T4 T5 T6	Zündgruppe	G1 G2 G3 G4 G5 --
Explosionsgruppe		IIA IIB IIB + H ₂ IIB+ CS ₂ IIB+C ₂ H ₂ IIC	Explosionsklasse	1 2 3a 3b 3c 3n
Kennzeichnungsbeispiele	EEx e II T3 EEx de IIC T4		(Ex) e G3 (Ex) d 3n G4	

Beispiel: EEx de IIC T4

E: Motor nach Europanorm

Ex: Explosionsschutz

de: kombinierte Schutzart „druckfeste Kapselung“ und „erhöhte Sicherheit“

II: Gruppe von elektrischen Betriebsmitteln, die nicht im schlagwettergefährdeten Untertagebau eingesetzt werden kann

C: die höchste Klasse bezüglich der experimentell ermittelten Grenzspalte bei Schutzart Ex d . Diese Klasse ist für alle Gase und Dämpfe geeignet

T4: Temperaturklasse 4 (max. Oberflächentemperatur 135 °C)

Konformitätsbescheinigungen für die verschiedenen Zündschutzarten werden in Deutschland von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig (PTB) erstellt.

9.5.6 Explosionsschutz bei Spaltröhropumpen

Zusätzlich zu den Ex-Schutz-Bestimmungen für Elektromotoren hat der Gesetzgeber für Spaltröhropumpen weitere Sicherheitsrichtlinien zur Einhaltung und Überwachung des Explosionsschutzes erlassen.

In den Prüfscheinen der Physikalisch Technischen Bundesanstalt Braunschweig (PTB) werden unter „Besondere Bedingungen“ Auflagen gemacht, die für den Betrieb solcher Pumpen in explosionsgefährdeten Betriebsstätten beachtet werden müssen.

Im einzelnen wird folgendes vorgeschrieben:

- Aus Sicherheitstechnischen Gründen muss der Läuferraum stets mit der Förderflüssigkeit gefüllt sein. Dabei ist ein Flüssigkeitsstandgeber in die Anlage einzubauen oder eine andere mindestens gleichwertige Schutzmaßnahme zu treffen, so dass der Motor nur bei hinreichendem Flüssigkeitsstand betrieben werden kann.
- Zur Verhütung unzulässiger Temperaturen ist der Kühl-/Schmierstrom durch Temperaturfühler zu überwachen. Hierdurch ist sicherzustellen, dass die Temperatur des Kühl-/Schmiermittels eine aufgrund der Pumpenauslegung und der Ex-Schutz-Anforderungen zulässige Temperatur nicht überschreitet.

9.5.7 Explosionsschutz nach europäischem Standard

Die von der EG (Europäische Gemeinschaft) veröffentlichte Richtlinie 94/9/EC zur „Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bedingungsge­mäßigen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen“ verändert die gesetzlichen Grundlagen des Explosionsschutzes.

Diese auch als ATEX-Direktive (ATEX 100.a) benannte Richtlinie trat am 23. Mai 1999 mit einer Übergangszeit bis zum 30. Juni 2003 in Kraft.

Dies ist ein weiterer Schritt hin zu einem einheitlichen Sicherheitsstandard in der EG. Das bekannteste Merkmal für diesen Standard ist das CE-Zeichen das auch explosionsgeschützte Betriebsmittel in Zukunft tragen müssen und das Bedingung für den freien Warenverkehr innerhalb der EG ist.

Hierbei ist der Begriff „explosionsgeschützt“ in seiner Bedeutung stark erweitert worden und es sind in Zukunft auch nicht-elektrische Zündrisiken zu beachten. Der Hersteller muss die Eignung des kompletten Aggregats für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen sicherstellen.

Zu den Auswirkungen dieser Direktive auf die Pumpen wird von EUROPUMP (Europäische Vereinigung der Pumpenhersteller) eine Richtlinie für die Anwendung der EG-Richtlinie 94/9/EC erarbeitet. Ein erster Entwurf wurde am 25. Januar 1999 veröffentlicht.

