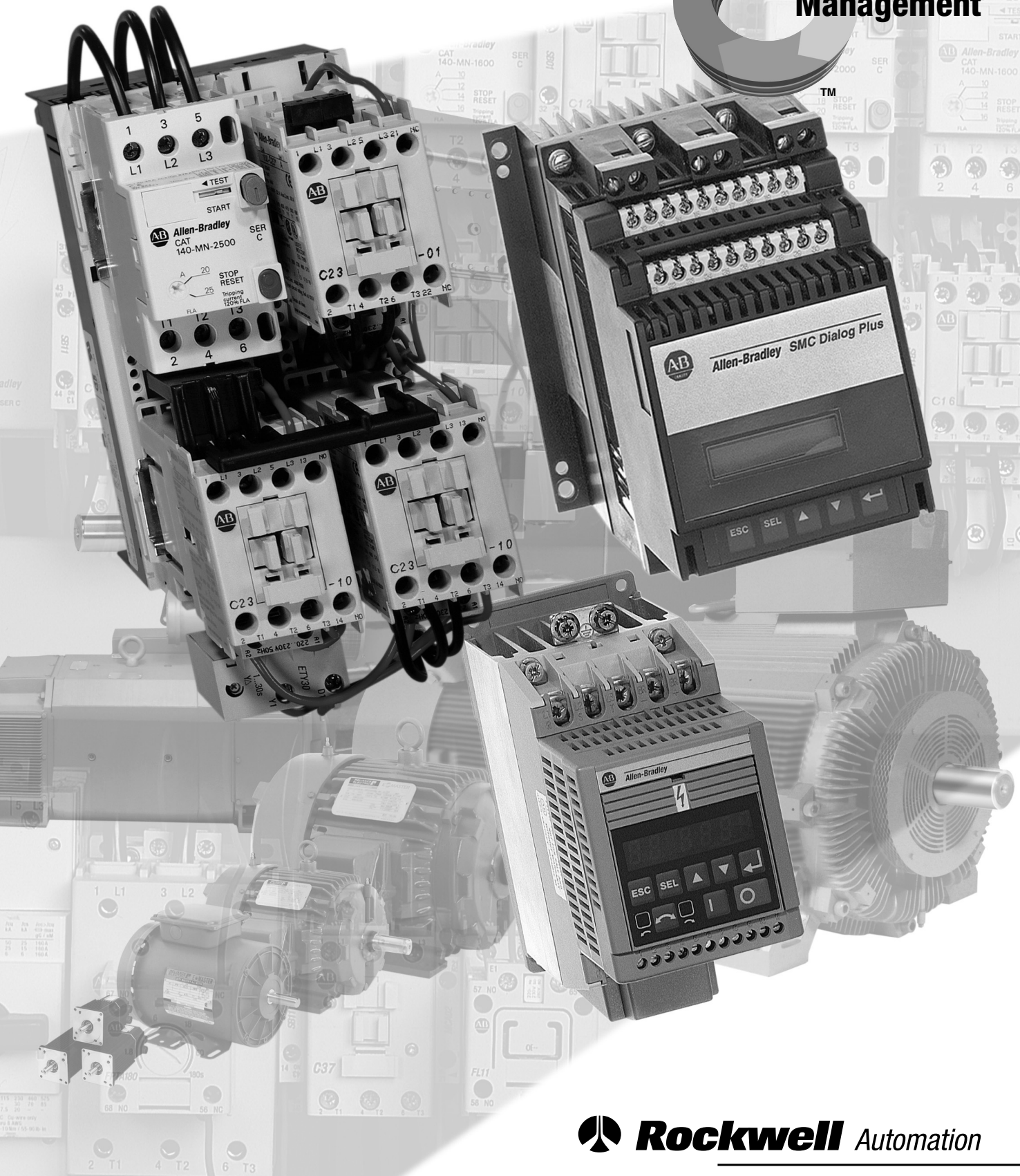


# Grundlagen für die Praxis Starten von Motoren

*Traditioneller Motorstart,  
Softstarter, Frequenzumrichter*



**Motor  
Management**





## Vorwort

Das vorliegende Fachbuch «Starten von Motoren» ist eine weitere Publikation zum Thema «Motor Management».

Mit diesen, in lockerer Folge erscheinenden Grundlagen für die Praxis steht dem Anwender ein wachsendes Nachschlagewerk rund um den Leistungsabgang für Projektierung und Anwendung zur Verfügung.

Themenbereiche sind:

- Schutz von Motor und Antrieb,
- Auswahl und Anwendung von Schaltgeräten,
- Kommunikation.

Bereits erschienen sind die Fachbücher

- «Drehstromasynchronmotoren», informiert über Aufbau, Betriebsarten, Auswahl und Dimensionierung von Motoren und
- «Grundlagen Leistungsschalter», ergänzende Angaben für den praktischen Umgang mit Leistungsschaltern.

Elektromotoren sind heute in jedem Produktionsprozess zu finden. Der optimalen Ausnutzung der Antriebe kommt unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit wachsende Bedeutung zu. «Motor Management» von Rockwell Automation hilft Ihnen,

- Anlagen besser zu nutzen,
- Unterhaltskosten zu senken,
- die Betriebssicherheit zu erhöhen.

Wir freuen uns, wenn Ihnen unsere Publikationen mithelfen, wirtschaftliche und effiziente Lösungen für Ihre Anwendungen zu finden.

Copyright © 1997 by Rockwell Automation AG

Alle Angaben erfolgen nach dem aktuellen Stand der Technik, ohne rechtliche Verbindlichkeit.

Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Traditioneller Motorstart</b>	<b>1.1</b>
<b>1.1</b>	<b>Stern-Dreieck-Anlauf</b>	<b>1.1</b>
1.1.1	Normaler Stern-Dreieck-Anlauf	1.1
1.1.2	Verstärkter Stern-Dreieck-Anlauf	1.5
1.1.2.1	Gemischter Stern-Dreieck-Anlauf	1.5
1.1.2.2	Teilwicklungs-Stern-Dreieck-Anlauf	1.6
1.1.3	Unterbrechungsloser Stern-Dreieck-Anlauf	1.6
<b>1.2</b>	<b>Autotransformator-Anlauf</b>	<b>1.8</b>
<b>1.3</b>	<b>Anlauf über Drosseln oder Widerstände</b>	<b>1.9</b>
1.3.1	Anlauf über Drosseln	1.9
1.3.2	Anlauf über Widerstände	1.10
<b>1.4</b>	<b>Mehrstufenmotoren</b>	<b>1.11</b>
<b>2</b>	<b>Softstarter</b>	<b>2.1</b>
<b>2.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>2.1</b>
<b>2.2</b>	<b>Realisation des Sanftanlaufes</b>	<b>2.2</b>
2.2.1	Reduzierung des Motormomentes	2.3
2.2.2	Beeinflussung der Motorspannung	2.3
<b>2.3</b>	<b>Anlaufarten</b>	<b>2.4</b>
2.3.1	Anlauf mittels Spannungsrampe	2.4
2.3.2	Anlauf mittels Strombegrenzung	2.5
2.3.3	Momente	2.5
<b>2.4</b>	<b>Softstarter-Typen</b>	<b>2.5</b>
2.4.1	Einphasen vollwellengesteuerter Softstarter	2.6
2.4.2	Dreiphasen halbwellengesteuerter Softstarter	2.7
2.4.3	Dreiphasen vollwellengesteuerter Softstarter	2.8
<b>2.5</b>	<b>Thermische Belastung beim Start</b>	<b>2.8</b>
<b>2.6</b>	<b>Softstarter Vorteile</b>	<b>2.9</b>
<b>2.7</b>	<b>Kundennutzen</b>	<b>2.9</b>
2.7.1	Mechanisch	2.9
2.7.2	Elektrisch	2.10

<b>2.8</b>	<b>Einsatzmöglichkeiten</b>	<b>2.10</b>
<b>2.9</b>	<b>Starten von Pumpen</b>	<b>2.11</b>
2.9.1	Strom- und Momentverlauf bei einem Stern-Dreieck-Start	2.11
2.9.2	Drehzahlverlauf bei einem Start mit Pumpensoftstarter	2.12
2.9.3	Vergleich der Momentkurven	2.12
2.9.4	Strömungsverlauf beim Starten	2.13
2.9.5	Strömungsverlauf beim Stoppen	2.13
2.9.6	Anforderungen an einen Softstarter für Pumpen	2.14
2.9.7	Anwendungsgebiete	2.14
<b>2.10</b>	<b>Optionen</b>	<b>2.14</b>
<b>3</b>	<b>Frequenzumrichter</b>	<b>3.1</b>
<b>3.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>3.1</b>
<b>3.2</b>	<b>Aufbau</b>	<b>3.1</b>
3.2.1	Netzgleichrichter	3.2
3.2.1.1	Prinzipielle Darstellung der pulsierenden Gleichspannungen	3.2
3.2.2	Zwischenkreis	3.3
3.2.3	Wechselrichter	3.3
3.2.3.1	Prinzipielle Darstellung der Pulsweiten-Modulation	3.4
<b>3.3</b>	<b>Betriebsverhalten</b>	<b>3.4</b>
3.3.1	Frequenz-Spannungs-Verhältnis	3.4
3.3.2	Spannungsanhebung oder Boost	3.5
3.3.3	Schlupfkompensierung	3.6
3.3.4	Sollwert	3.6
3.3.5	Kompensation	3.6
3.3.6	Motorschutz	3.7
3.3.7	Drehrichtungswechsel und Bremsen	3.7
<b>3.4</b>	<b>Frequenzumrichter Vorteile</b>	<b>3.8</b>
<b>3.5</b>	<b>Radiofrequente Störungen</b>	<b>3.8</b>
3.5.1	Allgemeines	3.8
3.5.2	Normen	3.9
3.5.3	Massnahmen	3.10
<b>4</b>	<b>Vergleich der Anlassverfahren</b>	<b>4.1</b>



## Starten von Elektro-Motoren

Kurzschlussläufermotoren sind wegen ihrer Einfachheit, Robustheit und der günstigen Kosten die industriell am häufigsten eingesetzten Motoren. Sie entwickeln beim direkten Einschalten Anlaufströme bis zum etwa 8-fachen des Nennstromes und damit verbunden hohe Anlaufmomente.

Die hohen Anlaufströme haben im speisenden Netz oft unliebsame Spannungseinbrüche zur Folge und die hohen Anlaufmomente beanspruchen die mechanischen Übertragungselemente stark. Deshalb setzen die Elektrizitätsversorgungsbetriebe Grenzwerte für die Motoranlaufströme im Vergleich zu den Nennbetriebsströmen fest. Die zulässigen Werte variieren von Netz zu Netz, je nach Belastbarkeit. Mit Rücksicht auf die Mechanik sind Methoden erwünscht, die die Anlaufdrehmomente reduzieren.

Um die Ströme und Momente zu reduzieren, bieten sich verschiedene Anlassschaltungen und -methoden an:

- Stern-Dreieck-Anlauf
- Autotransformator-Anlauf
- Anlauf über Drosseln oder Widerstände
- Mehrstufen-Anlauf
- Anlauf mittels elektronischer Sanftanlasser
- Anlauf mittels Frequenzumrichtern

Nachstehend wird auf die in der Praxis wichtigsten Anlaufmethoden eingegangen.

## 1 Traditioneller Motorstart

### 1.1 Stern-Dreieck-Anlauf

Man unterscheidet:

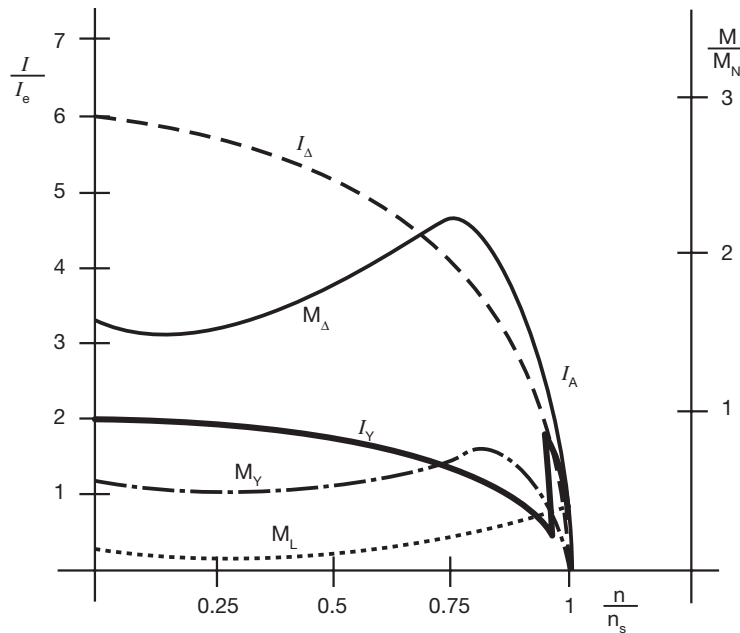
- Normaler Stern-Dreieck-Anlauf
- Verstärkter Stern-Dreieck-Anlauf
- Stern-Dreieck-Anlauf mit unterbrechungsloser Umschaltung (closed transition)

#### 1.1.1 Normaler Stern-Dreieck-Anlauf

Für den Anlauf werden die Motorwicklungen in Sternschaltung an die Netzspannung gelegt. Die Spannung an den einzelnen Motorwicklungen reduziert sich damit um den Faktor  $1/\sqrt{3}=0.58$ . Das Anzugsdrehmoment beträgt bei dieser Schaltung ca. 30% der Werte bei Dreieckschaltung. Der Einschaltstrom wird auf ein Drittel des Stromes bei Direkteinschaltung, d.h. auf typisch 2...2,5  $I_e$  reduziert.

