

# Praxisfibel

## Frequenzumrichter

Leitfaden zum Einsatz von  
Frequenzumrichtern



# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Praxiserprobt und ergebnisorientiert .....	4
Was spricht für den Einsatz eines Frequenzumrichters? .....	5
Frequenzumrichter im täglichen Einsatz.....	6
Kosten sparen über die Zeit.....	8
Planung der Anlage .....	9
Lastkennlinien.....	10
Netzformen.....	12
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	14
Niederfrequente Netzurückwirkungen .....	17
Motorausgangsfiler .....	21
Einbauort.....	22
Zusammensetzung der IP-Schutzklassen nach IEC 60529.....	23
Umgebungsbedingungen .....	24
Installation und Kabelverlegung.....	27
Abschirmung .....	28
Schutzschalter/ Fehlerstromschutzschalter.....	31
Motoren für den Frequenzumrichterbetrieb .....	32

<b>Motorkühlung und Motorschutz .....</b>	<b>35</b>
<b>Betriebsarten des Motors.....</b>	<b>36</b>
<b>Funktionale Sicherheit .....</b>	<b>38</b>
<b>Bedienung und Setup-Software .....</b>	<b>39</b>
<b>Kommunikation .....</b>	<b>40</b>
<b>Netzwerke.....</b>	<b>41</b>
<b>Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric im Überblick .....</b>	<b>42</b>
<b>Wichtige Normen und Standards .....</b>	<b>44</b>
<b>Index.....</b>	<b>46</b>
<b>Auswahlhilfe.....</b>	<b>50</b>

# Praxiserprobt und ergebnisorientiert



## Hilfreicher Leitfaden für die Praxis

Schnell und effizient zur praxistauglichen Lösung – so lautet das Motto der Praxisfibel von Mitsubishi Electric. Sie ist ein hilfreicher Leitfaden für alle diejenigen, die drehzahl-geregelte Antriebe mit Frequenzumrichter konzipieren. Ob Planungs- oder Ingenieurbüro, ob Anlagenbauer oder Projektierer: für alle soll die Fibel aus der Vielfalt der gangbaren Wege den Weg aufzeigen, der zu einem optimalen Ergebnis führt.

Bei der Auslegung eines drehzahl-geregelten Antriebssystems ist eine gute Planung unerlässlich. Hinsichtlich der Betriebs- und Wartungskosten sowie des störungsfreien und sicheren Betriebs wird hier bereits die Qualität des Antriebssystems festgelegt.

Daher ist gerade in diesem Stadium eine sorgfältige Vorgehensweise von essenzieller Bedeutung. Die Praxisfibel hilft Ihnen dabei, alle für die Planung notwendigen Aspekte zu berücksichtigen. Daraus resultiert neben einer erhöhten Planungssicherheit eine Minimierung des Risikos, wichtige Details zu übersehen.

Dazu sind die wichtigsten Punkte zur Planung einer Anlage kurz und prägnant dargestellt. Auf umfangreiche Ausführungen technischer Zusammenhänge ist bewusst verzichtet worden, um zielorientiert zu einem Ergebnis zu gelangen.

## Die Auswahlhilfe

Zur Unterstützung Ihrer Planung befindet sich am Ende jedes Themas eine Merkzeile, in der Sie das Resultat Ihrer Betrachtungen kurz festhalten können. Weitere Detailinformationen sowie die hierfür ausgewählten Komponenten können Sie anschließend in die Auswahlhilfe am Ende der Fibel eintragen. Nach der Abarbeitung aller Punkte in dieser Praxisfibel steht Ihnen damit eine fundierte Grundlage zur Realisierung Ihrer Anlage zur Verfügung.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?
1	<input type="checkbox"/> XXXX <input type="checkbox"/> XXXXXX



# Was spricht für den Einsatz eines Frequenzumrichters?

Der Einsatz drehzahl geregelter Antriebe führt zu deutlichen Energie- und Kosteneinsparungen. Insbesondere z. B. bei der Durchfluss- und Druckregelung von elektromagnetischen Pumpen kann der Frequenzumrichter seine Stärken ausspielen. Betrachten wir dies an einem Beispiel zur Trinkwasserversorgung:

Der Wasserverbrauch schwankt über die Zeit gemessen erheblich. Die Schwankungen treten sowohl im saisonalen als auch im Tagesverlauf auf:

- Jährliche Schwankungen in Abhängigkeit von den klimatischen Verhältnissen (heißer oder kühler Sommer)
- Monatliche Schwankungen in Abhängigkeit von der Jahreszeit
- Tägliche Schwankungen in Abhängigkeit von Wochenenden und Feiertagen
- Stündliche Verbrauchsschwankungen in Abhängigkeit von der jeweiligen Tageszeit

Aufgrund der Schwankungen laufen die Pumpen meist im Teillastbetrieb. Durch die Ansteuerung der Pumpen mit einem Frequenzumrichter arbeiten diese auch bei unterschiedlichen Durchflussbedingungen immer mit maximalem Wirkungsgrad. Und wenn wir uns den kubischen Zusammenhang zwischen Drehzahl und Leistung vor Augen führen (siehe Seite 10), ist schnell zu erkennen, dass eine Pumpe, die mit halber Drehzahl läuft, nur etwa ein Achtel der Leistung aufnimmt wie bei voller Drehzahl.

