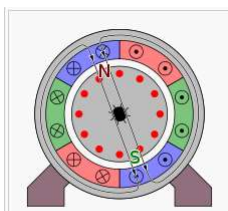
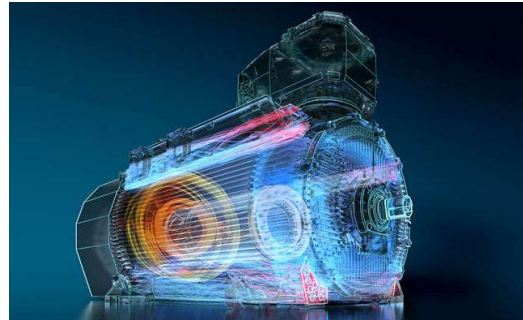


## Startvarianten für den Drehstrom-Asynchronmotor

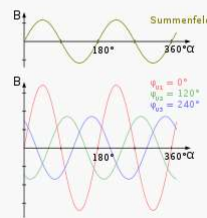
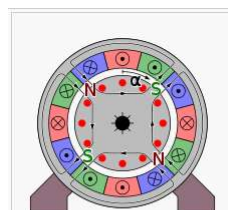
Der Drehstrom-Asynchronmotor wird in Bezug auf Konstruktion und Schaltart seines passiven Läufers auch Käfigläufer oder Kurzschlussläufer (-motor) genannt.

Vergleichbar einem **rotierenden Transformator** und gemäß seiner Wirkweise ist aber auch die Bezeichnung Induktionsmotor üblich.

Ausführungen mit **getrennten Statorwicklungen** werden als **Dahlandermotor** bezeichnet.

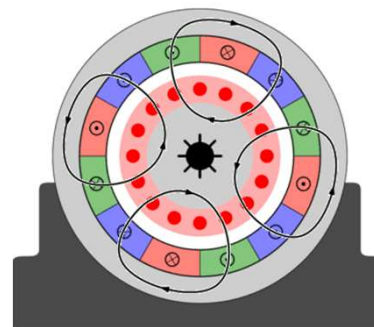


Asynchronmaschine mit der Polpaarzahl  $p = 1$  und 3 Strängen



Asynchronmaschine mit der Polpaarzahl  $p = 2$  und 3 Strängen; die Diagramme zeigen die Feldstärke im Luftspalt

Wicklung einer **4-poligen** Asynchronmaschine mit drei Strängen und Käfigläufer



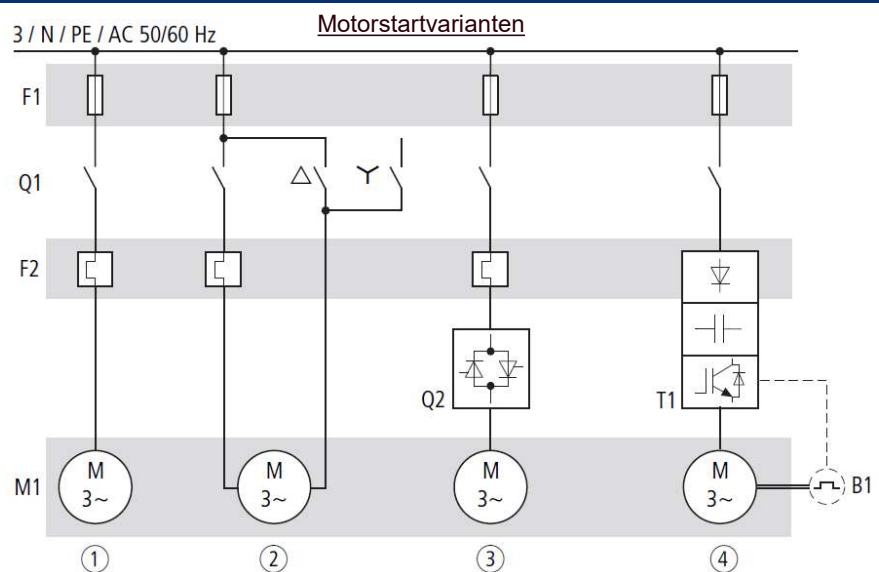
Asynchronmaschine mit Polpaarzahl 2. **Schlupf:** Das Statorfeld hat eine höhere Umlaufgeschwindigkeit als der Rotor