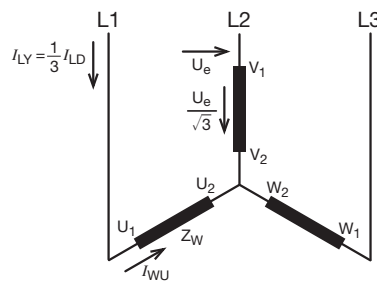
Wegen des reduzierten Anzugsmomentes eignet sich die Stern-Dreieck-Schaltung für Antriebe mit grosser Schwungmasse, aber kleinem oder erst mit der Drehzahl steigendem Widerstandsmoment. Sie wird bevorzugt dort eingesetzt, wo der Antrieb erst nach dem Hochlauf belastet wird.

Anwendungsbeispiele sind Pressen, Zentrifugen, Pumpen, Ventilatoren etc.

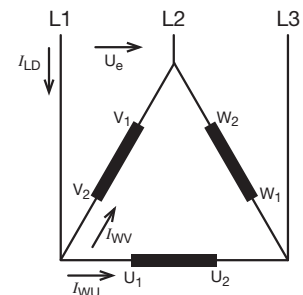


Typischer Strom- und Momentenverlauf beim Stern-Dreieck-Anlauf

I	Motorstrom	n	Drehzahl
I <sub>e</sub>	Bemessungs-Betriebsstrom des Motors	n <sub>s</sub>	Synchron-Drehzahl des Motors
M <sub>D</sub>	Drehmoment in Dreieckschaltung	M <sub>L</sub>	Lastmoment
M <sub>E</sub>	Bemessungs-Betriebsmoment des Motors	I <sub>Y</sub>	Strom in Sternschaltung
		I <sub>D</sub>	Strom in Dreieckschaltung
		I <sub>A</sub>	Stromverlauf bei Stern-Dreieck-Anlauf



Sternschaltung



Dreieckschaltung

Die Stromverhältnisse bei Stern- und Dreieckschaltung.

- I<sub>LY</sub> Zuleitungsstrom bei Sternschaltung
- I<sub>LD</sub> Zuleitungsstrom bei Dreieckschaltung
- I<sub>W</sub> Wicklungsstrom
- U<sub>e</sub> Netzspannung verkettet
- Z<sub>W</sub> Wicklungsimpedanz

$$I_{LY} = I_{WU} = \frac{U_e}{\sqrt{3} Z_W}$$

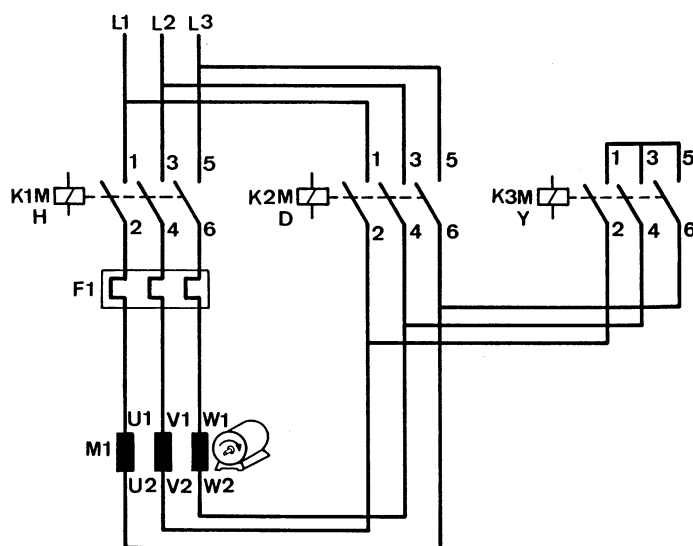
$$\vec{I}_{LD} = \vec{I}_{WU} + \vec{I}_{WV}$$

$$I_{LD} = I_W \sqrt{3} = \frac{U_e}{Z_W} \sqrt{3} = 3 I_{LY}$$

$$I_{LY} = \frac{1}{3} I_{LD}$$

Nach dem Hochlauf des Motors steuert meist ein Zeitrelais automatisch die Umschaltung von Stern auf Dreieck. Der Anlauf in Sternschaltung soll solange dauern, bis der Motor annähernd die Betriebsdrehzahl erreicht hat, um nach dem Umschalten auf Dreieck möglichst wenig Nachbeschleunigung leisten zu müssen. Die Nachbeschleunigung in Dreieckschaltung ist mit hohen Strömen wie bei Direktanlauf verbunden. Die zeitliche Dauer des Anlaufs in Sternschaltung ist abhängig von der Belastung des Motors. In Dreieckschaltung liegt die volle Netzspannung an den Motorwicklungen.

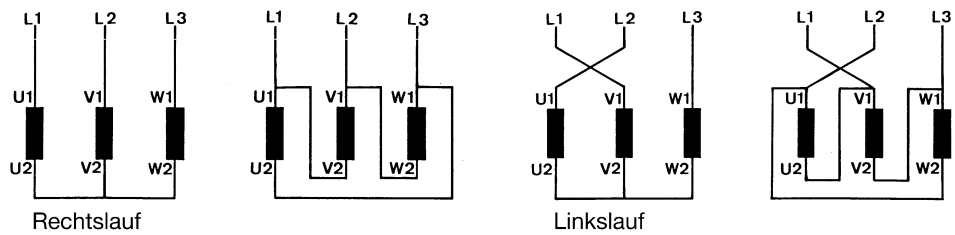
Für die Umschaltung von Stern auf Dreieck sind die 6 Enden der Motorwicklung auf Klemmen geführt. Die Schütze eines Stern-Dreieck-Starters schalten die Wicklungen entsprechend um.



*Umschaltung von Stern auf Dreieck mit Schützen*

Für den Anlauf in Stern schliesst das Hauptschütz das Netz an die Wicklungsenden U1, V1, W1. Das Sternschütz verbindet die Wicklungsenden U2, V2, W2. Nach erfolgtem Hochlauf schaltet das Sternschütz ab und das Dreieckschütz verbindet die Klemmen U1/V2, V1/W2, W1/U2.

Bei der Umschaltung von Stern auf Dreieck ist auf die richtige Phasenfolge, d.h. den richtigen Anschluss der Leiter an Motor und Starter zu achten. Bei falscher Phasenfolge können wegen des leichten Drehzahlabfalls während der stromlosen Umschaltpause beim Wiedereinschalten sehr hohe Stromspitzen entstehen, die die Motorwicklungen gefährden können und die Schaltgeräte unnötig beanspruchen. Dabei ist auf die Drehrichtung des Motors zu achten.



*Richtiger Anschluss des Motors*

Zwischen dem Abschalten des Stern-Schützes und dem Einschalten des Dreieck-Schützes muss eine genügend lange Pause liegen, um den Ausschaltlichtbogen im Sternschütz sicher zu löschen, bevor das Dreieck-Schütz einschaltet. Bei zu rascher Umschaltung kann über den Ausschaltlichtbogen ein Kurzschluss entstehen. Die Umschaltpause soll aber gerade so lang sein wie für die Lichtbogenlöschung nötig, damit die Drehzahl während der Umschaltpause möglichst wenig abfällt. Spezielle Zeitrelais für Stern-Dreieck-Umschaltung erfüllen diese Anforderungen.

### Motorschutz und Schütz-Dimensionierung

Das Motorschutzrelais wird in den Wicklungsstrang, d.h. an das Hauptschütz, geschaltet. Der einzustellende Strom ist deshalb um den Faktor  $1/\sqrt{3}=0.58$  kleiner als der Nennstrom des Motors. Wegen in den Motorwicklungen zirkulierenden Strömen der dritten Oberschwingung kann sich eine höhere Einstellung des Motorschutzrelais aufdrängen. Dies darf nur auf Basis einer Messung mit einem effektivwertrichtig messenden Messinstrument erfolgen. Die Leiterquerschnitte zum Motor und zurück sind thermisch gemäss Einstellstrom am Motorschutzrelais zu dimensionieren.

Bei Motorschutz mit Leistungschaltern mit Motorschutzcharakteristik wird der Leistungsschalter in die Netzzuleitungen geschaltet, da er auch den Kurzschlusschutz von Starter und Leitungen übernimmt. Die Stromeinstellung erfolgt in diesem Fall auf den Motornennstrom. Eine Einstellungskorrektur wegen der dritten Oberschwingung ist hier nicht relevant. Die Leitungen sind thermisch nach der Einstellung am Leistungsschalter zu dimensionieren.

Die Schaltgeräte sind beim normalen Stern-Dreieck-Anlauf nach folgenden Strömen zu dimensionieren:

- Hauptschütz            K1M     0,58  $I_e$
- Dreieckschütz        K2M     0,58  $I_e$
- Sternschütz           K3M     0,34  $I_e$

Für längere Anlaufzeiten als etwa 15 Sekunden muss das Stern-Schütz grösser gewählt werden. Wenn das Sternschütz gleich gross gewählt wird wie das Hauptschütz, sind Anlaufzeiten bis etwa 1 Minute zulässig.

## 1.1.2 Verstärkter Stern-Dreieck-Anlauf

Reicht das Drehmoment bei normalem Stern-Dreieck-Anlauf nicht aus, um den Antrieb in Sternschaltung auf annähernd Betriebsdrehzahl zu beschleunigen, kommt der verstärkte Stern-Dreieck-Anlauf zur Anwendung. Mit der Erhöhung des Drehmomentes erhöht sich allerdings auch die Stromaufnahme beim Anlauf.

Man unterscheidet zwischen:

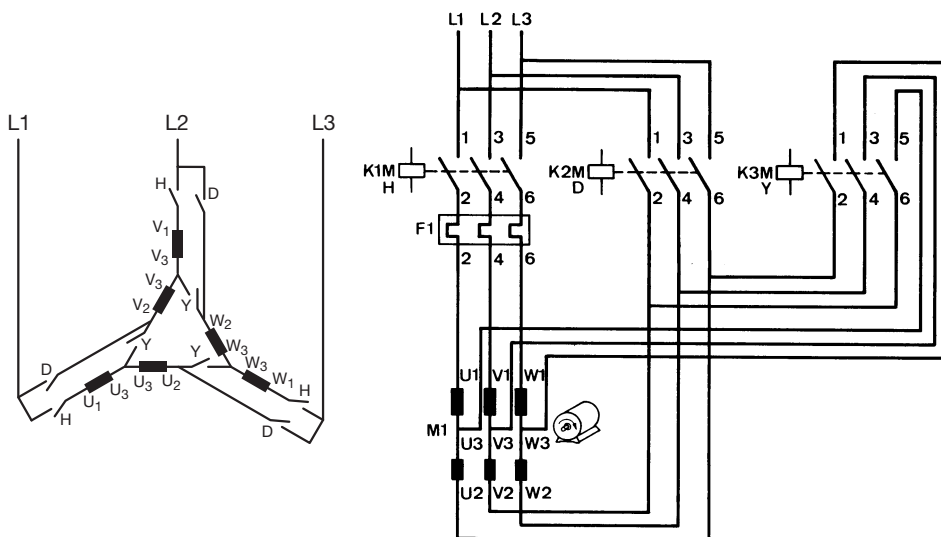
- gemischtem Stern-Dreieck-Anlauf
- Teilwicklungs-Stern-Dreieck-Anlauf

Für beide Arten sind Motoren mit entsprechenden Wicklungsanzapfungen erforderlich.

Für den Anschluss des Motors, die Ansteuerung der Schütze, den Motorschutz und die thermische Auslegung der Leiter gelten die gleichen Regeln wie für den normalen Stern-Dreieck-Anlauf.

### 1.1.2.1 Gemischter Stern-Dreieck-Anlauf

Hier sind die Motorwicklungen meistens in zwei gleiche Hälften geteilt. Beim Anlauf werden je eine halbe Wicklung in Dreieck, die andere Hälfte vor diese in Stern geschaltet. Daher die Bezeichnung "gemischt". Der Stern-Einschaltstrom ist ca. 2...4  $I_e$ . Daraus resultiert ein entsprechend grösseres Anlauf-Drehmoment.



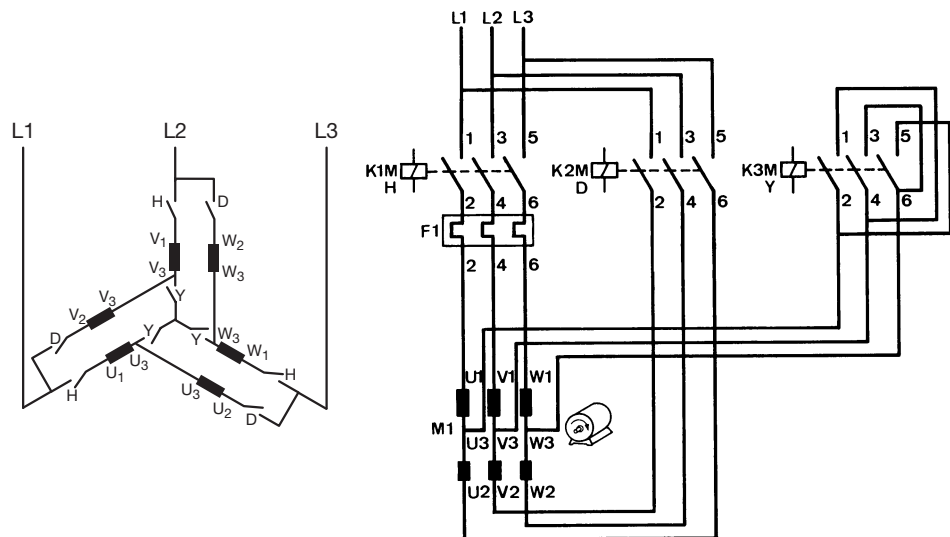
*Gemischter Stern-Dreieck-Anlauf*

Dimensionierung der Schaltgeräte:

- Hauptschütz            K1M     0,58  $I_e$
- Dreieckschütz        K2M     0,58  $I_e$
- Sternschütz           K3M     0,34  $I_e$

## 1.1.2.2 Teilwicklungs-Stern-Dreieck-Anlauf

Hier sind die Motorwicklungen ebenfalls unterteilt. In Sternschaltung wird nur die Hauptwicklung, ein Teil der gesamten Wicklung, benützt. Daher die Bezeichnung "Teilwicklung". Der Stern-Einschaltstrom ist je nach Anzapfung 2...4  $I_e$ , woraus auch hier ein höheres Anzugsmoment resultiert.