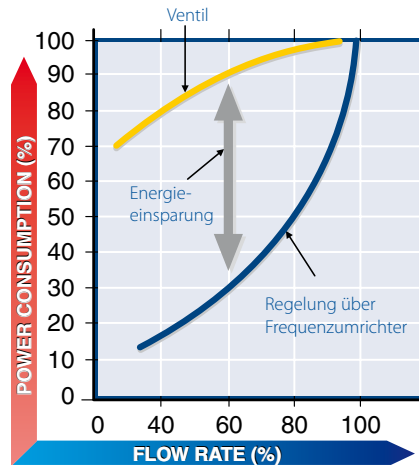
## Die Vorteile auf einen Blick

### ■ Effektiv Energie sparen

Gerade bei Pumpen und Lüftern können drastische Energieeinsparungen von bis zu 60 % erzielt werden.

### ■ Begrenzung des Anlaufstroms

Der Frequenzumrichter begrenzt den Anlaufstrom auf den Motornennstrom.



Energieeinsparung bei Frequenzumrichtereinsatz

### ■ Umrüstung

Bestehende Anlagen sind einfach mit Frequenzumrichtern nachrüstbar.

### ■ Geringerer Anlagenverschleiß

Durch sanfte Start- und Stoppvorgänge des Motors werden alle angekoppelten Komponenten wie Getriebe, Kupplung usw. geringer belastet.

### ■ Optimale Betriebspunktanpassung

Frequenzumrichter ermöglichen den Betrieb einer Anlage im optimalen Betriebspunkt und steigern somit den Wirkungsgrad.

### ■ Erweiterter Regelbereich

Der Frequenzumrichter ermöglicht den Betrieb des Motors in einem großen Drehzahlbereich.

### ■ Lange Standzeiten

Der Teillastbetrieb des Antriebssystems verursacht einen geringeren Verschleiß, wodurch die Standzeit der einzelnen Komponenten erheblich verlängert wird.

### ■ Geringere Geräusentwicklung

Läuft eine Anlage nicht im Vollastbetrieb, treten auch weniger Geräusche auf.

## Besondere Anforderungen an den Frequenzumrichter

### ■ Netzwerkfähigkeit

Die Vernetzung der Antriebe über ein Feldbusssystem muss eine zentrale Ansteuerung und Überwachung der Antriebe durch eine externe SPS ermöglichen.

### ■ Fernüberwachung

Eine der Hauptanforderungen der Wasserwirtschaft ist die Fernüberwachung der in einem großen Abstand verteilten Stationen von einem zentralen Leitstand aus.

### ■ Hohes Anlaufmoment

Die Erzeugung eines Übermoments, um eine Last aus dem Stillstand in Bewegung zu versetzen, wird als Überlastfähigkeit bezeichnet.

### ■ Schutzklasse

Je nach Einsatzort muss gerade in der Wasserwirtschaft ein besonderes Augenmerk auf die Schutzklasse und die Schutzlackierung der Platinen gelegt werden.

### ■ Kaskadierung von Pumpen

Die Kaskadierung von Pumpen ermöglicht ein effektives Motormanagement (z. B. bei sprunghaftem Anstieg des Wasserbedarfs).

### ■ Ausfallsicherheit

Hohe Ausfallsicherheit der räumlich oft weit auseinanderliegenden Komponenten ist ebenso wichtig wie deren Wartungsfreundlichkeit.

### ■ Spezielle Software-Lösungen

Speziell für zahlreiche Branchen und deren Anforderungen zugeschnittene Software-Lösungen unterstützen die Planung, Entwicklung und Inbetriebnahme der Anlage.

# Frequenzumrichter im täglichen Einsatz



In diesem Abschnitt werden einige Beispiele für den Einsatz drehzahlvariabler Antriebe mit Frequenzumrichter aufgezeigt. Sie sollen einen Einblick in die Praxis vermitteln und Anregungen für weitere Einsatzmöglichkeiten liefern. Zudem werden nützliche Hinweise zur Kosten-Nutzen-Rechnung und speziell auf Energiesparpotentiale gegeben, die für die Anlagenbauer und Anlagenbetreiber heute immer wichtiger werden.