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### TAB zum Einschalten von Motoren

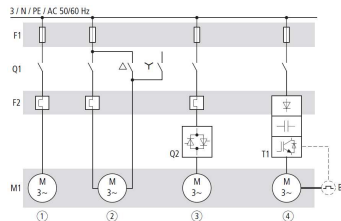
Die TAB (Technischen Anschlussbedingungen) der Energieversorgungsunternehmen (EVU) geben vor, dass elektrische Maschinen mit einem **Einschaltstrom > 60 A** oder einer **Gesamtscheinleistung von > 5,2 kVA** (außer der Einschaltstrom ist kleiner als 60 A) nicht direkt am Netz eingeschaltet werden dürfen. Die TAB gehen daher von einem 8-fachen Einschaltstrom aus:



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

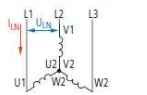
F1 = Absicherung (Kurzschluss- und Leitungsschutz)  
Q1 = Schalten (Leistungsschütz, Motorschütz)  
F2 = Motorschutz (Schutz vor thermischer Überlast, Motorschutzrelais)  
M1 = Drehstrom-Asynchronmotor

- ① Direkter Motorstart.
- ② Stern-Dreieck-Starter, die bekannteste und am meisten angewandte Startvariante.
- ③ Softstarter (Q2), der kontinuierliche und stufenlose Motorstart. Eine moderne, elektronische Alternative zum Stern-Dreieck-Starter.
- ④ Frequenzumrichter (T1), geführter, stufenloser Motorstart mit Nennmoment. Frequenzumrichter ermöglichen zudem eine stufenlose Drehzahlsteuerung und haben einen elektronischen Motorschutz ( $I^2t$ ) integriert. Je nach Ausprägung ermöglichen sie auch die genaue Drehzahlregelung (Option, Impulsgeber B1) beim sonst schlupfabhängigen Asynchronmotor.

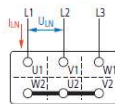


Sternschaltung

230 / 400 V $\Delta / Y$	14.5 / 8.5 A
S1 4.0 KW	$\cos \varphi 0.82$
1410 $\text{min}^{-1}$	50 Hz
IP 54	Iso. KI F



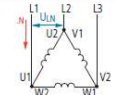
$U_{LN} = \sqrt{3} \cdot U_W$       $I_{LN} = I_W$



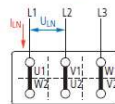
- Mit seiner Spannungsangabe von 230/400 V muss dieser Motor in der Sternschaltung am Drehstromnetz ( $U_{LN} = 400 \text{ V}$ ) angeschlossen werden.
- Die Spannung einer Motorwicklung ist hier für eine maximale Spannung von 230 V ausgelegt.
- Die drei Wicklungsstränge (W2-U2-V2) sind im Klemmkasten zum so genannten Sternpunkt zusammen gefasst. Die Spannung der einzelnen Phasen zum Sternpunkt ist 230 V.

Dreieckschaltung

400 / 690 V $\Delta / Y$	8.5 / 4.9 A
S1 4.0 KW	$\cos \varphi 0.82$
1410 $\text{min}^{-1}$	50 Hz
IP 54	Iso. KI F



$U_{LN} = U_W$       $I_{LN} = \sqrt{3} \cdot I_W$



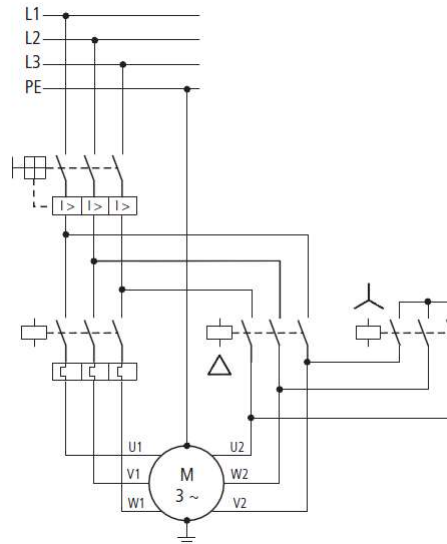
- Mit seiner Spannungsangabe von 400/690 V muss dieser Motor in der Dreieckschaltung am Drehstromnetz ( $U_{LN} = 400 \text{ V}$ ) angeschlossen werden.
- Jede Motorwicklung ist hier für die maximale Phasenspannung von 400 V ausgelegt und kann direkt angeschlossen werden.
- Für den Direktanlauf werden im Klemmkasten die Enden der Wicklung zusammengefasst (U1-W2, V1-U2, W1-V2) und mit den einzelnen Phasen verbunden.