9.6 Drehzahlregelung elektrischer Antriebe

9.6.1 Regelung der Elektromotoren

Für eine Drehzahlregelung kommen folgende Motoren infrage

- Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer
- Drehstrom-Asynchronmotoren mit Schleifringläufer
- Drehstrom-Synchronmotoren
 - Reluktanzmotoren
 - Dauermagnetmotoren

Gleichstrommotoren haben für den Antrieb von Kreiselpumpen keine Bedeutung mehr.

Für die Drehzahl eines aus einem Drehstromnetz gespeisten Motors gilt:

$$\text{Läuferdrehzahl } n = \frac{f}{p \cdot (1 - s)}$$

mit f = Netzfrequenz p = Polpaarzahl s = Schlupf

Danach bieten sich drei Möglichkeiten einen Drehstrommotor in seiner Drehzahl zu regeln:

- Änderung der Polpaarzahl
- Änderung der Frequenz
- Änderung des Schlupfes

9.6.1.1 Änderung der Polpaarzahl

Polumschaltbare Motoren ermöglichen eine stufenweise Änderung der Drehzahl bei konstanter Netzfrequenz. Die Polumschaltung ist im Allgemeinen beschränkt auf den Drehstrom-Asynchronmotor mit Käfigläufer.

Die einfachste Umschaltmöglichkeit bietet die „Dahlander-Schaltung“, weil hier die auf mehrere Nuten aufgeteilte Wicklung eines Stranges zusammenbleibt; sie erlaubt aber nur Drehzahländerungen im Verhältnis 1 : 2.

Mit zwei Wicklungen lassen sich drei oder auch vier Drehzahlen erreichen.

Tafel 9.21 Die gebräuchlichsten Ausführungen polumschaltbarer Motoren

Anzahl der Wicklungen	Art der Wicklung	Polzahlen	Synchrone Drehzahl bei 50 Hz in 1/min
1	Dahlander-Schaltung	4 / 2 8 / 4	1500 / 3000 750 / 1500
2	getrennte Wicklungen	6 / 4	1000 / 1500
3	getrennte Wicklungen, davon 750/1500 1/min in Dahlander-Schaltung	8 / 6 / 4	750 / 1000 / 1500

In der Regel werden die Wicklungen so ausgelegt, dass bei allen Drehzahlen praktisch ein konstantes Drehmoment entwickelt wird. Für Pumpenantriebe sind jedoch Motoren verfügbar deren Wicklungen dem mit der Drehzahl quadratisch ansteigendem Drehmomentbedarf angepasst sind. Diese Motoren erhalten üblicherweise den Zusatz „zum Antrieb von Ventilatoren“.

9.6.1.2 Änderung der Frequenz

Die Änderung der Frequenz erfolgt über Frequenzumrichter. Hierbei unterscheidet man

- Spannungszwischenkreis-Umrichter
- Stromzwischenkreis-Umrichter

Bei dem Spannungszwischenkreis-Umrichter wird die Drehzahl verstellt, indem die Frequenz f bei entsprechend angepasster Spannung U verändert wird. Sie formen ein Netz mit fester Frequenz und Spannung (z.B. 3 AC 50/60 Hz 380 bis 690 V) in ein Drehstromsystem mit variabler Frequenz und Spannung um (3 AC 0 bis 200 Hz, von 0 V bis zur Nennanschlussspannung).

Bei dem Stromzwischenkreis - Umrichter wird die Drehzahl verstellt, indem die Frequenz bei entsprechend angepasstem, lastabhängigem Strom verändert wird. Sie bilden aus einem Drehspannungssystem mit fester Frequenz (z.B. 3 AC 50 / 60 Hz) und Amplitude ein Drehstromsystem mit variabler Frequenz (3 AC 0 bis 50 / 60 Hz) und lastabhängigem Strom.