## Kontrollierte Wasser- und Abwasser-versorgung

Mithilfe fortschrittlicher Antriebs- und Automatisierungslösungen wird weltweit an vielen Orten die Wasserversorgung – aus dem Grundwasser, aus Quellen und aus Oberflächenwasser – sicher geregelt. Intelligente Antriebe reduzieren beispielsweise den Stromverbrauch bei der Wasserförderung aus Brunnenbohrungen. Stromverbrauch, Wasserdurchsatz und Füllstände werden dabei transparent und einfach über weit verteilte Anlagensysteme überwacht und bei Bedarf den Anforderungen angepasst. Ferner regeln Frequenzumrichter aber auch den Transport des Rohwassers – zum Wasserwerk wie zum Verbraucher, inklusive einer sicheren und wirtschaftlichen Fernsteuerung von Absperr- und Regelarmaturen.

Die Vorteile eines modernen Frequenzumrichters haben auch die aha – Abfallwirtschaft Region Hannover – überzeugt. Frequenzumrichter des Typs FR-F700 haben die Betriebs- und Servicekosten der Sickerwasserbehandlung von aha drastisch reduziert und die Anschaffungskosten von

rund 70.000 Euro innerhalb von zwei Jahren bereits refinanziert. Gleich 12 Drehkolbenpumpen mit einer Förderleistung von je  $35 \text{ m}^3$  pro Stunde arbeiten ununterbrochen an 365 Tagen im Jahr in einer Nachklärstufe der Sickerwasserbehandlungsanlage. Die 12 Pumpen beschieken die Schlammtrennung und entziehen dem Klärungsprozess das biologisch gereinigte Wasser. Nach dieser vorletzten Reinigungsstufe durchläuft das Medium sechs Aktivkohlefilter, in welchen schwer abbaubare Verbindungen wie CSB und AOX adsorbiert werden. Hiernach wird das vorgereinigte Abwasser zur kommunalen Kläranlage nach Hannover-Herrenhausen gepumpt, wo es in den Zulauf der zu reinigenden häuslichen Abwässer gelangt.



Drehkolbenpumpen zur Sickerwasserbehandlung mit FR-F700

In der Vergangenheit war in Hannover eine unregelmäßige Antriebslösung im Einsatz. Dabei liefen alle 12 Drehkolbenpumpen unregelmäßig – das heißt alle Pumpen wurden direkt am starren Drehstromnetz betrieben. Die Pumpen wurden hierbei starken mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt, da bei einer Netzaufschaltung die volle Netzspannung wirksam ist und kein geregeltes Hochfahren der Pumpen stattfindet. Das hat zwangsläufig zu immer wiederkehrenden Lagerschäden, Dichtungsproblemen und Leckagen am Gehäuse sowie zu Problemen mit der gesamten Verrohrung des Pumpensystems geführt.

## Emissionsreduzierendes Gebäudemanagement

Büro-, Verwaltungs- und Produktionsgebäude bieten aus energietechnischer Sicht viele Möglichkeiten zur Verbrauchsreduzierung – selbst ohne Sanierung bzw. Optimierung der Gebäudehülle. Ganz einfach durch fortschrittliche Steuerung und Regelung von Licht, Beschattung, Sicherheit, Heizung, Lüftung und Klima (HKL) bzw. einschließlich Überwachung der Schließzustände von Fenstern und Türen.

Die finnische Stadt Tampere musste eines ihrer öffentlichen Gebäude komplett modernisieren. Für die Antriebstechnik der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage hat sich die Stadtverwaltung für den FR-F700 Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric entschieden. Ein Frequenzumrichter, der sowohl den weltweiten Netzwerkstandard in der Gebäudeautomation, nämlich LonWorks, bietet und dabei noch ein Maximum an Energie und damit Kosten spart. In Tampere sind die Sicherheits-, Beleuchtungs- und andere Gebäudesysteme über das LonWorks-Netzwerk miteinander verbunden, und tauschen so einfach, schnell und sicher alle Betriebsdaten aus. Die weiteren Vorteile der Baureihe überzeugten die Stadtverwaltung ebenso: Im Vergleich zu mechanischen Lösungen, wie z. B. einer Drosselklappe, spart der FR-F700 Frequenzumrichter dank der intelligenten „Optimum Excitation Control-Funktion“ (OEC-Control) rund 60 % Energie – und ist damit äußerst wirtschaftlich. Auch die einfache Inbetriebnahme und Bedienung, der wartungsfreundliche Aufbau, der abnehmbare Klemmenblock, das Selbstdiagnosesystem, der Service-Timer, das eingebaute Funkentstörfilter, die lange Lebensdauer und die hohe Zuverlässigkeit machen den FR-F700 in der Heizung, Lüftung und Klima-Branche zur ersten Wahl.



Schalt- und Leitwarte in Tampere mit zahlreichen verbauten FR-F700

## Intelligente Intralogistiklösungen

Flexibilität, Effektivität und Wirtschaftlichkeit – das sind Anforderungen, die eine moderne Intralogistik heute erfüllen muss. Dabei spielt natürlich auch das Antriebs- und Automatisierungssystem eine entscheidende Rolle.