*Teilwicklungs Stern-Dreieck-Anlauf*

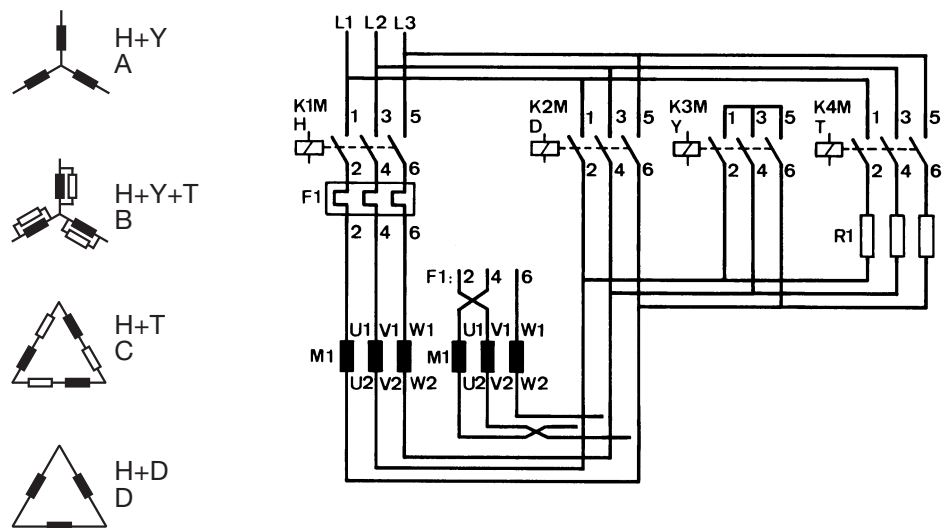
Dimensionierung der Schaltgeräte:

- Hauptschütz K1M 0,58  $I_e$
- Dreieckschütz K2M 0,58  $I_e$
- Sternschütz K3M 0,5 - 0,58  $I_e$  (je nach Anzugsstrom)

## 1.1.3 Unterbrechungsloser Stern-Dreieck-Anlauf

Mit dieser Schaltung wird das Abfallen der Motordrehzahl während der Umschaltung von Stern auf Dreieck vermieden und damit die folgende Stromspitze klein gehalten.

Bevor das Sternschütz öffnet, schliesst ein viertes (Transitionsschütz) K4M den Motorstromkreis über Widerstände im Dreieck. Dadurch wird der Motorstrom während der Umschaltung nicht unterbrochen und die Motordrehzahl bleibt praktisch konstant. Das Dreieckschütz K2M stellt anschliessend den endgültigen Schaltzustand her und wirft das Transitionsschütz K4M ab.



*Unterbrechungsloser Stern-Dreieck-Anlauf*

Dimensionierung der Schaltgeräte:

- Hauptschütz                    K1M      0,58  $I_e$
- Dreieckschütz                K2M      0,58  $I_e$
- Sternschütz                  K3M      0,58  $I_e$
- Transitionsschütz            K4M      typ. 0,27  $I_e$  (Je nach Transitionsstrom)
- Transitionswiderstände    typ. 0.35...0.4  $U_e/I_e$

Anders als bei der normalen Stern-Dreieck-Schaltung muss das Sternschütz gleich dimensioniert werden wie das Haupt- und Dreieckschütz, weil es den Sternstrom des Motors und der Transitionswiderstände abschalten muss. In den Widerständen fließt ein Strom von ca. 1,5  $I_e$ . Daher ist eine entsprechend höhere Schaltleistung erforderlich.

Für den Anschluss des Motors, die Ansteuerung der Schütze (Schaltung unterschiedlich wegen Ansteuerung des Transitionsschützes), den Motorschutz und die thermische Auslegung der Leiter gelten die gleichen Regeln wie für den normalen Stern-Dreieck-Anlauf.

### 1.2 Autotransformator-Anlauf

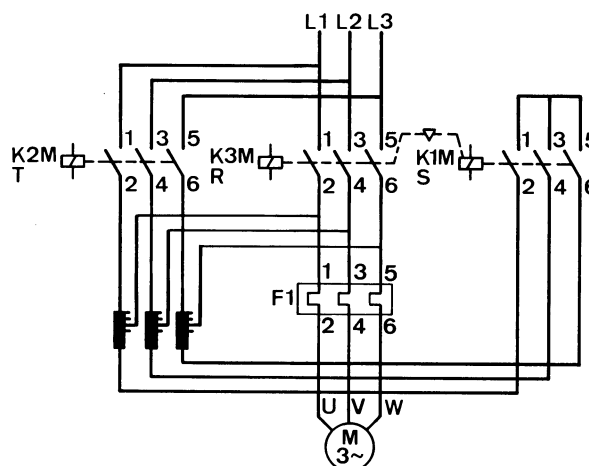
Ein Autotransformator-Starter ermöglicht den Anlauf von Käfigläufermotoren mit reduziertem Anlaufstrom, indem die Spannung während des Anlaufs herabgesetzt wird. Im Gegensatz zur Stern-Dreieckschaltung werden nur drei Leitungen zum Motor und 3 Motor-Anschlüsse benötigt. Diese Schaltung ist besonders im englischen Sprachraum verbreitet.

Beim Anlauf liegt der Motor an den Anzapfungen des Autotransformators. Der Motor läuft also mit reduzierter Spannung und entsprechend kleinerem Strom an. Der Autotransformator reduziert den Strom in der Netzzuleitung zusätzlich entsprechend seinem Übersetzungsverhältnis. Wie die Stern-Dreieck-Schaltung weist der Autotransformator-Starter somit ein günstiges Verhältnis von Drehmoment zu Stromaufnahme auf.

Um die Motoranlauf-Charakteristik an den Drehmomentbedarf anpassen zu können, haben die Autotransformatoren meist drei wählbare Anzapfungen (z.B. 80%, 65%, 50%).

Wenn der Motor nahezu seine Nenndrehzahl erreicht hat, wird am Transformator die Stern-Verbindung geöffnet. Jetzt wirken die Transformator-Teilwicklungen als Drosseln in Serie zu den Motorwicklungen und die Motordrehzahl fällt deswegen wie beim unterbrechungslosen Stern-Dreieck-Anlauf während der Umschaltung nicht ab. Nach Zuschalten des Hauptschützes liegen die Motor-Wicklungen an der vollen Netzspannung. Zum Schluss wird der Transformator vom Netz getrennt.

Der Einschaltstrom liegt je nach Anzapfung und Anlaufstromverhältnis des Motors bei 1 - 5 x  $I_e$ . Das verfügbare Drehmoment reduziert sich etwa im Verhältnis zum Anlaufstrom.



Autotransformator-Starter mit unterbrechungsloser Umschaltung (Korndörfer Schaltung)

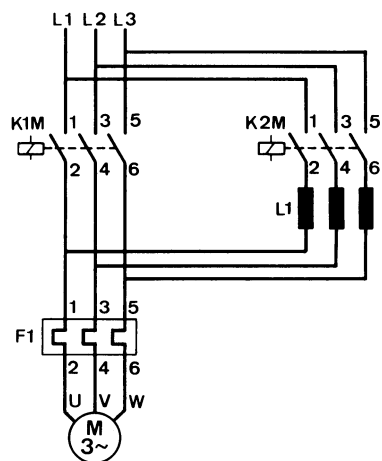
### 1.3 Anlauf über Drosseln oder Widerstände

Durch vorgeschaltete Drosseln oder Widerstände wird die Spannung am Motor und damit auch der Anlaufstrom reduziert. Das Anlaufdrehmoment reduziert sich mit dem Quadrat der Stromreduktion.

#### 1.3.1. Anlauf über Drosseln

Im Stillstand ist der Motorwiderstand klein. Ein Grossteil der Netzspannung fällt an den vorgeschalteten Drosseln ab. Das Anzugsdrehmoment des Motors ist deshalb stark reduziert. Mit steigender Drehzahl steigt die Spannung am Motor wegen des Rückganges der Stromaufnahme und der vektoriellen Spannungsaufteilung zwischen dem Motor und dem vorgeschalteten Blindwiderstand. Damit steigt auch das Motormoment. Nach erfolgtem Hochlauf werden die Drosseln kurzgeschlossen.

Der Einschaltstrom reduziert sich je nach benötigtem Anlauf-Drehmoment.



Anlauf über Drosseln

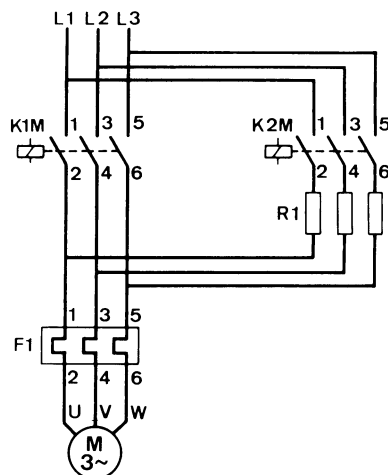
## 1.3.2. Anlauf über Widerstände

Anstelle der oben beschriebenen Drosseln werden preisgünstigere Widerstände eingesetzt.

Mit dieser Methode kann der Anlaufstrom für den gleichen Drehmomentbedarf weniger reduziert werden, weil das Motormoment quadratisch mit der Spannung sinkt und die Spannung am Motor nur wegen der sinkenden Stromaufnahme des Motors bei steigender Drehzahl zunimmt.

Besser ist es, den Vorwiderstand während des Anlaufes stufenweise zu reduzieren. Der Aufwand an Schaltgeräten wird aber bedeutend grösser.

Eine andere Möglichkeit sind gekapselte Nass(Elektrolyt)widerstände. Bei diesen nimmt der ohmsche Widerstand mit der durch die Heizwirkung des Anlaufstroms zunehmenden Temperatur ab.



*Anlauf über Widerstände*

### 1.4 Mehrstufenmotoren

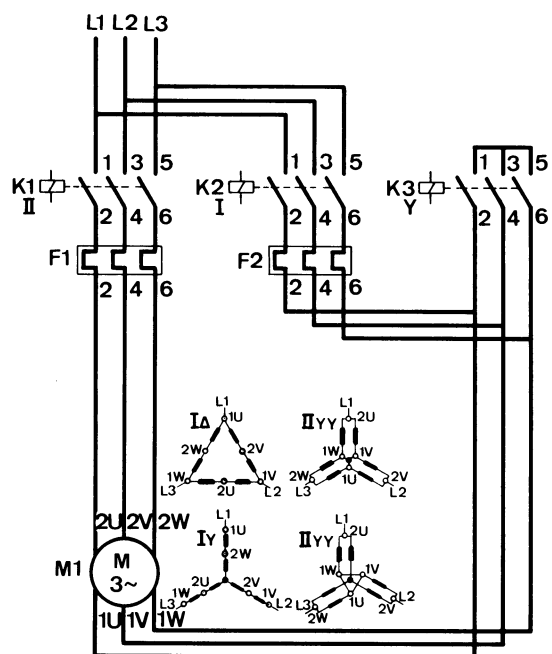
Die Anzahl der Pole bestimmt bei Asynchronmotoren die Drehzahl.

- 2 Pole = 3000 min<sup>-1</sup> (Synchrodrehzahl)
- 4 Pole = 1500 min<sup>-1</sup>
- 6 Pole = 1000 min<sup>-1</sup>
- 8 Pole = 750 min<sup>-1</sup>
- etc.

Durch geeignete Umschaltung angezapfter Wicklungen oder durch getrennte Wicklungen pro Drehzahl im gleichen Motor können Motoren mit zwei oder mehr Drehzahlen gebaut werden. Besonders wirtschaftlich ist die häufig angewandte Dahlanderschaltung, welche mit nur einer Wicklung zwei Drehzahlen im Verhältnis 1:2 ermöglicht.

Mehrstufenmotoren können betriebsmässig in beiden Drehzahlen gefahren werden und finden so z.B. bei Ventilatoren Anwendung, um die Förderleistung zu ändern. Dies ist der hauptsächliche Anwendungsbereich.

Je nach Auslegung und Schaltung der Wicklungen gibt es Motoren mit annähernd gleicher Leistung oder mit annähernd gleichem Drehmoment bei den verschiedenen Drehzahlen. Bei gleichem Drehmoment ergeben sich kleinere Ströme bei kleinerer Drehzahl, wodurch Anläufe mit hohem Momentbedarf bei kleiner Stromaufnahme beherrscht werden können.



Mehrstufenmotor



## 2 Softstarter

### 2.1 Allgemeines

Abhängig von der Qualität des Netzes können schnelle Änderungen des Verbraucherstromes, wie dies bei einem Motoranlauf der Fall ist, Spannungseinbrüche verursachen, die vom gleichen Netz gespeisene Geräte betreffen können:

- Helligkeitsschwankungen bei Beleuchtungen
- Beeinflussung von Computeranlagen
- Abfallen von Schützen und Relais

Durch die beim Starten entstehenden Drehmomentstöße werden die mechanischen Teile einer Maschine oder Anlage stark beansprucht.