Für Kreiselpumpen und Ventilatoren genügen Umrichter mit U/f - Kennlinien für allgemeine Anwendungen. Pumpenaggregate können damit kontinuierlich und lastarm in ihrer Drehzahl geregelt werden. Für Kreiselpumpen, die bekanntlich einen quadratischen Drehmomentenverlauf ($M \approx n^2$) haben, ist bei Norm- und Transnormmotoren keine Drehmomenten- bzw. Leistungsminderung gegenüber dem normalen Netzbetrieb erforderlich. Damit ist auch eine nachträgliche Umrüstung auf Regelbetrieb in den meisten Fällen problemlos möglich.

Bei der Ausnutzung des möglichen Drehzahlregelbereichs sind nach oben die mechanischen Grenzdrehzahlen für den Motor und die mechanischen und hydraulischen Grenzdrehzahlen der Pumpe zu beachten. Auch nach unten sind für die Pumpen abhängig von der hydraulischen Entlastung vom Hersteller genannte Mindestdrehzahlen zu berücksichtigen.

Für den Betrieb am Frequenzumrichter kommen infrage:

Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer

Diese Motoren sind die am häufigsten eingesetzten Motoren für Umrichterbetrieb. Alle Motoren dieser Bauart können in der Normalausführung bis zur Baugröße 250 bei Netzspannungen bis 500 V für drehzahlgeregelte Antriebe eingesetzt werden. Für die Baugrößen 280 und größer und für Netzspannungen >500V sind Motoren mit speziellen isolierten Lagern und teilweise, größenabhängig, auch mit Sonderisolierungen erforderlich.

Bei der Auswahl des Motors muss das bei der höchsten Drehzahl erforderliche Drehmoment berücksichtigt werden.

Für Leistungen bis ca. 7,5 kW werden Motoren mit angebautem Umrichter geliefert. Diese Motoren haben den Vorteil, dass keine Kabel zwischen Motor und Umrichter erforderlich sind und damit die Störausstrahlung in der Anlage verringert wird.

Auch Hochspannungsmotoren können mit Hochspannungs-Frequenzumrichtern drehzahl geregelt gefahren werden.

Reluktanzmotoren

Reluktanzmotoren und geschaltete Reluktanzmotoren sind Drehstrommotoren mit Synchronverhalten, deren Wicklungen auf dem Ständer angebracht sind. Der Läufer mit ausgeprägten Polen trägt keine Erregerwicklung. Die Spannungsinduktion in den Ständerwicklungen wird durch die mit der Läuferrotation verbundenen Änderungen des magnetischen Widerstands (Reluktanz) hervorgerufen. Der synchrone Lauf wird durch eine besondere Gestaltung des Läufers erreicht.

Reluktanzmotoren entsprechen in den äußeren Abmessungen den Normmotoren und sind verfügbar in den Bauformen IM B 3, IM B 5 und IM V 1. Sie werden ausgeführt in Schutzart IP 55 und Kühlungsart IC 411 und zwar als 4-polige Motoren in den Baugrößen 71 bis 160 L für Leistungen von 0,17 bis 8,5 kW. Die Motoren können mit entsprechenden Frequenzumrichtern von 50 bis 200 Hz d.h. mit Drehzahlen von 1500 bis 6000 1/min betrieben werden.

Dauermagnetmotoren

Diese Motoren sind permanenterregte, bürstenlose selbstständig anlaufende Drehstrom-Synchronmotoren. Die Läufer besitzen eine Käfigwicklung für den asynchronen Anlauf und einen mit Dauermagneten besetzten Läufer für den synchronen Betrieb. Als Dauermagnete werden Ferrit-Magnete oder Seltenerd-magnete, wie sie auch bei Magnetkupplungen eingesetzt werden, verwendet.