Der Hänel Lean-Lift® ist Lager-Rationalisierung und Lagergut-Schutz in einem: Im Zentrum dieses geschlossenen Systems arbeitet ein rechnergesteuerter Positionierlift – der „Extraktor“. Davor und dahinter sind die Lager-Regale angeordnet. Dort wird das Lagergut höhenoptimiert in Containern gelagert. Die Lagerorte werden automatisch über die elektronische Steuerung mit dem Extraktor angefahren. Er lagert oder entnimmt den angeforderten Container. Die Bedienung erfolgt bequem in ergonomischer richtiger Höhe im Entnahmebereich. Hier sind natürlich hohe Verfahrgeschwindigkeiten, geringe Geräuschbelastung und präzise Positionierung gefordert. Die vertikale Verfahrgeschwindigkeit bei einer Container-Zuladung bis 500 kg mit leerem Extraktor beträgt 2,3 m/sec und bei beladenem Extraktor 1,0 m/sec. Horizontal verfährt der Extraktor ruckfrei mit einer Geschwindigkeit von 0,5 m/sec. Die Aufgaben übernimmt ein Frequenzumrichter des Typs FR-A741 mit voll-integrierter Rückspeiseeinrichtung, integrierter SPS sowie zahlreichen Technologiefunktionen für die Industrie. So wandelt im Hänel Lean-Lift® EcoDrive® der FR-A741 die kinetische Energie des herabfahrenden Extraktors in elektrische Energie um und speist diese wieder in das elektrische Netz



Moderne Intralogistik und EcoDrive® Antrieb FR-A741

ein. Je nach Verfahrlast können bis zu 40 % der für die Aufwärtsbewegung eingespeisten Energie wieder an das Stromnetz zurückgegeben werden. Das ist Technologie auf Top-niveau.

# Kosten sparen über die Zeit

## Lebenszykluskosten (LCC)

Bei der Auswahl eines Antriebssystems sollten nicht nur die Anschaffungs- und Installationskosten im Vordergrund stehen. Erst die ganzheitliche Betrachtung aller Kosten, die Antriebssysteme während ihrer Laufzeit verursachen, führt zu einer soliden Grundlage für eine Kaufentscheidung. Die einzelnen Posten werden in der Lebenszykluskostengleichung erfasst.

## Die Elemente der Lebenszyklusanalyse

- $C_{ic}$  = Anschaffungskosten (invested capital)  
Kosten, die vor der Inbetriebnahme anfallen, also Einkaufskosten für die einzelnen Komponenten usw.
- $C_{in}$  = Einrichtungs-/Inbetriebnahmekosten (installation)  
Kosten für die Montage und Inbetriebnahme der gesamten Anlage

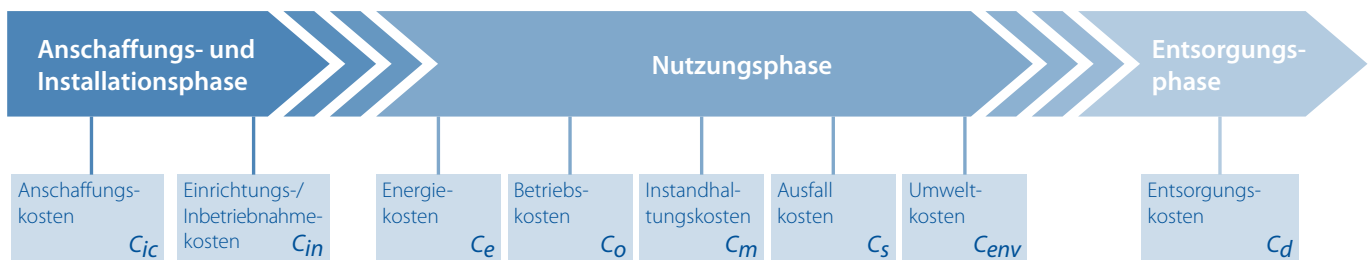
- $C_e$  = Energiekosten (energy)  
Kosten für den Energiebedarf der einzelnen Komponenten
- $C_o$  = Betriebskosten (operation)  
Kosten wie Personalkosten oder Kosten, die durch die Steuerung durch ein übergeordnetes System entstehen
- $C_m$  = Instandhaltungskosten (maintenance)  
Kosten für die normale Wartung, d. h. das Reinigen und Schmieren von Komponenten oder der Austausch von Kühlventilatoren.
- $C_s$  = Ausfallkosten (standstill)  
Kosten durch entgangene Erlöse
- $C_{env}$  = Umweltkosten (environment)  
Kosten, die durch die Anforderungen an die Umwelt und den Arbeitsschutz entstehen wie Entsorgung von Schmierstoffen.
- $C_d$  = Stilllegungs-/Entsorgungskosten (decommissioning)  
Kosten für die Demontage und Entsorgung der ausgedienten Anlage.