In der Sternschaltung reduziert sich die Netzspannung (ULN) an der einzelnen Motorwicklung um den **Faktor  $1/\sqrt{3}$  (~ 0,58)**.  
**Zum Beispiel: 400 V  $1/\sqrt{3} = 230$  V.**

Anzugsdrehmoment und Einschaltstrom werden dabei (in der Sternschaltung) auf **etwa ein Drittel** der Werte bei der Dreieckschaltung **reduziert**.

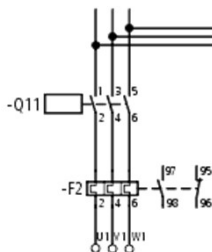
Wegen des **reduzierten Anzugsmoments eignet sich die Stern-Dreieck-Schaltung für Antriebe mit kleinem oder erst mit der Drehzahl steigendem Lastmoment** wie zum Beispiel bei Pumpen und Lüftern (Ventilatoren).

Sie wird auch dort eingesetzt, wo der Antrieb erst nach dem Hochlauf belastet wird, beispielsweise bei Pressen und Zentrifugen.



## Stern-Dreieck-Schaltungen mit Motorschutzrelais

**Anordnung in der Motorleitung (<15s Umschaltzeit → Leichtanlauf)**

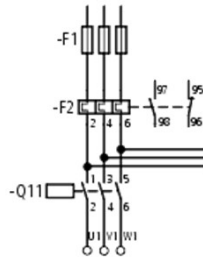


Stern-Dreieck-Schalter mit Motorschutzrelais, also mit thermisch verzögertem Überstromrelais, haben in der normalen Schaltung das Motorschutzrelais in den Ableitungen zu den Motorklemmen U1, V1, W1 oder V2, W2, U2.

**Relaisbemessungsstrom = Motorbemessungsstrom × 0,58**

## Stern-Dreieck-Schaltungen mit Motorschutzrelais

Anordnung in der Netzzuleitung (>15s<40s Umschaltzeit →Mittellastanlauf)



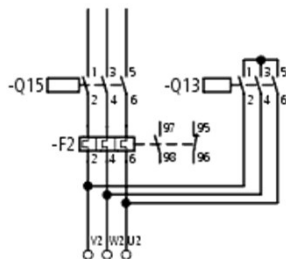
Für Antriebe, bei denen während des Anlaufs in der Sternschaltung des Motors das Relais F2 bereits auslöst, kann das für den **Motorbemessungsstrom bemessene Relais F2 in die Netzzuleitung** geschaltet werden.

Die **Auslösezeit** verlängert sich dann etwa auf das **4- bis 6-fache**. In der **Sternschaltung** wird zwar auch das Relais vom Strom durchflossen, bietet aber in dieser Schaltung **keinen vollwertigen Schutz**, da es in dieser Position auf den **Nennstrom des Motors einzustellen ist**.

**Es bietet aber Schutz gegen Nichtanlauf.**

## Stern-Dreieck-Schaltungen mit Motorschutzrelais

Anordnung in der Dreieckschaltung (>40s Umschaltzeit →Schwerlastanlauf)



Bei sehr schweren, langandauernden Anläufen (z. B. in Zentrifugen) kann das für den **Relaisbemessungsstrom = Motorbemessungsstrom × 0,58** bemessene Relais F2 auch in die Verbindungsleitungen Dreieckschütz Q15 – Sternschütz Q13 geschaltet werden.

In der **Sternschaltung** wird dann das Relais F2 **nicht vom Strom durchflossen**.

**Beim Anlauf ist also kein Motorschutz vorhanden.**

Diese Schaltung wird immer dann angewendet, wenn ausgesprochener Schwer- oder Langzeitanlauf vorliegt.