Dauermagnetmotoren entsprechen in den äußeren Abmessungen weitgehend den Normmotoren und sind verfügbar in den Bauformen IM B 3, IM B 5 und IM V 1. Sie werden geliefert in Schutzart IP 44 und Kühlungsart IC 411 und zwar als 2-, 4- und 6-polige Motoren in den Baugrößen 71 bis 160 für Leistungen von 0,3 bis 5,5 kW. Die 2-poligen Motoren können mit entsprechenden Frequenzumrichtern von 50 bis 300 Hz d.h. mit Drehzahlen von 3000 bis 18000 1/min betrieben werden. Die maximale Frequenz bei den 4- und 6-poligen Motoren liegt bei 200 Hz.

9.6.1.3 Änderung des Schlupfes

Diese Art der Drehzahlregelung wird angewendet bei Drehstrom - Asynchronmotoren mit Schleifringläufer.

Diese Motoren arbeiten dann entweder mit einer Stromrichter-kaskade, einem Puls-widerstand oder sie werden als doppeltgespeiste (drehfelderregte) Schleifring-läufermotoren ausgeführt.

Für Kreiselumpenantriebe kommt nur die „untersynchrone Stromrichter­kaskade (USK)“ infrage und zwar hauptsächlich zum Antrieb von Kesselspeisepumpen mit Leistungen im MW - Bereich bis maximal 25 MW.

Die Drehzahlregelung erfolgt durch Änderung des Läuferwiderstandes. An die über Schleifringe herausgeführte Läuferwicklung werden zu diesem Zweck äußere Widerstände angelegt und damit im untersynchronen Bereich der Schlupf stufenlos geregelt. Der typische Regelbereich liegt zwischen $1 : 1,3$ bis $1 : 5$.

Bei der Kaskade wird die an den Schleifringen abgenommene Schlupfleistung P_{schlupf} gleichgerichtet und über einen Wechselrichter in das Netz zurückgespeist. Der Stromrichter wird für die maximale Schlupfleistung $P_{\text{zul schlupf}}$ im Stellbereich bemessen. Die Schlupfleistung wird über die Kaskade zurückgespeist.

9.6.2 Regelung durch Drehzahlwandler

Neben der Möglichkeit, den Antriebsmotor direkt zu regeln, kann auch durch Zwischenschaltung eines Wandlers zwischen Motor und Kreisel­pumpe eine Drehzahlregelung erreicht werden. Man spricht dann von einem elektromechanischen Antrieb.

Als Drehzahlwandler werden Strömungskupplungen, auch hydrodynamische Kupplung genannt, eingesetzt. In Kombination mit einem Turbogetriebe wird diese Einheit als Getriebereg­elkupplung bezeichnet.

Getriebereg­elkupplungen werden z.B. in Kraftwerken für die Drehzahl­anpassung und -regelung von Kesselspeisepumpen eingesetzt.

Die Strömungskupplung ist eine Kupplung, bei der die Strömungsenergie eines flüssigen Mediums (meist Turbinenöl) zur Übertragung des Drehmoments von der Antriebs- auf die Abtriebswelle benutzt wird. In einem Pumpenrad (treibender Teil) wird mechanische Leistung durch Beschleunigung der Ölfüllung in hydraulische Leistung umgeformt und diese in einem Turbinenrad (getriebener Teil) wieder in mechanische Leistung zurückverwandelt. Wäre die Drehzahl von Pumpenrad und Turbinenrad gleich, würde kein Drehmoment und damit auch keine Leistung übertragen. Zur Leistungsübertragung ist deswegen stets ein Schlupf erforderlich d.h. die Drehzahl des Turbinenrades ist kleiner als die Drehzahl des Pumpenrades. Der Schlupf und damit die Drehzahl des Turbinenrades kann durch Änderung des Füllvolumens der Kupplung z.B. mittels eines verstellbaren Schöpfrohres geregelt werden. Es ist eine stufenlose Drehzahlregelung in einem Bereich von $4 : 1$ bis maximal $5 : 1$ möglich.