## Einflussgrößen zur Kostensenkung

Die beiden Parameter Energie- und Instandhaltungskosten haben einen großen Einfluss auf die Höhe der Lebenszykluskosten. Dass sich gerade durch den Einsatz von Frequenzumrichter in Pumpensteuerungen immense Energieeinsparungen realisieren lassen, wurde bereits auf der vorhergehenden Seite erläutert.

Zusätzlich verfügen die Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric über langlebige und leicht zugängliche Komponenten wie z. B. die Lüfter, wodurch die Instandhaltungskosten erheblich minimiert werden.

Der Wartungs-Timer, der die Lebensdauer verschiedener Komponenten überwacht, ermöglicht einen Austausch von Verschleißteilen, noch bevor die Maschine ausfällt oder stillsteht. Das führt zu einer enormen Senkung der Ausfallkosten.



$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$



# Planung der Anlage

## Grundlagen

Bei der Dimensionierung eines Antriebssystems müssen alle Parameter genauestens beachtet werden. Daher werden in diesem Teil der Fibel wichtige Einflussgrößen wie die Spannungsversorgung, die Umgebungsbedingungen u.v.m. betrachtet. In diesem Kapitel soll die Vorgehensweise bei der grundlegenden Auswahl des Frequenzumrichters besprochen werden.

Die Auswahl des Frequenzumrichters sollte mit größter Umsicht erfolgen, denn eine sorgfältige Dimensionierung ist der Schlüssel zu einer kosten sparenden Antriebslösung. Dabei darf die Auslegung des Frequenzumrichters nicht ausschließlich nach der Leistung in Kilowatt erfolgen. Genauer gesagt muss hier der Motornennstrom bei größter Belastung zugrunde gelegt werden, da sich die Motorleistung nicht auf die elektrische Anschlussleistung, sondern auf die mechanische Wellenleistung bezieht.

Gleichzeitig ist zu beachten, dass die Leistung nur erreicht wird, wenn am Motor auch die volle Ausgangsspannung des Frequenzumrichters anliegt. Diese darf also nicht durch Spannungsabfälle an Filtern, Drosseln oder am Motorkabel reduziert werden, da der Motor dann zum Erreichen der Leistung einen höheren Strom benötigen würde. Die dadurch entstehenden zusätzlichen Wärmeverluste verringern die Lebensdauer des Motors und treiben die Kosten in die Höhe.



## Auswahlsschritte

Die Auslegung von Motor und Frequenzumrichter kann nach folgender Methode erfolgen:

- Anschlussbedingungen prüfen  
Prüfen Sie den Netzspannungsbereich (200 V–690 V) und die Netzfrequenz (50 Hz–60 Hz)
- Prozessanforderungen prüfen  
Wie hoch ist das Anlaufmoment? In welchem Drehzahlbereich wird gearbeitet? Welcher Lasttyp liegt vor? (Die Lasttypen werden auf den folgenden Seiten erläutert.)
- Motor auswählen  
Wählen Sie den Motor so, dass das Motornennmoment dem Nennmoment der Arbeitsmaschine entspricht. Die thermische Überlastfähigkeit des Motors darf nicht überschritten werden.

- Frequenzumrichter auswählen  
Wählen Sie den Frequenzumrichter passend zu den Anschlussbedingungen, den Prozessanforderungen und dem Motor. Prüfen Sie den Leistungsbereich im Hinblick auf den erforderlichen Strom und die Leistungsabgabe. Können Sie die Überlastfähigkeit des Frequenzumrichters bei einer zyklischen Überlast nutzen? Die Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric verfügen beispielsweise über eine Überlastfähigkeit von bis zu 250 %. Kann der Frequenzumrichter dadurch kleiner gewählt werden? Sollte der Frequenzumrichter über spezielle Merkmale für Ihren Antrieb verfügen (z. B. Kaskadierung von Pumpen, integrierte PID-Regelung, Zwischenkreisführung der Ausgangsfrequenz)?

# Lastkennlinien

## Das Lastprofil

Die meisten Antriebssysteme in der Praxis besitzen eine Kennlinie mit einem quadratisch zur Drehzahl ansteigenden Drehmoment ( $M \sim k \times n^2$ ; k: Antriebskonstante).

Ein Losbrechmoment tritt bei diesen Antrieben kaum auf. Die Antriebsleistung ist sehr stark drehzahlabhängig. Sie ändert sich mit der dritten Potenz der Drehzahl ( $P \sim n^3$ ).