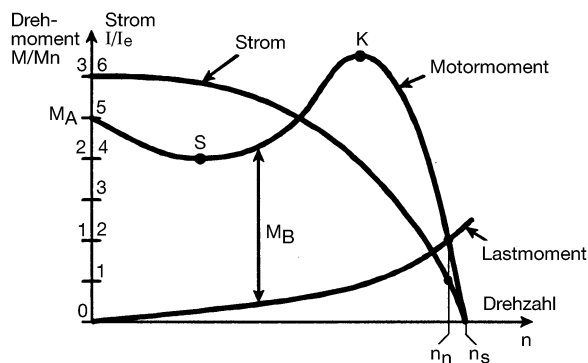
Mit den traditionellen Lösungen wie

- Stern-Dreieckschaltung
- Autotransformator
- Drosseln oder Widerstände

kann die an den Motorklemmen liegende Spannung und somit der Strom nur stufenweise beeinflusst werden.

Der Softstarter (auch Sanftanlasser genannt) steuert die Spannung stufenlos von einem wählbaren Anfangswert bis hundert Prozent. Dadurch erhöht sich das Drehmoment und der Strom ebenfalls kontinuierlich. Der Softstarter ermöglicht also ein stufenloses Anfahren von unter Last stehenden Motoren aus dem Stillstand.

## 2.2 Realisation des Sanftanlaufes



### Motorkennlinien

Anhand einer Motormoment-Kennlinie kann erklärt werden, wie ein langsames Starten eines Motors erreicht wird.

Vergleicht man die Lastkennlinie mit der Motorkennlinie, wird ersichtlich, dass die Motormoment-Kennlinie bis zum Schnittpunkt mit der Lastmoment-Kennlinie immer oberhalb derselben liegt.

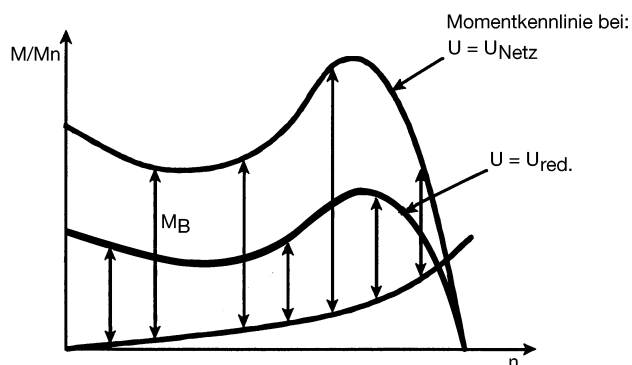
Bei diesem Arbeitspunkt wird bei Bemessungslast die Bemessungsdrehzahl erreicht.

Die Differenz zwischen der Lastmoment-Kennlinie und der Motormoment-Kennlinie ist das sogenannte Beschleunigungsmoment ( $M_B$ ). Dieses Moment bringt die Energie auf, die dafür sorgt, dass der Antrieb zu drehen beginnt und hochläuft.

Das Verhältnis beider Kennlinien ist ein Mass für die Anlaufzeit oder Hochlaufzeit eines Antriebes. Ist das Motormoment viel grösser als das Lastmoment, so ist die Beschleunigungsenergie gross und somit die Hochlaufzeit entsprechend kurz. Ist dagegen das Motormoment nur wenig grösser als das benötigte Lastmoment, ergibt das nur eine geringere Beschleunigungsenergie und somit wird die Hochlaufzeit entsprechend länger.

Der Sanftanlauf wird also realisiert, indem man das Beschleunigungsmoment reduziert.

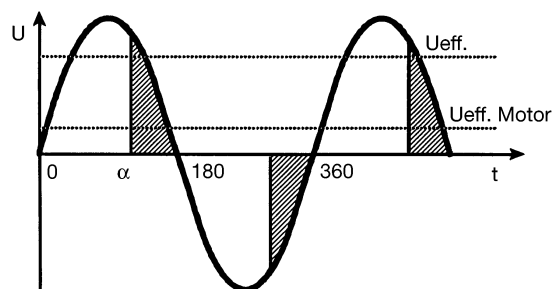
### 2.2.1 Reduzierung des Motormomentes



Momentenkennlinien

Die dargestellten Motorkennlinien gelten nur dann, wenn die volle Netzspannung  $U_N$  zur Verfügung steht. Sobald eine kleinere Spannung anliegt, verringert sich das Moment quadratisch. Wird die effektive Motorspannung um 50% reduziert, so wird das Moment auf ein Viertel reduziert. Vergleicht man die Momentenkennlinien miteinander, dann sieht man, dass die Differenz zwischen der Lastkennlinie und der Momentenkennlinie bei Netzspannung viel grösser ist als bei reduzierter Spannung. Das Motormoment und damit die Beschleunigungskraft lässt sich durch Anpassen der Motorspannung beeinflussen.

### 2.2.2 Beeinflussung der Motorspannung



Phasenanschnitt

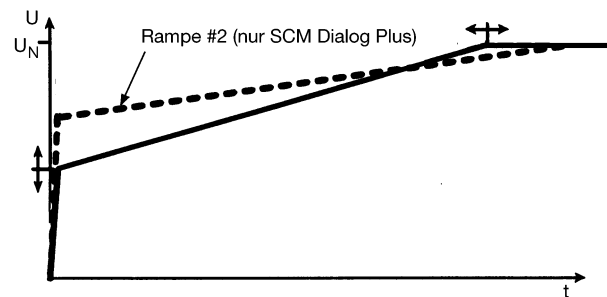
Die Motorspannung lässt sich am einfachsten mit einer Phasenanschnittsteuerung verändern.

Mittels eines steuerbaren Halbleiters, dem Thyristor, ist es möglich, durch Anschneiden der Sinushalbwellen nur einen Teilbetrag der Spannung an den Motor weiterzuleiten. Der Zeitpunkt, von dem an der Thyristor die Sinushalbwellen leitet, nennt man den Zündwinkel «Alpha». Ist der Winkel «Alpha» gross, so ist die eff. Motorspannung klein. Verschiebt man den Zündwinkel «Alpha» allmählich nach links, so wird die Motorspannung höher. Mit der entsprechenden Steuerung ist der Phasenanschnitt eine gute und einfache Methode, um die Motorspannung zu verändern.

## 2.3 Anlaufarten

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, wie ein Motor mit einem Softstarter anlaufen kann. Dies sind der Anlauf mittels Spannungsrampe und der Anlauf mittels Strombegrenzung.

### 2.3.1 Anlauf mittels Spannungsrampe



Spannungsrampe

Beim Anlauf mit Spannungsrampe wird die Anlauf- oder Hochlaufzeit und das Losbrechmoment eingestellt.

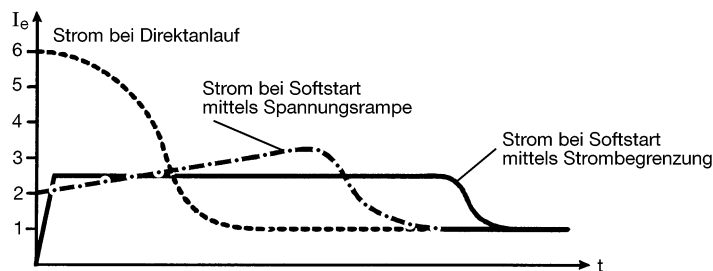
Der Softstarter erhöht die Motorklemmenspannung linear von einem vorzugebenden Anfangswert (Anfangsspannung) bis zur vollen Netzspannung. Die niedrige Motorspannung zu Beginn des Startprozesses hat ein niedrigeres Motordrehmoment zur Folge und bewirkt somit einen sanften Beschleunigungsvorgang. Der einzustellende Anfangswert der Spannung wird bestimmt durch das Losbrechmoment = Startmoment des Motors. Beim SMC Dialog Plus besteht die Möglichkeit, zwischen zwei Softstartprofilen mit separat einstellbaren Rampenzeiten und Losbrechmomentwerten zu wählen.

Die Hochlaufzeit des Motors ergibt sich aus den Einstellungen der Hochlaufzeit und des Losbrechmoments. Wählt man das Losbrechmoment sehr gross oder die Hochlaufzeit sehr klein, so ist man nahe beim Direktstart. In der Praxis wird man zuerst die Hochlaufzeit festlegen (bei Pumpen ca. 10 sec.) und dann das Losbrechmoment so einstellen, dass der gewünschte Softstart erreicht wird.

**Die eingestellte Hochlaufzeit ist nicht die tatsächliche Hochlaufzeit des Antriebes, sie ist abhängig von der Last und der Einstellung des Losbrechmoments.**

Bei einem Softstart mittels Spannungsrampe fängt der Strom bei einer bestimmten Höhe an, steigt dann bis zu einem Maximum und fällt beim Erreichen der Bemessungsdrehzahl des Motors auf  $I_N$  zurück. Der maximale Strom kann nicht im voraus bestimmt werden, er wird sich je nach Motor einstellen. Soll aber ein gewisser Strom nicht überschritten werden, so kann der Anlauf mittels Strombegrenzung gewählt werden.

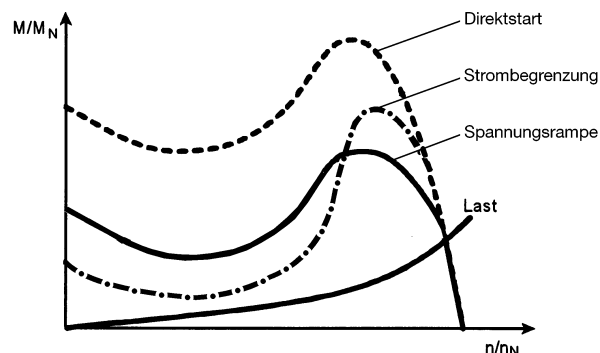
## 2.3.2 Anlauf mittels Strombegrenzung



Stromkurven beim Hochlauf

Der Strom steigt nach einer bestimmten Rampe bis zum eingestellten Maximum an und fällt beim Erreichen der Bemessungsdrehzahl des Motors auf  $I_N$  zurück. Der Motor kann also nur einen bestimmten Anlaufstrom ziehen. Diese Anlaufmethode wird oft von den EWs gefordert, falls ein grosser Motor (Heubelüftung, Pumpen) ans öffentliche Netz angeschlossen werden soll.

## 2.3.3 Momente



Momentkurven

In dieser Graphik sind die verschiedenen Motormomente beim Direktstart, beim Softstart mit Spannungsrampe und mit Strombegrenzung dargestellt.

## 2.4 Softstarter-Typen

Die Unterschiede der verschiedenen Softstarter-Typen liegen vor allem im Aufbau des Leistungsteils und der Steuerungscharakteristik.

Wie schon erwähnt, basiert der Softstarter auf dem Prinzip des Phasenanschnittes. Mittels Thyristoren ist es möglich, durch Anschneiden der Sinushalbwellen nur einen Teil der Netzspannung dem Motor zuzuführen.

Der Thyristor lässt den Stromfluss nur in einer Richtung zu. Daher ist ein zweiter, entgegengesetzt gepolter Halbleiter nötig, welcher den negativen Strom leitet (antiparallel geschaltete Halbleiter).

Man unterscheidet die Softstarter nach folgenden zwei Kriterien:

1. Anzahl der gesteuerten Phasen.

Eine Phase (einphasen gesteuerte Softstarter), zwei Phasen (zweiphasen gesteuerte Softstarter) oder drei Phasen (dreiphasen gesteuerte Softstarter).

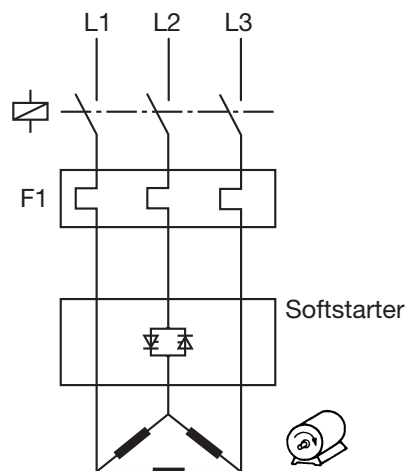
2. Art des zweiten, entgegengesetzt gepolten Halbleiters.

Wählt man eine Diode, dann spricht man von einem halbwellen gesteuerten Softstarter.

Wählt man einen Thyristor, so spricht man von einem vollwellen gesteuerten Softstarter.

Wie die verschiedenen Typen auf verschiedene Weise Motorspannung und Strom beeinflussen, lässt sich anhand der folgenden drei Prinzipschaltbilder erklären.

## 2.4.1 Einphasen vollwellengesteuerter Softstarter



*Einphasenansteuerung*

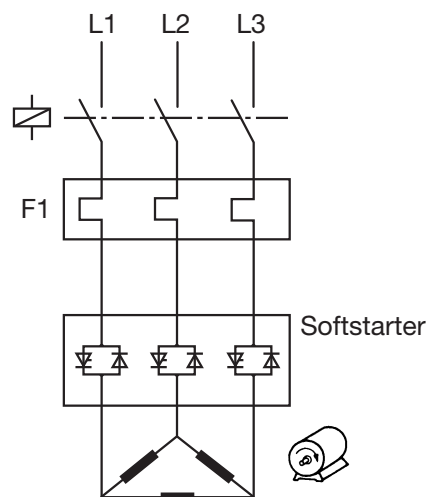
Beim einphasengesteuerten Softstarter wird in einer Phase mittels zwei antiparallelen Thyristoren der Phasenanschnitt verwirklicht (Phase L2). Die Phasen L1 und L3 sind direkt am Motor angeschlossen.

Beim Anlauf fließt in der Phase L1 und L3 immer noch ungefähr der 6-fache Bemessungsstrom des Motors. Nur in der gesteuerten Phase ist es möglich, den Strom bis auf den 3-fachen Bemessungsstrom zu reduzieren.