Der Wirkungsgrad der Strömungskupplung ist sehr gut, da der Nennschlupf bei Übertragung der Nennleistung sehr gering ist. Die Verlustleistung der Kupplung, die sich aus der Schlupfleistung und mechanischen Verlusten ergibt, muss über einen Ölkühler abgeführt werden. Bei Regelbetrieb steigt die Schlupfleistung an und entsprechend verschlechtert sich der Wirkungsgrad, allerdings in vertretbaren Grenzen.

9.7 Auswahltafeln für Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer

Die IEC (International Electrotechnical Commission) hat mit der Publikation IEC 72 Empfehlungen für die Anbaumaße elektrischer Maschinen veröffentlicht. In diesen Empfehlungen sind voneinander unabhängige Reihen für die Anbaumaße der Gehäuse, Flansche und zylindrischen Wellenenden enthalten. Die Anbaumaße beziehen sich auf einen Achshöhenbereich von 56 bis 315 mm (Maß h bei DIN bzw. H bei IEC). Das Maß h bzw. H wird auch für die Angabe der Baugröße der Motoren verwendet.

Aus den IEC - Empfehlungen entstanden in den einzelnen Ländern nationale Motornormen der am häufigsten verwendeten Bauarten. In diesen Normen sind den Baugrößen Nennleistungen in Abhängigkeit von der Schutzart und der Drehzahl zugeordnet. Damit ist es möglich, bei der Planung von Antrieben ohne weiteres den für den Motor benötigten Platz vorzusehen, wenn nur Leistung, Drehzahl und Schutzart bekannt sind. Ergänzungsgrößen erweitern den Anwendungsbereich zu Motoren mit höherer Leistung (Transnormmotoren) entsprechend einem Achshöhenbereich (= Baugröße) von 355 bis 450 mm.

Tafel 9.2.2 Übersicht der nach DIN genormten Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer

Auszug für „Oberflächengekühlte Motoren“

Bauform	Schutzart	DIN	Auswahltafeln
IM B 3	IP 44 oder höher	42 673-1	9.7.02 9.7.03 9.7.04
	EEx e II Erhöhte Sicherheit	42 673-2	9.7.05
	EEx d IIC	42 673-3	9.7.06
	Druckfeste Kapselung		9.7.07
IM B 35, B5 und V1	IP 44 oder höher	42 677-1	wie oben
	EEx e II Erhöhte Sicherheit	42 677-2	<i>Anmerkung:</i>
	Eex d IIC	42 677-3	IM B 35 bis 315 L
	Druckfeste Kapselung		IM B 5 bis 200 L

Die in den Tafeln 9.23 bis 9.25 aufgeführten Werte für den Wirkungsgrad, den Leistungsfaktor und den Bemessungsstrom sind Richtwerte. Genaue Angaben sind bei den Motorherstellern zu erfragen.

Tafel 9.23 Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer, oberflächengekühlt
IP 55, Baugröße 80 bis 315L (Normmotoren)