Ein Beispiel mit einer Pumpe soll den Zusammenhang verdeutlichen:

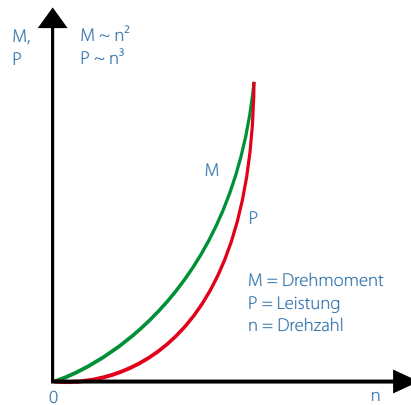
Wird die Pumpleistung z.B. von 100 auf 90 % abgesenkt, so reduziert sich die Antriebsleistung nach  $0,9^3 \times P_n$  auf etwa 70 %.

Daneben finden sich in der Praxis auch Anwendungen, die über den gesamten Arbeitsbereich, also auch schon bei niedrigen Drehzahlen, dem Motor ein hohes Drehmoment abfordern können (Kolbenpumpen).

Neben dem in der Praxis häufig auftretenden quadratisch steigenden oder konstanten Drehmoment finden wir in der Praxis noch weitere Kennlinien:

- linear steigendes Drehmoment
- konstante Leistung im Drehzahlbereich

Darüber hinaus treten auch Mischformen dieser Lasttypen auf, die in einer allgemeinen Darstellung schwieriger zu beschreiben sind. Dazu zählen unter anderem verschiedene symmetrische und unsymmetrische Lasten. Zumindest für überschlägige Bemessungen sind die vier Grundtypen jedoch meistens ausreichend.



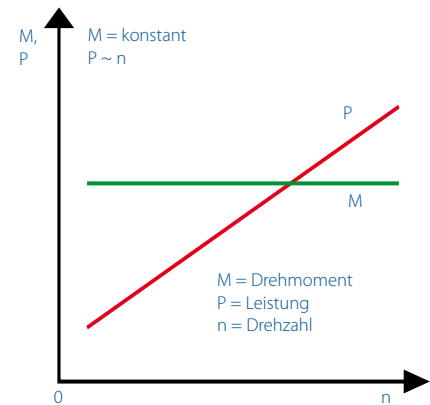
## Quadratisch steigendes Drehmoment

Ein quadratisch mit der Drehzahl steigendes Drehmoment ergibt sich meist, wenn eine Gas- oder Flüssigkeitsreibung vorliegt. Die kubische Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl führt dazu, dass eine Halbierung der Drehzahl nur noch ein Achtel an Leistung erfordert.

Aus diesem Zusammenhang geht eines der Hauptargumente für den Einsatz eines Frequenzumrichters in Pumpen- und Ventilatorantrieben deutlich hervor: Die enorme Energieersparnis, wenn die Fördermenge statt über Drosselklappen oder Stauschieber über die Drehzahl des Motors geregelt wird.

Typische Anwendungen mit quadratischer Drehmomentkennlinie sind:

- Pumpen
- Lüfter
- Zentrifugen
- Rührwerke



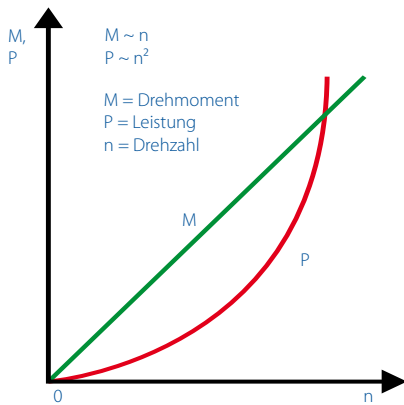
## Konstantes Drehmoment

Ein drehzahlunabhängiges konstantes Belastungsmoment ( $M = \text{konstant}$ ) findet man üblicherweise bei Dosierpumpen, Kolbengebläsen und Verdichtern. Unter Umständen muss beim Anlauf dieser Anlagen – z.B. beim Anheben eines Schleusentores oder beim Anlauf einer Pumpe, in der sich Schlamm angesammelt hat – ein Losbrechmoment von beträchtlicher Größe überwunden werden. In einem solchen Fall ist zu prüfen, ob die kurzzeitige Überlastfähigkeit von Frequenzumrichter und Motor ausreicht, um das Losbrechmoment zu überwinden, oder ob gar eine größere Antriebseinheit zu wählen ist.

Die Leistung steigt bei konstanter Belastung drehzahlproportional an. Sollen große Drehmomente bei kleinen Drehzahlen permanent gefahren werden, ist eine Fremdbelüftung des Motors vorzusehen, um die Verlustwärme abzuführen. Bei Eigenbelüftung muss das dauernd zulässige Drehmoment reduziert werden. Insbesondere bei längerem Betrieb mit kleinen Drehzahlen und großem Drehmoment besteht die Gefahr der thermischen Überlastung. Durch den Einsatz von PTC-Widerständen im Motor lässt es sich vermeiden, dass eine kritische Temperatur überschritten wird.