Vergleicht man diese Methode mit einem Direktstart, dann ist die Hochlaufzeit länger, aber der gesamte eff. Motorstrom ist nicht erheblich reduziert. Dies hat zur Folge, dass ungefähr der gleiche Strom wie beim Direktstart durch den Motor fließt. Dadurch wird der Motor zusätzlich erwärmt. Weil nur eine Phase angeschnitten ist, wird das Netz während der Anlaufphase asymmetrisch belastet. Diese Methode entspricht der klassischen KUSA-Schaltung.

Ein- und zweiphasen gesteuerte Softstarter werden meistens im Leistungsbereich bis max. 5,5 kW eingesetzt. Sie sind nur geeignet, um mechanische Schläge in einem System zu vermeiden. Der Anlaufstrom des Drehstrommotors wird mit dieser Methode nicht vermindert.

## 2.4.2 Dreiphasen halbwellengesteuerter Softstarter



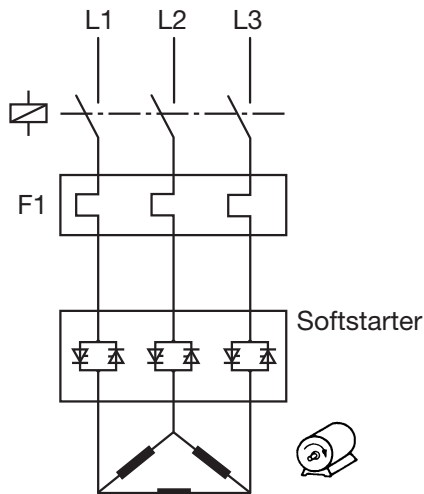
*Halbwellenansteuerung*

Beim dreiphasen halbwellengesteuerten Softstarter ist der Phasenanschnitt in allen drei Phasen verwirklicht. Als Leistungshalbleiter wird ein Thyristor mit einer antiparallelen Diode verwendet. Dies hat zur Folge, dass der Phasenanschnitt nur in einer Halbwelle verwirklicht wird (halbwellengesteuert). Somit wird nur während der Halbwelle, wenn der Thyristor leitend ist, die Spannung reduziert. Bei der zweiten Halbwelle, wenn die Diode leitend ist, liegt die volle Netzspannung am Motor an.

In der ungesteuerten Halbwelle (Diode) sind die Stromspitzen grösser als in der gesteuerten. Die damit verbundenen Oberschwingungen erzeugen im Motor zusätzliche Erwärmung.

Da die Stromspitzen in der nicht gesteuerten Halbwelle (Diode) und die damit verbundenen Oberwellen bei grossen Leistungen kritisch werden, sind halbwellengesteuerte Softstarter nur bis ca. 45 kW sinnvoll einsetzbar.

### 2.4.3 Dreiphasen vollwelligesteuerter Softstarter

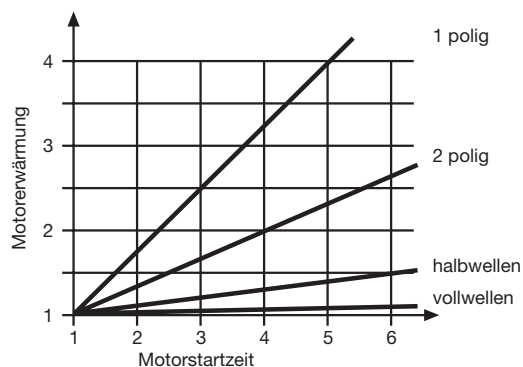


*Vollwellenansteuerung*

Bei diesem Typ Softstarter wird in allen drei Phasen der Phasenanschnitt verwirklicht. Als Leistungshalbleiter verwendet man zwei antiparallele Thyristoren. Somit wird in beiden Halbwellen die Phasenspannung angeschnitten (vollwelligesteuert). Wegen den beim Phasenanschnitt entstehenden Oberwellen wird der Motor beim Softstart trotzdem thermisch mehr belastet als beim Direktstart.

Dreiphasen vollwelligesteuerte Softstarter werden bis ca. 630 kW eingesetzt.

### 2.5 Thermische Belastung beim Start



*Motorenerwärmung*

In dieser Graphik ist der Einfluss der verschiedenen Softstartertypen auf die zusätzliche Motorenerwärmung gegenüber einem Direktstart dargestellt.

Der Punkt 1/1 markiert die Erwärmung des Motors nach dem Direktstart. In der X-Achse ist der Multiplikationsfaktor der Startzeit und in der Y-Achse der Multiplikationsfaktor der Motorerwärmung dargestellt. Verlängert man z.B. die Startzeit gegenüber dem Direktstart auf das Doppelte, so wird

- Beim einphasen gesteuerten Softstarter die Motorerwärmung auf das 1,75-fache erhöht
- Beim zweiphasen gesteuerten Softstarter auf das 1,3-fache erhöht
- Beim halbwellen gesteuerten Softstarter auf das 1,1-fache erhöht
- Beim vollwellen gesteuerten Softstarter kann man praktisch keine zusätzliche Erwärmung feststellen.

Für längere Hochlaufzeiten ist bei grösseren Leistungen nur ein vollwellen-gesteuerter Softstarter einsetzbar.

### 2.6 Softstarter Vorteile

- Durch das langsame Starten schont der Softstarter Motor und Maschine.
- Der Anlaufstrom wird reduziert oder kann begrenzt werden.
- Das Drehmoment wird der entsprechenden Last angepasst.
- Bei Pumpen können Druckwellen beim Start und beim Stop verhindert werden.
- Ruck- und stossartige Bewegungen, welche einen Prozess stören können, werden verhindert.
- Der Verschleiss an Riemen, Ketten, Getrieben und Lager wird vermindert.
- Mit den verschiedenen Ansteuermöglichkeiten ist eine vereinfachte Automatisierung möglich.

### 2.7 Kundennutzen

#### 2.7.1 Mechanisch

Der Motor entwickelt bei Direktanlauf ein sehr hohes Anzugsmoment. Typisch sind Anzugsmomente von 150 bis 300% des Nennmoments. Je nach Anlaufart kann durch das hohe Anzugsmoment die Mechanik des Antriebs übermässig beansprucht werden («Mechanischer Stress»), oder der Fabrikationsprozess wird durch ruckartige Drehmomentstösse unnötigerweise gestört.

- Durch den Einsatz eines Softstarters werden die auftretenden Drehmomentstösse auf die mechanischen Teile einer Maschine vermieden.
- Anlaufcharakteristik kann der Anwendung angepasst werden (z. B. Pumpensteuerung).
- Einfache Leitungsführung zum Motor (nur 3 Leiter).

### 2.7.2 Elektrisch

Das Starten von Drehstrommotoren verursacht im Netz grosse Stromstösse (6 - 7-fachen Nennstrom). Folglich können grosse Spannungseinbrüche verursacht werden, die andere am Netz angeschlossene Verbraucher stören. Elektrizitätswerke setzen daher Grenzwerte für Motoranlaufströme fest.

- Mit einem Softstarter ist es möglich, den Motoranlaufstrom zu begrenzen, solange kein hohes Anlaufmoment erforderlich ist.
- Dadurch werden die Netzbelastungen reduziert.
- Eventuelle Reduktion der Netzanschlussgebühren.
- In vielen Fällen wird aber eine Begrenzung des Anlaufstromes vom EW gefordert, man erfüllt also die entsprechenden Vorschriften.

### 2.8 Einsatzmöglichkeiten

Typische Anwendungen sind:

- Laufkräne, Förderbänder, Fahrtriebe
- Rührwerke, Mühlen, Brecher
- Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren
- Antriebe mit Getrieben, Kette, Riemen, Kupplungen

Pumpen:

Mit einer speziellen Pumpensteuerung ist es möglich, die Druckstösse, die beim Starten und Stoppen einer Pumpe entstehen, zu eliminieren.

Kompressoren:

Bei Kompressoren kann beim Umschalten von Stern auf Dreieck die Drehzahl zusammenfallen. Mit einem Softstarter erreicht man einen kontinuierlichen Anlauf, Drehzahleinbrüche treten nicht mehr auf.

Einphasen-Motoren:

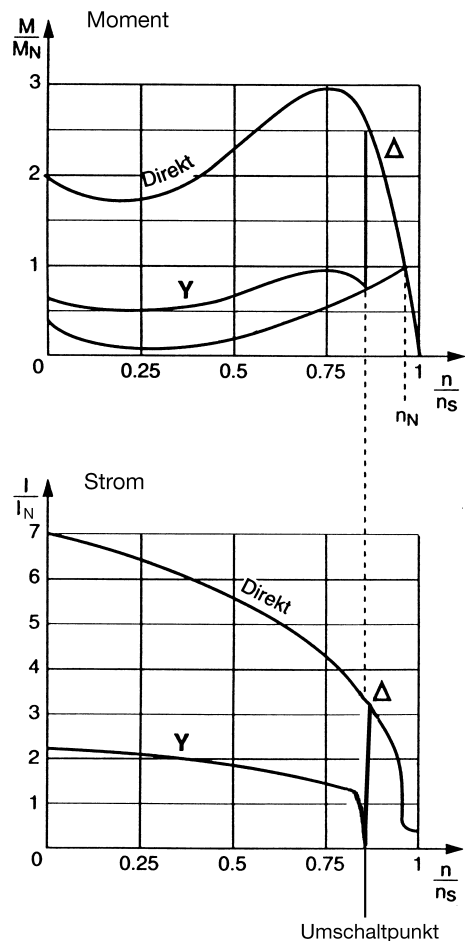
Will man einen Einphasen-Motor mit einem Softstarter betreiben, so benötigt man einen einphasenvollwellen Softstarter.

Generell:

Der Softstarter ist aus wirtschaftlichen Gründen ein Ersatz für Stern-Dreieck-Schaltungen in Antrieben mit grösserer Leistung. Vor allem bei Anwendungen mit belasteten Anläufen (Last kann nicht nach dem Hochlaufen zugeschaltet werden) ist ein Softstarter der Stern-Dreieck-Schaltung vorzuziehen.

## 2.9 Starten von Pumpen

### 2.9.1 Strom- und Momentverlauf bei einem Stern-Dreieck-Start

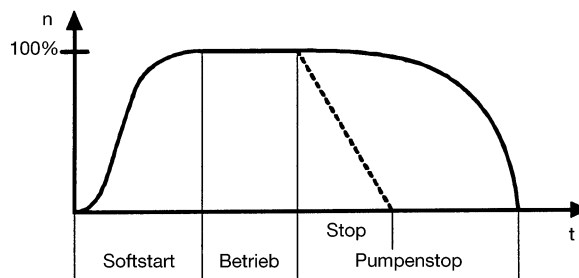


Stromkurven Stern-Dreieck

In der Graphik sind die Moment- und Stromkennlinien beim Stern- und beim Dreieck-Start in Abhängigkeit zur Drehzahl dargestellt. In dieser Anwendung ist ein Stern-Dreieck-Start ungeeignet, da kein unbelasteter Anlauf vorliegt. Während dem Umschalten von Stern auf Dreieck fällt der Strom auf Null und die Drehzahl nimmt je nach Applikation ab. Das Umschalten auf Dreieck bewirkt danach einen sprunghaften Anstieg des Stromes. Bei schwachen Netzen entstehen dadurch Spannungseinbrüche.

Das Motormoment springt beim Umschalten auf Dreieck ebenfalls auf einen hohen Wert, was den gesamten Antrieb mechanisch belastet. Werden Pumpen mit Stern-Dreieck betrieben, so wird meistens ein mech. Schieber eingesetzt.

### 2.9.2 Drehzahlverlauf bei einem Start mit Pumpensoftstarter

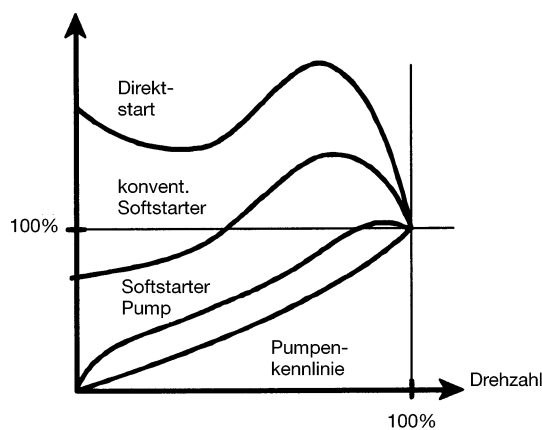


*Drehzahlverlauf Pumpensoftstarter*

Mit dem Softstarter mit Pumpenmodul wird der Motor nicht linear beschleunigt, die Drehzahländerung verläuft S-kurvenförmig. Durch das langsame Starten, das schnelle Beschleunigen und das verzögerte Erreichen der Nenndrehzahl, wird ein optimaler Pumpenstart gewährleistet.

Das Stoppen einer Pumpe stellt hohe Ansprüche an einen Softstarter. Die Pumpe muss so verzögert werden, dass keine Druckwellen ausgelöst werden. Der Softstarter muss die Belastung und die Drehzahl des Motors kennen und seine Parameter entsprechend anpassen, damit das gewünschte Ziel erreicht werden kann.