### Stern-Dreieck-Schalter (YΔ)

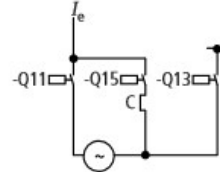
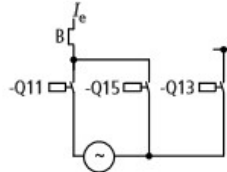
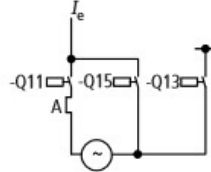
1 Drehrichtung

Umschaltzeit bei Motorschutzrelais in Position

A: < 15 s

B: > 15 < 40 s

C: > 40 s



### Einstellung des Motorschutzrelais

$0,58 \times I_s$

In Y-Stellung voller Schutz  
des Motors

$1 \times I_s$

In Y-Stellung nur bedingter  
Motorschutz

$0,58 \times I_s$

In Y-Stellung kein Motor-  
schutz

#### Frage 1:

Wieso ist der am Typenschild angegebene Wert der Leistung geringer als der in der Software dargestellte?

Am Typenschild wird die Abgabeleistung des Motors angegeben.

Die elektrische Leistung ist in diesem Fall:

$$P = U_{str.} \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi = 230 \text{ V} \cdot 0,17 \text{ A} \cdot 1,73 \cdot 0,64 = 43,29 \text{ W}$$



Heidolph Elektro GmbH & Co KG Starenstrasse 23  
D-93309 Kelheim Tel. +49/9441/707-0 Fax 707-259



Motortyp **S031-D203-0001-1A**

Serien-Nr.	XXXXXXXXXXXX/42079	Mn	0,120 Nm
U	230/400 V AC	f	50/60 Hz
Therm.Schutz	140 Grad Celsius	U/min	2700
I <sub>nenn</sub>	0,30/0,17 A (230/400V)	Schutzart IP	IP54
EMK-Konst.		cos phi	0,64
Drehmomentkonst.		C	
Bremse U	Mn	Betriebsart	S2
Geber U	Impulse/U	Iso. Klasse	F



Kennbuchstabe	Bedeutung
U = 230/400 V AC	Betriebsspannungen der beiden Schaltungsarten
$\Delta / \lambda$	Schaltungsarten „Dreieck“ und „Stern“
f = 50/60 Hz	Betriebsfrequenz des Motors
Therm.Schutz = 140°C	Auslösepunkt des Temperaturschalters
I <sub>nenn</sub> = 0,30/0,17 A	Nennstrom für die beiden Schaltungsarten
M <sub>n</sub> = 0,120 Nm	Nenndrehmoment
P <sub>2</sub> = 30 W	Abgabeleistung des Motors
U/min = 2700	Drehzahl des Motors
Schutzart IP 54	1. Ziffer: Berührungs- und Fremdkörperschutz 5: Schutz gegen Staubablagerung 2. Ziffer: Schutz gegen Wasser 4: Spritzwasser
cos phi = 0,64	Leistungsfaktor des Motors
Betriebsart S2	Kurzzeitbetrieb, Pause deutlich länger als Betriebszeit
ISO. Klasse F	höchstzulässige Dauertemperatur 155°C

## Phasenanschnitt

Leistungsregelung am **steuerbaren Gleichrichter** durch Verschiebung der Thyristor-Einschaltzeitpunkte.  
Der Thyristor sitzt hierbei nach dem Gleichrichter.

**Zur Einschaltstrombegrenzung induktiver Verbraucher (u. a. Transformatoren, Motoren ) werden oft phasenanschnittgesteuerte Thyristoren oder Triacs benutzt.**

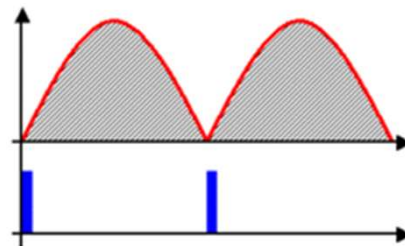
Diese Baugruppen steuern den Stromflusswinkel allmählich in Form einer Rampe auf den vollen Wert.

Oft können sie gleichzeitig als Leistungssteller dienen.

Eine Variante zum **Begrenzen der Einschaltströme** von Transformatoren sind elektronische Einschaltstrombegrenzer oder Trafoschaltrelais.

Bei ihnen werden die Thyristoren nach dem Einschalten mit einem Relaiskontakt überbrückt.