Bau- größe	3000 1/min, 2-polig 50 Hz				1500 1/min, 4-polig 50 Hz			
	Bemes- sungs- leistung	Wir- kungs- grad	Leis- tungs- faktor	Bemes- sungs- strom bei 400 V	Bemes- sungs- leistung	Wir- kungs- grad	Leis- tungs- faktor	Bemes- sungs- strom bei 400 V
	kW	%	$\cos \varphi$	A	kW	%	$\cos \varphi$	A
80	0,75	74	0,83	1,8	0,55	71	0,79	1,4
	1,1	76	0,84	2,5	0,75	74	0,79	1,9
90 S	1,5	78	0,82	3,4	1,1	74	0,81	2,7
90 L	2,2	80	0,85	4,7	1,5	74	0,81	3,6
100 L	3	83,5	0,85	6,1	2,2	80	0,82	4,9
					3			
112 M	4	85,5	0,88	7,7	4	84	0,83	8,3
132 S	5,5	84,5	0,85	11,1	5,5	86	0,81	11,4
	7,5	86	0,86	14,7	7,5	87,5	0,82	15,1
132 M								
160 M	11	87	0,85	21,4	11	88,5	0,84	21,4
160 L	15	88,5	0,87	28,2	15	90	0,84	28,5
	18,5	90	0,85	34,7				
180 M	22	92	0,88	39	18,5	90,5	0,83	35
180 L					22	91	0,84	41
200 L	30	92	0,89	53	30	92	0,86	55
	37	93	0,89	65				
225 S					37	93	0,87	66
225 M	45	94	0,89	78	45	93	0,87	80
250 M	55	94	0,91	93	55	94	0,87	97
280 S	75	95	0,90	128	75	95	0,86	132
280 M	90	95	0,91	150	90	95	0,86	160
315 S	110	95	0,90	186	110	95	0,86	194
315 M	132	95	0,90	225	132	95	0,87	230
315 L	160	95	0,91	265	160	96	0,87	275
	200	96	0,92	325	200	96	0,87	345

Tafel 9.24 Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer, oberflächengekühlt
IP 55, Baugröße 315 bis 450 (Transnormmotoren)

Baugröße	3000 1/min, 2-polig 50 Hz				1500 1/min, 4-polig 50 Hz			
	Bemes- sungs- leistung	Wir- kungs- grad	Leis- tungs- faktor	Bemes- sungs- strom bei 400 V	Bemes- sungs- leistung	Wir- kungs- grad	Leis- tungs- faktor	Bemes- sungs- strom bei 400 V
	kW	%	$\cos \varphi$	A	kW	%	$\cos \varphi$	A
315	250	96	0,90	415	250	96	0,88	425
	315	97	0,91	520	315	96	0,88	540
355	355	97	0,90	590	355	96	0,87	610
	400	97	0,91	660	400	96	0,87	690
	500	97	0,91	820	500	97	0,88	850
400	560	97	0,91	910	560	97	0,88	950
	630	97	0,91	1020	630	97	0,88	1060
	710	97	0,91	670	710	97	0,89	690 ¹⁾
450	800	97	0,91	760	800	97	0,88	780 ¹⁾
	900	97	0,92	840 ¹⁾	900	97	0,88	880 ¹⁾
	1000	97	0,93	920 ¹⁾	1000	97	0,89	970 ¹⁾

1) Bemessungsstrom bei 690 V

Tafel 9.25 Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer, oberflächengekühlt
IP 55, Baugröße 160 bis 450 (Norm- und Transnormmotoren)

Bau- größe	1000 1/min, 6-polig 50 Hz				750 1/min, 8-polig 50 Hz			
	Bemes- sungs- leistung	Wir- kungs- grad	Leis- tungs- faktor	Bemes- sungs- strom bei 400 V	Bemes- sungs- leistung	Wir- kungs- grad	Leis- tungs- faktor	Bemes- sungs- strom bei 400 V
	kW	%	$\cos \varphi$	A	kW	%	$\cos \varphi$	A
160 M	7,5	86	0,74	17	5,5	83,5	0,73	13
160 L	11	87,5	0,74	25	7,5	85,5	0,72	18
180 L	15	89,5	0,77	32	11	87	0,75	24
200L	18,5	90	0,77	39	15	87,5	0,78	32
	22	91	0,77	46				
225 S					18,5	89	0,79	38
225 M	30	92	0,77	61	22	90	0,79	45
250 M	37	92	0,86	68	30	92	0,82	58
280 S	45	93	0,86	81	37	93	0,82	70
280 M	55	93	0,86	99	45	93	0,83	84
315 S	75	94	0,86	134	55	93	0,82	104
315 M	90	94	0,86	160	75	94	0,83	138
315 L	110	95	0,86	194	90	94	0,83	166
	132	95	0,86	235	110	94	0,83	206
	160	95	0,86	280	132	94	0,82	245
315	200	96	0,87	345	160	95	0,82	295
	250	96	0,87	430	200	95	0,82	370
355	315	96	0,87	540	250	96	0,82	460
	400	96	0,87	690	315	96	0,82	580
400	450	96	0,86	780	355	96	0,82	650
	500	96	0,87	860	400	96	0,82	730
	560	97	0,87	960	450	96	0,82	820
450	630	97	0,86	1100	500	96	0,81	920
	710	97	0,87	710	560	96	0,81	1040
	800	97	0,87	790	630	96	0,81	1160