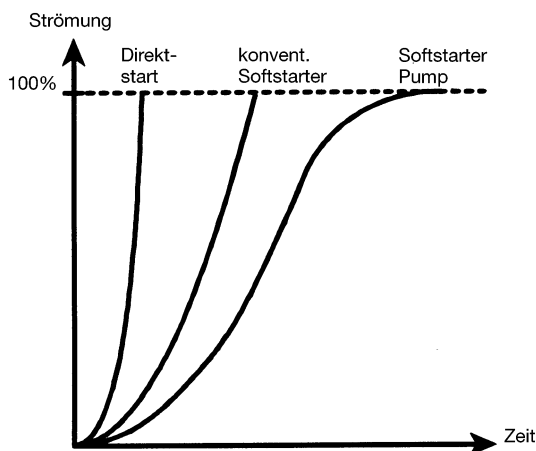
### 2.9.3 Vergleich der Momentkurven



*Momentkurven*

Bei dieser Graphik werden die Momentkennlinien der verschiedenen Startverfahren dargestellt. Die Kurve beim Softstarter mit Pumpenmodul ist parallel zur Pumpenkennlinie, somit wird ein konstantes Beschleunigungsmoment erreicht.

### 2.9.4 Strömungsverlauf beim Starten



*Strömungsverlauf beim Starten*

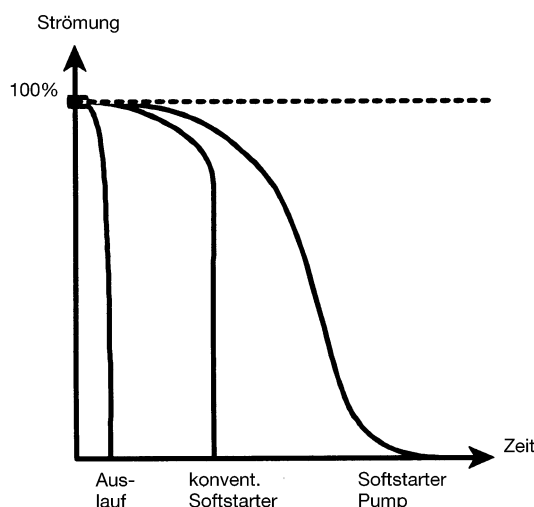
Bei dieser Graphik wird der Strömungsverlauf beim Starten der verschiedenen Startverfahren dargestellt.

Beim Direktstart wird die Flüssigkeit sehr schnell beschleunigt. Werden 100% des Flüssigkeits-Durchsatzes erreicht, so entsteht eine grosse Beschleunigungsänderung. Dadurch werden Druckwellen ausgelöst, welche erhebliche Schäden an der Anlage verursachen können.

Beim konventiellen Softstarter ist die Beschleunigungsänderung wesentlich kleiner und somit sind auch die Auswirkungen kleiner.

Nur beim Softstarter mit speziellem Pumpenmodul ist die Beschleunigungsänderung so gering, dass keine Druckwellen ausgelöst werden.

### 2.9.5 Strömungsverlauf beim Stoppen



*Strömungsverlauf beim Stoppen*

Bei dieser Graphik wird der Strömungsverlauf beim Stoppen der verschiedenen Stopverfahren dargestellt.

Beim Auslaufen bleibt die Pumpe sofort stehen. Dies bedeutet, dass die gesamte Wassersäule auf die Rückschlagklappe fällt. Dadurch wird die Anlage mechanisch stärker belastet als beim Direktstart.

Der konventionelle Softstop ist für eine Pumpenanwendung ungeeignet, da die Strömungsgeschwindigkeit nur bis zu einem gewissen Grad verzögert wird und der gleiche Effekt wie beim «Auslaufen» entsteht.

Ein optimales Abbremsen des Flusses kann nur mit einem «geregelten» Pumpenstop erreicht werden. Wie beim Starten ist es beim Stoppen fast noch wichtiger, dass keine Druckwellen entstehen. Der Softstarter muss langsam beginnen den Fluss zu verzögern, die Verzögerung erhöhen und gegen den Schluss wieder verringern, so dass er wieder langsam auf Null gebremst wird.

### 2.9.6 Anforderungen an einen Softstarter für Pumpen

Bei allen Anlagen sind die Höhenunterschiede und Leitungslängen verschieden, darum reicht es nicht aus, die Pumpenkennlinien softwaremässig zu hinterlegen. Der Softstarter muss sich an die verschiedenen Verhältnisse bei Anwendungen mit Pumpen anpassen, nur dadurch kann ein optimales Starten und Stoppen gewährleistet werden.

### 2.9.7 Anwendungsgebiete

Die Softstarter mit dem Pumpenmodul werden mittlerweile in vielen Bereichen eingesetzt, um hier nur einige zu nennen:

- Wasserversorgung
- Kläranlagen
- Brauereien / Molkereien
- Fernwärmeversorgungen
- Schwimmbäder
- Getränke- und Lebensmittelproduktion
- Chemie- und Petrochemieanlagen
- Bergbau
- Abfüllanlagen
- Papierherstellung
- Holzverarbeitungen
- HLK- Technik

### 2.10 Optionen

Für die Softstarter werden verschiedene Optionen angeboten:

- Softstop
- Pumpensteuerung
- Kriechdrehzahl
- Intelligente Bremse
- Akku Stop
- Kriechdrehzahl mit Bremse

Diese Optionen sind im Allen-Bradley Produktkatalog näher beschrieben.

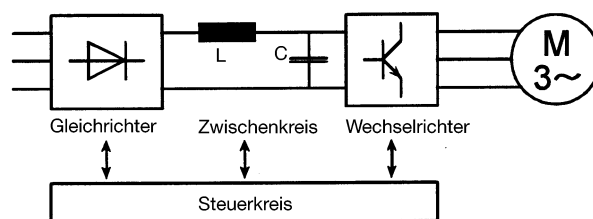
### 3 Frequenzumrichter

#### 3.1 Allgemeines

Die Industrie benötigt immer höhere Produktionsgeschwindigkeiten und laufend werden bessere Methoden für noch effektivere Produktionsanlagen entwickelt. Die Elektromotoren sind wesentliche Elemente dieser Anlagen. Daher wurden verschiedene Methoden für die Änderung der festen Drehzahl von Drehstrom-Asynchron-Motoren entwickelt, wobei die meisten mit erheblichen Leistungsverlusten oder grossen Investitionen verbunden sind. Mit der Entwicklung der Frequenzumrichter lassen sich Drehstrommotoren mit variabler Geschwindigkeit vorteilhaft einsetzen.

Ein Frequenzumrichter ist ein elektronisches Gerät, das die Drehzahl von Drehstrommotoren durch die Umformung der Frequenz und Spannung in variable Grössen steuert. Dadurch kann der Motor ein hohes Drehmoment bei allen Drehzahlen liefern.

#### 3.2 Aufbau



*Prinzipieller Aufbau*

Der Frequenzumrichter kann in drei Hauptbestandteile unterteilt werden.

**Gleichrichter:**

Der Gleichrichter wird an das Drehstromnetz angeschlossen und erzeugt eine pulsierende Gleichspannung.

**Zwischenkreis:**

Der Zwischenkreis speichert und glättet die pulsierende Gleichspannung.

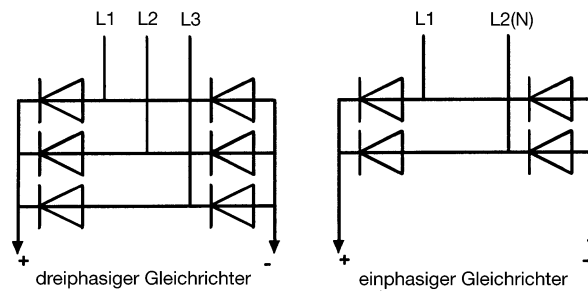
**Wechselrichter:**

Der Wechselrichter erzeugt aus der Gleichspannung wieder ein Drehstromnetz mit der gewünschten Frequenz und Spannung. An diesen Ausgang wird der Motor angeschlossen.

**Steuerkreis:**

Die Elektronik im Steuerkreis kann Signale an den Gleichrichter, Zwischenkreis und an den Wechselrichter abgeben und empfangen. Die Signale werden im geräteinternen Mikroprozessor generiert und ausgewertet.

### 3.2.1 Netzgleichrichter



#### Netzgleichrichter

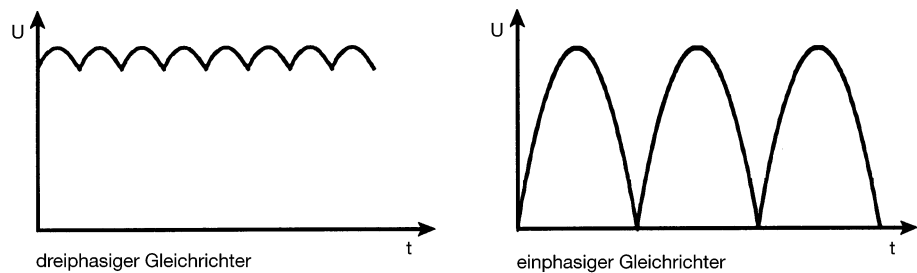
Der Netzgleichrichter besteht aus einer Brückenschaltung, die das speisende Netz gleichrichtet. Die sich daraus ergebende Gleichspannung entspricht immer dem Spitzenwert der angeschlossenen Netzspannung ( $U_e \times \sqrt{2}$ ).

Der wesentliche Unterschied zwischen einer einphasigen und einer dreiphasigen Brückenschaltung ist die entstehende pulsierende Gleichspannung. In der Praxis bevorzugt man aus Kostengründen die einphasige Version für Antriebe mit kleiner Leistung (bis ca. 2,2 kW). Für grössere Leistungen ist diese Version aus folgenden Gründen nicht geeignet:

Die einphasige Brücke ist eine unsymmetrische Belastung für das Netz. Die Welligkeit der Gleichspannung ist wesentlich grösser als bei der dreiphasigen Ausführung. Darum muss auch die Kapazität des Zwischenkreises grösser dimensioniert werden.

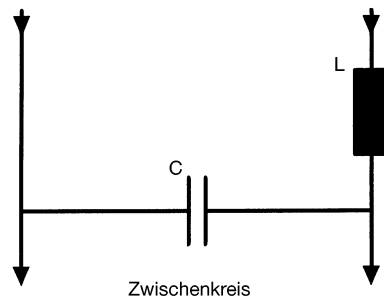
Der Gleichrichter des Frequenzumrichters besteht entweder aus Dioden oder Thyristoren. Ein aus Dioden bestehender Gleichrichter nennt man ungesteuert, ein aus Thyristoren ist steuerbar. Die Brücke aus Dioden wird bis Motorenleistungen von ca. 22 kW eingesetzt.

#### 3.2.1.1 Prinzipielle Darstellung der pulsierenden Gleichspannungen



#### Netzgleichrichter

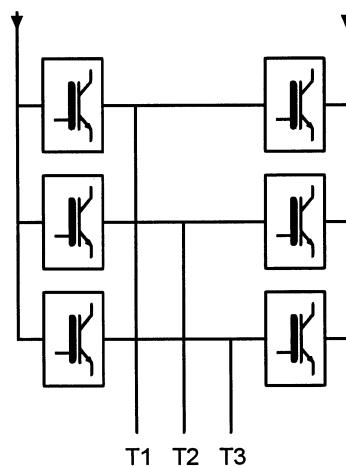
## 3.2.2 Zwischenkreis



### DC-Zwischenkreis

Der Zwischenkreis kann als Speicher betrachtet werden, aus dem der Motor über den Wechselrichter seine Energie bezieht. Der Zwischenkreiskondensator C puffert die netzseitige Energie, was eine hohe Kapazität erfordert. Der am Frequenzumrichter angeschlossene Motor entnimmt dem Zwischenkreis Energie, der Kondensator wird dabei teilweise entladen. Die Aufladung des Kondensators kann nur dann erfolgen, wenn die Netzspannung höher als die Zwischenkreisspannung ist. Die Energie wird somit vom Netz zugeführt, wenn die Netzspannung nahe dem Maximum ist. Dadurch ergeben sich Stromspitzen, die sich bei mehreren parallelgeschalteten Frequenzumrichtern addieren. Darum wird bei grösseren Leistungen (ab ca. 5,5 kW) eine Zwischenkreisdrossel installiert. Diese Drossel sorgt dafür, dass die Stromflussdauer auf der Netzseite verzögert und damit die Stromspitzen reduziert werden.

## 3.2.3 Wechselrichter



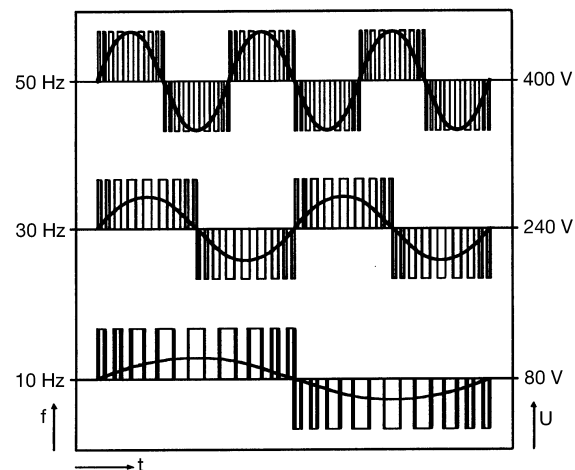
### IGBT-Wechselrichter

Der Wechselrichter ist das letzte Glied im Frequenzumrichter vor dem Motor. (Bei Mehrmotorenantrieb ist ein zusätzlicher Schutz vor dem Motor notwendig.) Er wandelt den Gleichstrom in ein Drehstromnetz mit veränderlicher Frequenz und Spannung um. Als Leistungshalbleiter kommen verschiedene

Halbleiter zum Einsatz: GTO (Gate Turn Off Thyristor), FET (Feldeffekttransistor), IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor). Die modernen Frequenzumrichter sind meistens mit IGBT ausgerüstet. Die neuen Generationen dieser Halbleiter gehen bis zu Leistungen von ca. 350 kW.