Typische Anwendungen mit konstantem Drehmoment sind:

- Hebezeuge
- Fließbänder
- Verarbeitungsmaschine mit Formänderungsarbeit
- Hobelmaschinen
- Werkzeugmaschinen
- Extruder

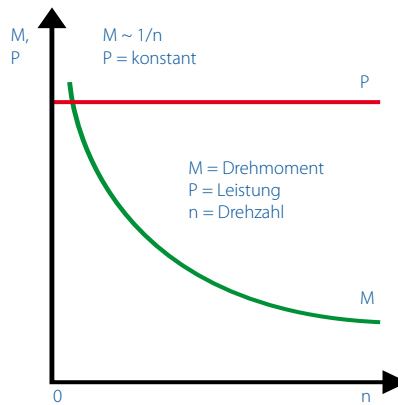


## Linear steigendes Drehmoment

Ein linear mit der Drehzahl steigendes Belastungsmoment ( $M \sim k \times n$ ;  $k$ : Antriebskonstante) findet man bei Kalandern mit geschwindigkeitsproportionaler Viskosereibung, Papierverarbeitungsmaschinen und bei Wirbelstrombremsen. Losbrechmomente treten bei diesen Anwendungen kaum auf. Die Leistung steigt quadratisch mit der Drehzahl, d. h., die doppelte Drehzahl erfordert die vierfache Leistung.

Typische Anwendungen mit linear steigendem Drehmoment sind:

- Kalandern mit viskoser Reibung
- Wirbelstrombremse
- Papierverarbeitungsmaschinen



## Konstante Leistung im Betriebsbereich

Diese Belastungscharakteristik ( $P = \text{konstant}$ ,  $M \sim 1/n$ ) findet man besonders ausgeprägt bei allen Wicklern. Das beschriebene Verhalten tritt auf, wenn Material mit konstanter Materialgeschwindigkeit bei konstantem Materialzug aufgewickelt wird, aber auch bei der spanabhebenden Bearbeitung im Bereich der Werkzeugmaschinen wie zum Beispiel bei Plandrehmaschinen oder Rundschälmaschinen. Bei kleineren Drehzahlen werden grobe Späne abgenommen (Schruppen), während das Feinschlichten, d. h. der Abhub sehr feiner Späne, bei höchster Drehzahl erfolgt (hohe Oberflächengüte).

Typische Anwendungen mit konstanter Leistung im Betriebsbereich sind:

- Wickler
- Plandrehmaschinen
- Rundschälmaschinen

## Bestimmung der Lastkennlinie

Ziel bei der Auslegung eines Antriebssystems ist es, die Komponenten so auszulegen, dass die Last im gewünschten Bereich betrieben werden kann.

Um die Last zu bewegen, muss das Drehmoment des Antriebs größer als das der Last sein. Ist es kleiner, kann die Last nicht bewegt werden oder die Last bewegt den Antrieb. Sind beide Drehmomente im Gleichgewicht, befindet sich das System im Betriebspunkt.

Eine genaue Bestimmung der Lastmomente kann in der Praxis recht aufwändig werden. Die Vorgehensweise wird im Folgenden kurz beschrieben:

- Die Berechnung der Prozesskräfte kann über Rechenmodelle, graphische Auswertungen, Abschätzungen und Vergleiche mit bereits existierenden ähnlichen Anwendungen erfolgen.
- Eine Messung der Kräfte und Bewegungen kann über Kraft- und Drehmomentmessgeräte, über Bewegungsanalysen mit Videokamera usw. erfolgen.
- Die Messung kann auch über einen Motor, der die bestehende Maschine antreibt, vorgenommen werden. Nach einer Kalibrierung mit Drehmomentmessung kann durch die Aufzeichnung des momentbildenden Stromes eine Rückrechnung auf die Lastdaten erfolgen.

Neben den oben genannten Lastmomenten muss ein zusätzliches Drehmoment zur Überwindung des Massenträgheitsmomentes beim Beschleunigen der Last und zur Erzeugung eines eventuellen Losbrechmomentes aufgebracht werden.