Tafel 9.26 Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer, oberflächengekühlt
 Zündschutzart EEx e II, Erhöhte Sicherheit
 Baugröße 90 bis 355 (Norm- und Transnormmotoren)

Baugröße	3000 1/min		1500 1/min		1000 1/min	
	Bemessungsleistung kW bei Temperaturklasse					
	T1, T2	T3	T1, T2	T3	T1, T2	T3
90 S	1,3	1,3	1	1	0,65	0,65
90 L	1,85	1,85	1,35	1,35	0,95	0,95
100 L	2,5	2,5	2	2	1,3	1,3
			2,5	2,5		
112 M	3,3	3,3	3,6	3,6	1,9	1,9
132 S	4,6	4,6	5	5	2,6	2,6
	6,5	5,5				
132 M			6,8	6,8	3,5	3,5
			4,8	4,8		
160 M	9,5	7,5	10	10	6,6	6,6
160 L	13	10	13,5	13,5	9,7	9,7
	16	12,5				
180 M	19	15	17	15	13,2	13,2
180 L			20	17,5		
200 L	25	20	27	24	16,5	16,5
	31	24			20	20
225 S			33	30		
225 M	38	28	40	36	27	27
250 M	47	36	50	44	33	33
280 S	64	47	68	58	40	40
280 M	76	58	80	70	50	46
315 S	95	68	100	84	68	64
315 M	112	80	120	100	82	76
315 L	135	100	135	115	98	92
	165	125	165	135	120	110
					135	125
315	200	150	200	170	175	160
	255	190	245	215	215	200
355	300	220	275	240	275	250
	335	258	315	275	340	315
					400	300

Tafel 9.27 Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer
 Zündschutzart EEx de IIC, Druckfeste Kapselung
 Baugröße 80 bis 315 L (Normmotoren)

Baugröße	3000 1/min	1500 1/min	1000 1/min	750 1/min
	Bemessungsleistung kW bei Temperaturklasse T1 bis T4			
80	0,75	0,55	0,37	
	1,1	0,75	0,55	
90 L	1,5	1,1	0,75	0,37
	2,2	1,5	1,1	0,55
100 L	3	2,2	1,5	0,75
		3		1,1
112 M	4	4	2,2	1,5
132 S	5,5	5,5	3	2,2
	7,5	7,5		
132 M			4	3
			5,5	
160 M	11	11	7,5	4
	15			5,5
160 L	18,5	15	11	7,5
180 M	22	18,5		
180 L		22	15	11
200 L	30	30	18,5	15
	37		22	
225 S	45	37		18,5
225 M		45	30	
250 M	55	55	37	30
280 S	75	75	45	37
280 M	90	90	55	45
315 S	110	110	75	55
315 M	132	132	90	75
	160	160	110	90
			132	110
315 L	200	200	160	132

Tafel 9.28 Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer
 Zündschutzart EEx de IIC, Druckfeste Kapselung
 Baugröße 355 bis 450 (Transnormmotoren)

Baugröße	3000 1/min	1500 1/min	1000 1/min	750 1/min
	Bemessungsleistung kW bei Temperaturklasse T1 bis T4			
355 M	250	225 250	200	160
355 L	315	280 315	250	200
400 S	355	355	280	250
400 M	400	400	315	280
400 L		450	355	315
450 M	450	500	400	355
450 L	500 560	560 630	450 500	400 450