Wie macht man nun aus einem Gleichspannungsnetz ein in Spannung und Frequenz veränderliches Drehstromnetz? Die Bauelemente des Wechselrichters arbeiten als Schalter (gesteuert vom Mikroprozessor) und schalten entsprechend der Frequenz positive und negative Spannung an die Motorwicklung. Die Veränderung der Frequenz und Spannung erfolgt bei den meisten Frequenzumrichtern mit der Pulsweiten-Modulation PWM.

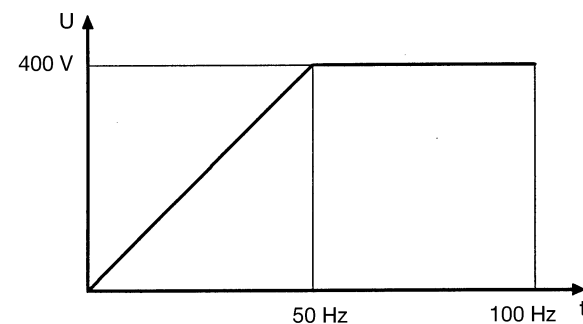
### 3.2.3.1 Prinzipielle Darstellung der Pulsweiten-Modulation



*Pulsweiten-Modulation*

## 3.3 Betriebsverhalten

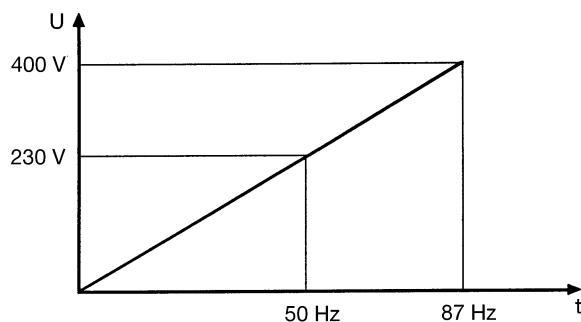
### 3.3.1 Frequenz-Spannungs-Verhältnis



*U-f-Kennlinie*

Beim direkten Anschluss des Motors an das Versorgungsnetz bestehen ideale Betriebsverhältnisse für den Motor. Der Frequenzumrichter gewährleistet, durch Verändern der Spannung, eine gute Annäherung an diese Betriebsverhältnisse.

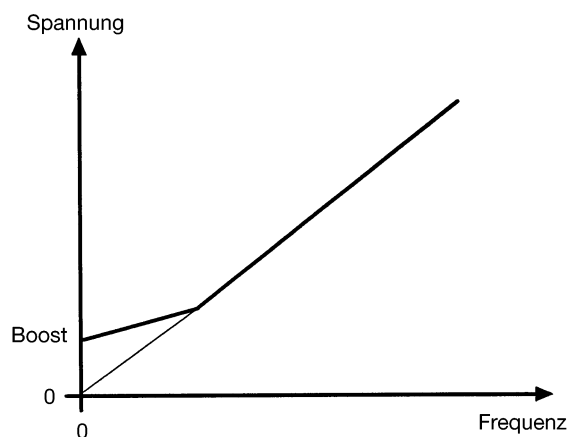
Als Standard gilt eine lineare U-f-Kennlinie von 0 bis 50 Hz resp. 400 V. Wenn man mit der Frequenz höher als 50 Hz geht, wird die Spannung nicht mehr erhöht (Netzspannung). Der Motor kann dann nicht mehr die Nennleistung erbringen und somit nicht mehr voll belastet werden.



*U-f-Kennlinie*

Damit die Eckfrequenz (normalerweise 50 Hz) höher gesetzt werden kann, muss der Motor anders ausgelegt werden. Ein normiertes Verhältnis ist: 230V - 50 Hz und 380 V - 87 Hz. Der Motor kann so bis 87 Hz mit Nennlast betrieben werden.

### 3.3.2 Spannungsanhebung oder Boost



*Spannungsanhebung*

Das lineare U-f-Verhältnis ist bei kleiner Frequenz (< 5 Hz) sehr schlecht. Der Motor entwickelt fast kein Moment mehr, so dass er bei niedrigen Drehzahlen stehen bleibt. Um dem zu begegnen, muss bei niedrigen Drehzahlen eine Spannungsanhebung oder «Boost» eingestellt werden. Dazu stehen dem Anwender je nach Frequenzrichter mehrere Möglichkeiten zur Verfügung:

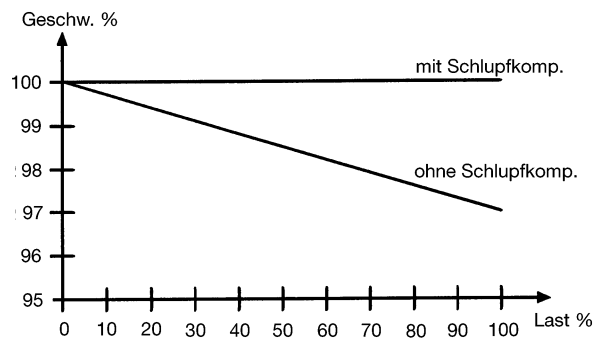
Auto-Boost:

Die Spannungsanhebung wird von der Software des Frequenzrichters bestimmt. Dieser Boost deckt den grössten Teil der Anwendungen ab.

DC-Boost:

Der U-f-Kennlinie wird eine fixe Spannung überlagert. Mit dieser Einstellung kann das maximale Drehmoment im Motor erzeugt werden. Es ist aber darauf zu achten, dass dabei der Motorstrom relativ hoch wird.

### 3.3.3 Schlupfkompensierung



#### *Schlupfkompensation*

Wird ein Asynchronmotor belastet, so nimmt seine Drehzahl ab, der Schlupf wird grösser. Ist eine solche Drehzahlverminderung nicht erwünscht, so bietet der Frequenzumrichter eine sogenannte Schlupfkompensation an. D.h. der Frequenzumrichter erhöht die Ausgangsfrequenz automatisch, so dass die Drehzahl nicht verringert wird. Diese Kompensation ermöglicht eine Drehzahlgenauigkeit von normalerweise ca. 0,5 %.

### 3.3.4 Sollwert

Die Höhe des Sollwertes bestimmt die Ausgangsfrequenz und damit die Drehzahl des angeschlossenen Motors. Der Sollwert kann auf verschiedene Weise dem Frequenzumrichter zugeführt werden:

- mit einem Potentiometer (typisch 10 kOhm)
- mit einem Analogsignal (0...10V oder 4...20 mA)
- über eine serielle Schnittstelle
- über einen Feldbus

Es ist auch möglich im Frequenzumrichter verschiedene Festfrequenzen zu programmieren und diese über Eingänge nach Bedarf zu aktivieren.

### 3.3.5 Kompensation

Im Motorkreis fließen nach wie vor Blind- und Wirkstrom. Der Blindstrom pendelt jedoch zwischen der Zwischenkreiskapazität und der Motorinduktivität hin und her und belastet daher das Netz nicht. Von der Netzseite werden nur die Wirkleistung, die Verluste des Antriebes und die Verluste des Frequenzumrichters bezogen. Der  $\cos \varphi$  des Netzstromes ist demzufolge nahezu 1. In den meisten Fällen kann eine Kompensation des Antriebes entfallen.

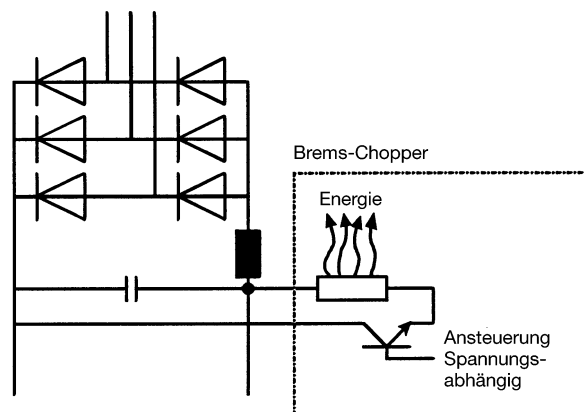
### 3.3.6 Motorschutz

Die Frequenzumrichter haben üblicherweise einen integrierten elektronischen Motorschutz. Ein zusätzlicher Schutz ist normalerweise nicht mehr erforderlich. Bei speziellen Anwendungen, z.B. 1 Frequenzumrichter speist mehrere Motoren, ist ein zusätzlicher Motorschutz angebracht. Es gilt allerdings zu beachten, dass der Motor auch mit niedrigen Drehzahlen betrieben werden kann. Weil bei Standardmotoren der Lüfter auf der Welle montiert ist, ist eine optimale Kühlung des Motors nicht mehr gewährleistet. In diesem Fall sollte ein Fremdlüfter installiert werden. Um den Schutz auch bei niedrigen Drehzahlen zu gewährleisten, müssen Temperaturfühler, z.B. Thermistoren (PTC), in die Motorwicklungen eingelegt werden.

### 3.3.7 Drehrichtungswechsel und Bremsen

Weil das Drehfeld beim Frequenzumrichter elektronisch gebildet wird, genügt ein Steuerbefehl um die Drehrichtung zu wechseln.

Wird die Frequenz bei laufendem Motor reduziert, so dreht der Rotor schneller als das Drehfeld. Der Motor läuft im sogenannten übersynchronen Betrieb und wirkt als Generator. Es wird also Energie vom Motor in den Frequenzumrichter zurückgespeist, wo sie wieder im Zwischenkreis gespeichert wird. Hier kann nur beschränkt Energie abgeführt werden, so dass die überschüssige Energie zu einem Spannungsanstieg führt. Übersteigt die Spannung einen gewissen Wert, so schaltet der Frequenzumrichter ab. Um dies zu verhindern, muss die Energie abgeführt werden. Dies kann auf verschiedene Arten geschehen.



*Brems-Chopper*

Brems-Chopper:

Über einen Widerstand wird mittels Elektronik die Energie vernichtet.

Rückführung:

Mittels eines separaten Wechselrichters wird die Energie ins Netz zurückgespielen.

Gleichstrombus:

Die Zwischenkreise von mehreren Frequenzumrichter werden zusammengeschaltet. Somit wird die Bremsenergie von anderen Motoren für den Betrieb genutzt.

### **3.4 Frequenzumrichter Vorteile**

Energieeinsparung:

Energie wird gespart, wenn der Motor mit einer Drehzahl entsprechend dem augenblicklichen Bedarf läuft. Dies gilt speziell für Pumpen und Ventilatoren. Geringe Stromaufnahme auch bei niedriger Drehzahl und hohem Moment.

Prozessoptimierung:

Die Anpassung der Geschwindigkeit an den Produktionsprozess ergibt mehrere Vorteile wie effiziente Produktion und optimale Ausnutzung der Anlagen. Die Geschwindigkeit kann optimal an die äusseren Bedingungen angepasst werden.

Schonender Motorbetrieb:

Die Zahl der Starts und Stopps vermindert sich. Es wird somit eine unnötig harte Belastung der Maschinenteile vermieden.

Geringer Wartungsaufwand:

Frequenzumrichter benötigen keine Wartung.

Verbessertes Arbeitsumfeld:

Die Geschwindigkeit eines Förderbandes kann der Arbeitsgeschwindigkeit angepasst werden. Durch ein langsames Starten und Stoppen wird verhindert, dass die Produkte auf dem Band umkippen.

### **3.5 Radiofrequente Störungen**

#### **3.5.1 Allgemeines**

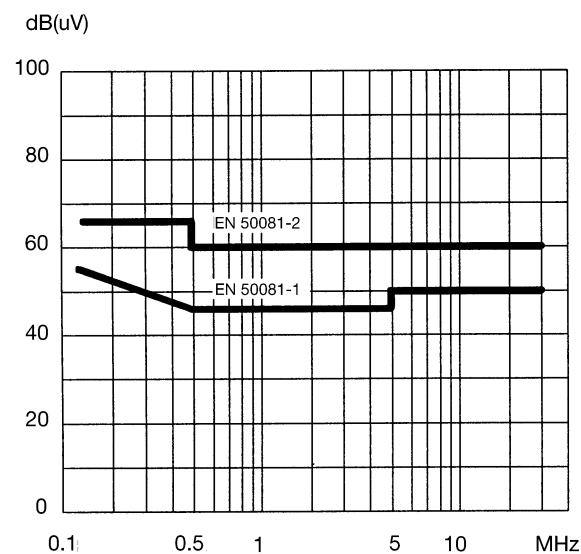
Jeder Strom und jede Spannung, die von der reinen Sinusform abweichen, beinhalten Oberwellen. Die Frequenz dieser Oberwellen sind von der Steilheit des Strom- oder Spannungsverlaufes abhängig.

Wenn z.B. ein Kontakt geschlossen wird, so steigt der Strom plötzlich (sehr steil) von Null auf den Nennstrom an. In einem Radio ist dies evtl. als Knackengeräusch wahrnehmbar. Ein einzelner Geräuschimpuls wird nicht als störend empfunden. Weil die Leistungshalbleiter eines Frequenzumrichters als «Kontakte» funktionieren, senden diese Geräte radiofrequente Störspannungen aus. Durch die relativ hohe Schaltfrequenz (2 - ca. 8 kHz) werden andere elektronische Apparate beeinflusst.

Radiostörungen (RFI: Radio Frequency Interferens) werden als Schwingungen mit Frequenzen zwischen 150 kHz - 30 MHz definiert. Sie werden leitungs- oder strahlungsgebunden verbreitet. Die Stärke der Störungen ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

- Den Impedanzverhältnissen im Versorgungsnetz
- Der Schaltfrequenz des Wechselrichters
- Der Frequenz der Ausgangsspannung
- Dem mechanischen Aufbau des Frequenzumrichter

### 3.5.2 Normen



#### *Norm RFI*

In verschiedenen Ländern gibt es Normen dafür, wieviel Radiostörungen ein Gerät senden darf. Betrachtet man die verschiedenen Normen, so sieht man, dass die meisten etwa dasselbe bedeuten. Grundsätzlich werden aber immer zwei Niveaus festgelegt: Die Kurve für industrielle Ausführungen (EN 50081-2) und jene für gewerbliche Zwecke (EN 50081-1).