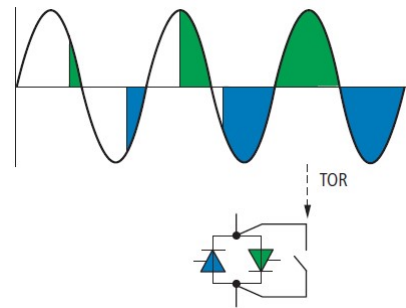
Solche Vorschaltgeräte vermeiden den Einschaltstrom auch bei wiederholtem Einschalten.



## Phasenanschnittsteuerung und Bypass-Kontakt

Nach Ablauf der eingestellten Startzeit ( $t_{\text{Start}}$ ) sind die Thyristoren voll angesteuert (volle Sinushalbwellen => Top Of Ramp: TOR).

Da die Thyristoren nur während der Hochlaufphase bzw. während der Auslaufphase aktiv sind, können sie für den statischen Dauerbetrieb durch so genannte **Bypass-Kontakte überbrückt** werden.



## Softstarter

In vielen Fällen sind der direkte Anlauf und der stufige Stern-Dreieck-Anlauf des Drehstrom-Asynchronmotors nicht die beste Lösung, denn hohe Stromspitzen beeinflussen das elektrische Netz und Momentstöße beanspruchen stark die mechanischen Teile von Maschine oder Anlage.

Der Softstarter schafft hier Abhilfe. Er ermöglicht einen **kontinuierlichen und stoßfreien Drehmomentanstieg** und bietet auch die Möglichkeit einer gezielten **Anlaufstromreduzierung**.

Die Motorspannung wird dazu innerhalb einer einstellbaren Anlaufzeit von einer gewählten Startspannung auf die Motornennspannung **erhöht**.

Die Motorspannung wird im Softstarter mit einer **Phasenanschnittsteuerung** der Sinushalbwellen verändert.

Dazu sind in den Phasen **zwei Thyristoren antiparallel** geschaltet. **Einer für die positive und einer für die negative Halbwelle**.





Durch **Spannungsverringering** kann mit dem Softstarter auch der **Auslauf** des Antriebes **gesteuert** werden.

Die charakteristischen Kennlinien des Drehstrom-Asynchronmotors gelten nur dann, wenn die volle Netzspannung (ULN) zur Verfügung steht. Wenn eine kleinere Spannung anliegt, verringert sich das Drehmoment quadratisch ( $M \sim U^2$ ).

Wird beispielsweise im Vergleich zum Stern-Dreieck-Anlauf die Motorspannung auf 58 % ( $\sim 1/3$ ) reduziert, verringert sich das Drehmoment auf etwa 33 % (ein Drittel).

Die Differenz zwischen Lastkennlinie (ML) und Momentkennlinie des Motors (MM) und damit die Beschleunigungskraft, lässt sich so durch Anpassen der Motorspannung beeinflussen.

Der **Softstarter** ist daher vor allem bei Anwendungen mit **belasteten Anläufen** (Last kann nicht nach dem Hochlaufen zugeschaltet werden) der Stern-Dreieck-Schaltung vorzuziehen.

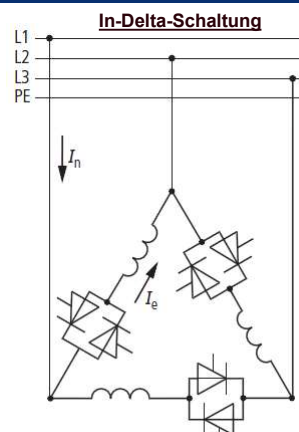
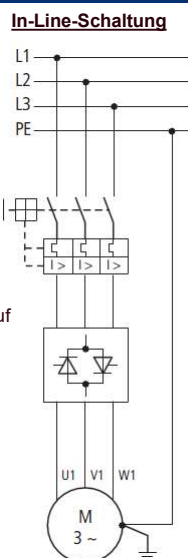


Aus wirtschaftlichen Gründen und unter Berücksichtigung von **Energiesparmaßnahmen** ist er, besonders bei Antrieben mit größerer Leistung, ein **Ersatz** für die Stern-Dreieck-Schaltungen.

## Dreiphasiger Sanftanlauf

**IN-LINE** heißt, dass der Sanftanlauf zwischen Motorschutzschalter und Motor schaltet.

Dabei muss der **Sanftanlauf auf den Leiterstrom ausgelegt** werden, wofür **3 Leiter + PE** benötigt werden.