### 3.5.3 Massnahmen

Grundsätzlich werden die Radiostörungen durch Abstrahlung oder über die Leitungen gesendet. Die Massnahmen sind aber nur Wirkungsvoll, wenn die Installationsvorschriften eingehalten werden. Auf die grossflächigen Anschlüsse der Erdung ist besonders gut zu achten. Frequenzumrichter und Filter sollten auf der gleichen leitenden Montageplatte befestigt werden.

Abstrahlung:

Wird der Frequenzumrichter in ein geerdetes Metallgehäuse eingebaut, so sind bezüglich der Abstrahlung keine Probleme zu erwarten.

Zuleitung zum Frequenzumrichter:

Die strengsten Normen können nur eingehalten werden, wenn RFI-Filter eingesetzt werden. Eine eingebaute Zwischenkreisdrossel kann aber schon genügen, so dass auf ein Filter verzichtet werden kann.

Motorkabel:

Im Motorkabel lassen sich Radiostörungen auch mit RFI-Filter begrenzen. Die Filter werden aber relativ gross und haben grosse Verlustleistungen. Es ist deshalb üblich, Radiostörungen im Motorkabel durch eine Schirmung zu begrenzen.

# 4

## Vergleich der Anlassverfahren

### Starten von Motoren

Anlassverfahren für Käfigläufer-Normmotoren im Vergleich (typische Werte)		Direkt		Stern-Dreieck		Transformator		Serie-Impedanzen		Spezial-Motoren		Anlauf mit elektronischen Steuergeräten	
		Direktanlauf	Normal	Unterbrechungslose Umschaltung	Vestärkt	Autotransformator Anlauf	Anlauf über Drosseln	Anlauf über Widerstände	Mehrstufen-Anlauf	Anlauf mit Sanftanlassern	Anlauf mit Frequenzumrichter		
Netz	stark	schwach	schwach	schwach	mittel	schwach bis mittel	mittel	mittel	mittel	mittel bis stark	schwach bis mittel	schwach	
Belastung beim Anlauf	voll	gering	gering	gering	mittel	schwach bis mittel	mittel	schwach	schwach	mittel bis voll	schwach bis mittel	schwach bis mittel	
Relativer Anlaufstrom $I_A/I_e$	$I_A=I_{AD}=4...8xI_e$ durch Motor gegeben	$I_A=0,33xI_{AD}$ (1,3...2,7xI <sub>e</sub> )	$I_A=0,33xI_{AD}$ (1,3...2,7xI <sub>e</sub> )	$I_A=-0,5xI_{AD}$ (2...4xI <sub>e</sub> )	$I_A=k^2xI_{AD}$ (k...Anzapfung; typ. 80%; 65%; 50%)	$I_A=k^2xI_{AD}$ (k...Anzapfung; typ. 80%; 65%; 50%)	typ. 0,5xI <sub>AD</sub> (2...4xI <sub>e</sub> )	typ. 0,5xI <sub>AD</sub> (2...4xI <sub>e</sub> )	typ. 0,5xI <sub>AD</sub> (2...4xI <sub>e</sub> )	$I_A=0,5...1xI_{AD}$ je nach Motor und Schaltung	$I_A=kxI_{AD}$ (typ. 2...6xI <sub>e</sub> ) (k...Spannungs-Reduktionsfaktor)	$I_A < 1$ (...2xI <sub>e</sub> )	
Relatives Anlaufmoment $M/M_e$	$M_{AD}=1,5...3xM_e$ durch Motor gegeben	$M_A=0,33xM_{AD}$ (0,5...1,0xM <sub>e</sub> )	$M_A=0,33xM_{AD}$ (0,5...1,0xM <sub>e</sub> )	$M_A=-0,5xM_{AD}$ (0,7...1,5xM <sub>e</sub> )	$M_A=k^2xM_{AD}$ (k...Anzapfung; typ. 80%; 65%; 50%)	$M_A=k^2xM_{AD}$ (k...Anzapfung; typ. 80%; 65%; 50%)	typ. 0,25xM <sub>AD</sub> (0,4...0,8xM <sub>e</sub> )	typ. 0,25xM <sub>AD</sub> (0,4...0,8xM <sub>e</sub> )	typ. 0,25xM <sub>AD</sub> (0,4...0,8xM <sub>e</sub> )	$M_A=0,5...1xM_{AD}$ je nach Motor und Schaltung	$M_A=k^2xM_{AD}$ (k...Spannungs-Reduktionsfaktor)	Anlauf frequenzgesteuert. Moment den Lastbedürfnissen in Weiten Grenzen anpassbar	
Hochlaufzeit	0,2...5 s	2...15 s	2...15 s	2...10 s	2...20 s	2...20 s	2...20 s	2...20 s	2...20 s	0,2...10 s	0,5...10 s	0,5...10 s	
Normalanlauf	5...30 s	15...60 s	15...60 s	10...40 s	20...60 s	20...60 s	Für Schweranlauf nicht üblich	10...60 s	10...60 s	5...30 s	5...60 s	5...60 s	
Schweranlauf 1)													
Charakteristische Merkmale	Starke Beschleunigung bei hohem Anlaufstrom	Anlauf mit reduziertem Moment und Strom; Strom- und Momentenspitze beim Umschalten	Wie Y-D normal; wesentlich reduzierte Strom- und Momentenspitze beim Umschalten	Wie Y-D normal, jedoch mit erhöhtem Anlaufstrom und -moment	Ähnlich Y-D, jedoch ohne Umschalt-Unterbrechung und wählbare Stufen	Spannung am Motor (und damit relatives Moment) nimmt mit Drehzahl zu	Einstelbare Spannung und Moment nehmen mit Drehzahl weniger zu als bei Drosseln	Einstelbare Spannung und Moment nehmen mit Drehzahl weniger zu als bei Drosseln	Einstelbare Spannung und Moment nehmen mit Drehzahl weniger zu als bei Drosseln	Anlaufstrom und Anlaufmoment je nach Motor und Schaltung	Anlaufcharakteristik. Auch gesteuerter Auslauf möglich. Relativ weniger Moment pro Strom als z.B. bei Y-D.	Hohes verfügbares Moment bei kleinem Strom. Anlaufcharakteristik einstellbar.	
Anwendungsbereich	Antriebe an starken Netzen, die das hohe Anlaufmoment zulassen	Antriebe, die erst nach dem Hochlauf belastet werden	Wie Y-D normal, aber für Antriebe mit wenig Schwingmasse und höherem Widerstandsmoment	Antriebe mit höherem Momentbedarf beim Anlauf	Vorwiegend englischer Sprachraum. Wie die Y-D-Anlaufarten.	Antriebe mit der Drehzahl zunehmendem Widerstandsmoment aufwendiger, dafür flexibler.	Kostengünstig; für lastfreie Anläufe. Mit Widerstands-Stufen aufwendiger, dafür flexibler.	Kostengünstig; für lastfreie Anläufe. Mit Widerstands-Stufen aufwendiger, dafür flexibler.	Kostengünstig; für lastfreie Anläufe. Mit Widerstands-Stufen aufwendiger, dafür flexibler.	Meist für betriebsmäßige Beeinflussung der Drehzahl	Anläufe, die sanfter oder einstellbaren Drehmoment-Verlauf (oder Stromreduktion) verlangen.	Meist für betriebsmäßige Drehzahlverstellung. Bei kleinen Leistungen auch anstelle Sanftanlassern.	

$I_A$ ...Motor-Anlaufstrom  
 $I_{AD}$ ...Motor-Anlaufstrom bei Dreieckschaltung  
 $M_{AD}$ ...Motor-Anlaufmoment bei Dreieckschaltung  
 $I_e$ ...Bemessungs-Betriebsstrom des Motors  
 $M_e$ ...Bemessungs-Betriebsmoment des Motors  
 1) Dimensionierung bis in den Minutenbereich möglich





# Mehr als 500'000 Möglichkeiten, um Ihr Automatisierungssystem zu verbessern

<b>Leistungsgeräte</b>	Leistungsschütze und Motorstarter Motorschutz Motor-Control-Center Leistungsüberwachung Steuer- und Lastschalter Relais	<b>Automatisierung</b>	Programmierbare Steuerungen Digital- und Analog-E / A Intelligente Peripheriebaugruppen
<b>Sensorik</b>	End-, Photoelektrik- und Näherungsschalter Druck- und Temperatursensoren Identifikationssysteme (HF) Strichcode-Lesesysteme Encoder Bildverarbeitungssysteme	<b>Kommunikation</b>	Netzwerke und Feldbussysteme Offene Kommunikationsnetzwerke (MAP)
<b>Bediengeräte</b>	Befehls- und Meldegeräte Text- und LCD-Anzeigen Bedienkonsolen Industrierechner Visualisierungs-Software	<b>Systemlösungen</b>	Kundenspezifische Entwicklungen Prozess- / Batch-Steuerungen Brennersteuerungen Spritzgiess- und Pressen-Steuerungen SCADA
<b>Antriebstechnik</b>	Sanftanlaufgeräte Frequenzumrichter Gleich- und Wechselspannungsantriebe Achsensteuerungen und Servoantriebe CNC-Steuerungen	<b>Qualitätssicherung</b>	Statistische Datenerfassung und Analyse
		<b>Dienstleistungen</b>	Weltweiter Service und Support Kundenschulung Reparatur und Ersatzteil-Service Technische Beratung

## Deutschland

Rockwell Automation  
Zweigniederlassung der  
Rockwell International GmbH  
Düsselberger Straße 15  
**D-42781 Haan-Gruiten**  
Telefon 02104-960-0  
Fax 02104-960-121

**D-40599 Düsseldorf**  
Telefon 0211-74835-0

**D-70794 Filderstadt**  
Telefon 0711-7779-0

Vertriebsbüros  
Rockwell Automation

**D-21079 Hamburg**  
Telefon 040-766 162-0

**D-10709 Berlin**  
Telefon 030-893 641-0

**D-09648 Mittweida**  
Telefon 03727-922 21

**D-63303 Dreieich**  
Telefon 06103-3797-0

**D-81829 München**  
Telefon 089-427 443-0

## Österreich

Rockwell Automation GmbH  
Bäckermühlweg 1  
**A-4030 Linz**  
Telefon 0732-38909-0  
Fax 0732-38909-61

Vertriebsbüros

**A-1234 Wien**  
Telefon 01-892 8880-0

**A-6020 Innsbruck**  
Telefon 0512-341 362-0

**A-8020 Graz**  
Telefon 0316-287 300-0

## Schweiz

Rockwell Automation AG  
Verkaufszentrum  
Gewerbepark  
Postfach 64  
**CH-5506 Mägenwil**  
Telefon 062 889 77 77  
Fax 062 889 77 66

Verkaufsstützpunkte

**CH-5506 Mägenwil**  
Telefon 062 889 77 77

**CH-3027 Bern**  
Telefon 031 992 98 00

**CH-6036 Dierikon**  
Telefon 041 445 22 22

**CH-6814 Lamone**  
Telefon 091 604 62 62

**CH-9501 Wil**  
Telefon 071 929 92 25

**CH-1020 Renens**  
Telefon 021 631 32 32



Rockwell Automation vereint führende Marken der industriellen Automation und hilft seinen Kunden, den größtmöglichen Gewinn aus ihren Investitionen zu ziehen. Wir bieten ein umfassendes Sortiment an leicht integrierbaren Produkten. Unsere Produkte werden durch Kundendienstmitarbeiter vor Ort und weltweit, über ein globales Netzwerk von Systemanbietern und die Forschungs- und Entwicklungszentren von Rockwell umfassend unterstützt.



## Weltweite Niederlassungen.

Ägypten • Argentinien • Australien • Bahrain • Belgien • Bolivien • Brasilien • Bulgarien • Chile • Costa Rica • Dänemark • Deutschland • Dominikanische Republik • Ecuador  
El Salvador • Finnland • Frankreich • Ghana • Griechenland • Großbritannien • Guatemala • Honduras • Hongkong • Indien • Indonesien • Irland • Island • Israel • Italien  
Jamaika • Japan • Jordanien • Kanada • Kolumbien • Korea • Kroatien • Kuwait • Libanon • Macao • Malaysia • Malta • Marokko • Mexiko • Niederlande • Neuseeland • Nigeria  
Norwegen • Österreich • Oman • Pakistan • Panama • Peru • Philippinen • Polen • Portugal • Puerto Rico • Qatar • Republik Südafrika • Rumänien • Rußland • Saudi-Arabien  
Singapur • Slowakei • Slowenien • Spanien • Schweden • Schweiz • Taiwan • Thailand • Trinidad • Tschechien • Türkei • Tunesien • Ungarn • Uruguay • Venezuela • Vereinigte  
Arabische Emirate • Vereinigte Staaten • Volksrepublik China • Zypern

Hauptverwaltung weltweit: 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204, USA, Tel.: +1 414 382 2000, Fax: +1 414 382 4444  
Hauptverwaltung Europa: Avenue Herrmann Debroux, 46, 1160 Brüssel, Belgien, Tel.: +32 2 663 0600, Fax: +32 2 663 0640  
Hauptverwaltung Asien/Pazifik: 27/F Citicorp Centre, 18 Whitfield Road, Causeway Bay, Hong Kong, Tel.: +852 2887 4788, Fax: +852 2510 9436  
World Wide Web: <http://www.ab.com>