**IN-DELTA** heißt, dass der Sanftanlauf in die drei Wicklungsstränge des Motors geschaltet wird.

Dabei sind **6 Leiter + PE** zusätzlich zum Schaltstrang erforderlich. Der Vorteil der DELTA-Schaltung ist jedoch der um den Faktor Wurzel 3 geringere Strangstrom (Strangstrom = 58 % Leiterstrom), was in kleineren Baugrößen und geringerer Verlustleistung resultiert.

## Frequenzumrichter

Der Frequenzumrichter ist letztendlich die **beste Lösung** für den **kontinuierlichen und stufenlosen Anlauf** des Drehstrom-Asynchronmotors. Durch die einstellbare Strombegrenzung werden hohe Stromspitzen im elektrischen Netz und stoßartige Belastungen in den mechanischen Teilen von Maschine und Anlage verhindert.

Neben dem kontinuierlichen Anlauf ermöglicht der Frequenzumrichter auch eine **stufenlose Drehzahl- (Frequenz-) Steuerung** des Drehstrom-Asynchronmotors.



Während beim direkt am Versorgungsnetz angeschlossenen Motor die idealen Betriebsverhältnisse nur im stationären Arbeitspunkt (=Leistungsschildangaben) bestehen, können sie frequenzgeregelt im gesamten Stellbereich genutzt werden, von beispielsweise **4 V bei 0,5 Hz bis 400 V bei 50 Hz**.

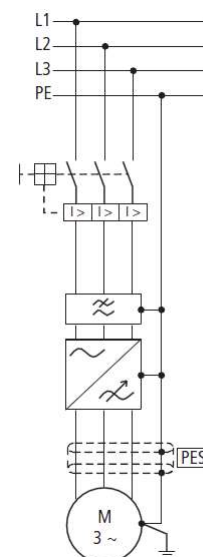
Das konstante Verhältnis von Spannung zu Frequenz (U/f) gewährleistet dabei **unabhängige Arbeitspunkte mit Nennmoment (NM)**.



Höhere Anschaffungskosten und zusätzlich erforderliche Installationsmaßnahmen (abgeschirmte Motorleitungen und Funkentstörfilter zur elektromagnetischen Verträglichkeit, EMV) lassen den Frequenzumrichter zunächst als **teuerste Lösung** erscheinen.

Doch spätestens im Betrieb zeigt der sanfte Motorstart neben Energieeffizienz und Prozessoptimierung auch **wirtschaftliche Vorteile** auf. Dies gilt beispielsweise besonders für **Pumpen und Ventilatoren**.

Durch die Anpassung von Drehzahl und Geschwindigkeit an den Produktionsprozess und die Kompensation äußerer Störgrößen gewährleistet die frequenzgeregelte **Antriebseinheit eine höhere Lebensdauer** und Funktionssicherheit.



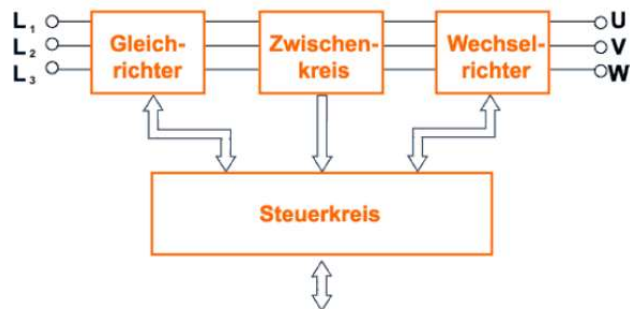
Wann kann eine Asynchronmaschine ein Moment erzeugen?

Um ein Moment erzeugen zu können, ist bei einer Asynchronmaschine

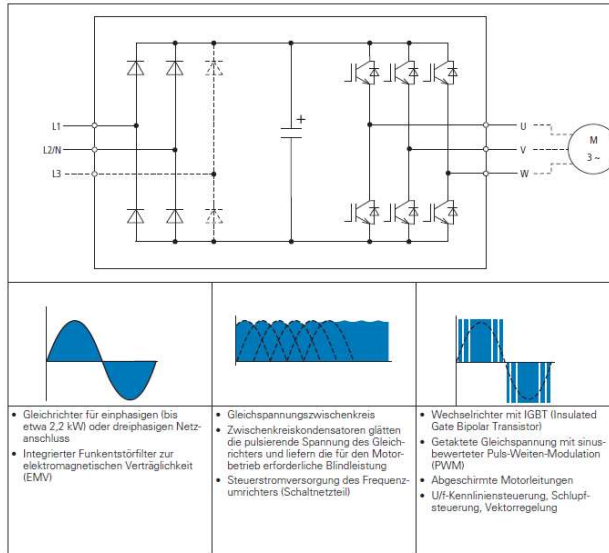
1. ein Strom
2. eine Frequenz erforderlich.



**Achtung:** Wird ein Motor häufig bei geringen Drehzahlen betrieben, ist ein Fremdlüfter einzusetzen !



Die für den Motorbetrieb erforderliche Blindleistung liefern die Kondensatoren im Zwischenkreis. Zum elektrischen Netz hin verhält sich der frequenzgeregelte Antrieb dabei quasi wie ein ohmscher Verbraucher ( $\cos \sim 1$ ).



Weitere Vorteile des Frequenzumrichters sind die höhere **Drehzahlkonstanz bei Lastschwankungen** (Drehzahlabweichungen kleiner etwa ein Prozent) und die Möglichkeit des **direkten Drehrichtungswechsels**.

Da das Drehfeld im Frequenzumrichter elektronisch gebildet wird, genügt hier ein Steuerbefehl, um die Phasenfolge um damit die Drehrichtung des Motors zu wechseln. Der in Frequenzumrichtern **integrierte elektronische Motorschutz** (I2t-Regelung) ermöglicht zudem einen sicheren Betrieb **ohne** zusätzliche Schutzmaßnahmen (**Motorschutzrelais**).

Je nach Ausprägung bieten parametrierbare Temperaturmodelle im Frequenzumrichter einen hohen **Wärmeschutz** des Motors.

In Verbindung mit Thermistoren ist auch der so genannte Motor-Vollschutz möglich. **Über- und Unterlasterkennung** erhöhen dabei auch die Betriebssicherheit der Antriebseinheit.



Im Hauptstromkreis eines Motorabgangs arbeitet der Frequenzumrichter als Leistungswandler. Getrennt durch die Leistung des Gleichspannungszwischenkreises nimmt er über den Gleichrichter aus dem speisenden Netz Wirkleistung auf und versorgt dann über den Wechselrichter den angeschlossenen Motor mit Wirk- und Blindleistung.

Neben der standardmäßigen U/f-Steuerung mit linearem oder quadratischem Kennlinienverlauf, sind die sensorlose Drehzahlsteuerung mit Schlupfkompensation und die Drehmoment erhöhende Vektorsteuerung heute bekannte Verfahren.

Während die U/f-Steuerung den Parallelbetrieb mehrerer Motoren, auch mit unterschiedlichen Leistungen, im Ausgang des Frequenzumrichters ermöglicht, sind Drehzahl- und Vektorsteuerung nur für den Einzelantrieb vorgesehen.

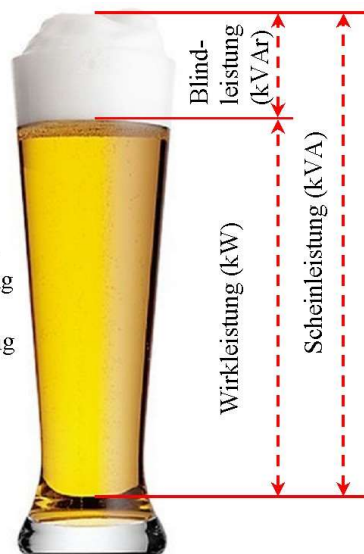


355KW 30.000€



	Direkter Motorstart	Stern-Dreieck Starter	Softstarter	Frequenzumrichter
Blockschaltbild				
Spannungsverlauf				
Netzbelastung beim Anlauf	hoch	mittel	gering bis mittel	gering
Stromverlauf				

Endlich eine vernünftige Erklärung zu Wirk-, Blind- und Scheinleistung auch für Nicht-Elektrotechniker



**Achtung:**

Dies ist ein Scherz !  
Pythagoras ist zwar tot, aber.....  
Wirkleistung und Blindleistung werden **NICHT addiert**, um die Scheinleistung zu erhalten !!!