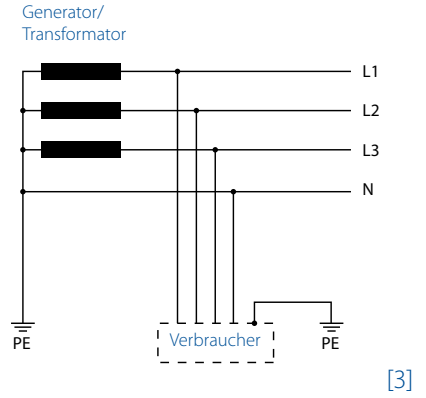
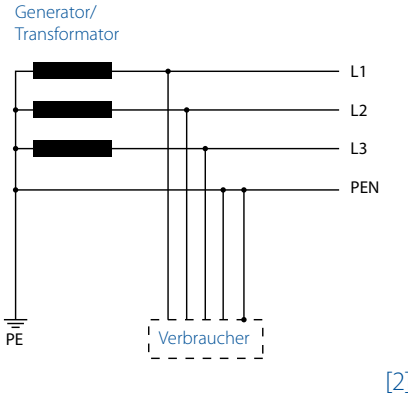
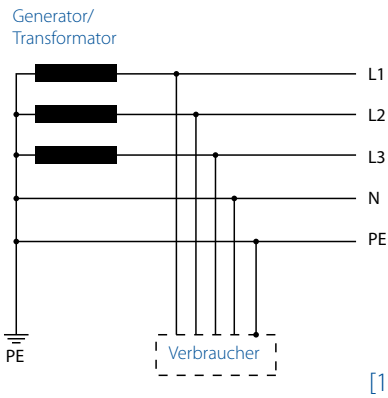
### Auswahlhilfe

Bei Antriebssystemen in der Praxis liegen meistens Kennlinien mit quadratisch steigendem oder konstantem Drehmoment vor. Fordern Sie gegebenenfalls die Drehmomentkennlinie Ihres Antriebssystems an.

Notieren Sie die Lastkennlinie Ihres Antriebssystems in der folgenden Merkzeile und übertragen Sie diese unter Punkt 1 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?			
1	<input type="checkbox"/> Konstantes Drehmoment	<input type="checkbox"/> Linear steigendes Drehmoment	<input type="checkbox"/> Quadratisch steigendes Drehmoment	<input type="checkbox"/> Konstante Leistung im Betriebsbereich

# Netzformen



Industrieanlagen werden meist über Transformatoren und eigene Verteilungsnetze versorgt. Jedes Netz weist dabei ein eigenes EMV-Verhalten auf. Der korrekte Anschluss eines Frequenzumrichters setzt somit die Kenntnis über das vorhandene Netz voraus. Das 5-Leiter-Netz TN-S bietet dabei die besten, das isoliert aufgebaute IT-Netz die schlechtesten Voraussetzungen.

## TN-Netze

Bei einem Energieversorgungssystem mit drei Phasen wird im TN-Netz der Sternpunkt (Neutralleiter) geerdet. Im TN-Netz führen Erdschlüsse zum Auslösen der vorgeschalteten Überstromschutzeinrichtungen wie Sicherungen, Schutzschalter usw. Man unterscheidet hier zwischen dem TN-S- und TN-C-Netz.

### TN-S-Netz [1]

Bei einem TN-S-Netz werden der Neutralleiter und der Schutzleiter getrennt vom Einspeisepunkt bis zum Verbraucher geführt. Es handelt sich um ein 5-Leiter-Netz. Die Trennung von Neutral- und Schutzleiter führt zu ausgezeichneten EMV-Eigenschaften.

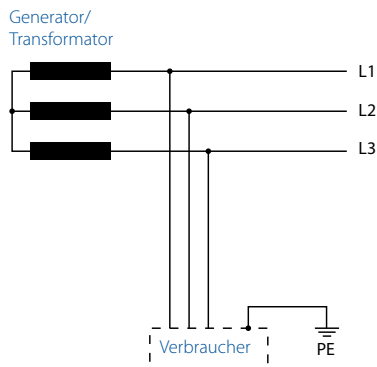
### TN-C-Netz [2]

In einem TN-C-Netz sind der Neutralleiter und der Schutzleiter miteinander verbunden. Durch die Zusammenfassung von Neutral- und Schutzleiter fließen über den Schutzleiter Ausgleichsströme, die mit zu den schlechten EMV-Eigenschaften des TN-C-Netzes beitragen. Das TN-C-Netz wird auch als 4-Leiter-Netz beschrieben.

### TT-Netz [3]

Das TT-Netz ist ähnlich aufgebaut wie das TN-Netz. Der Sternpunkt der Einspeisung ist getrennt vom Verbraucher geerdet. Eine niederohmige Verbindung zwischen diesen getrennten Erdungspunkten ist nur schwer zu erreichen. Für eine Schutzerdung sind jedoch niedrige Erdungswiderstände vonnöten, da zum Auslösen der Überstromschutzeinrichtung hohe Ströme erforderlich sind. Das TT-Netz ist ein 4-Leiter-System. Bei guter Ausführung der Erdung besitzt das Netz gute EMV-Eigenschaften.





[4]

## Abkürzungen in den Netzbezeichnungen

T: Geerdet (terra)

I: Isoliert

N: Körper des Betriebsmittels ist mit dem Neutralleiter verbunden

S: PE- und PEN-Leiter sind getrennt (separat)

C: PE- und N-Leiter sind als PEN-Leiter zusammengelegt (common)

Der erste Buchstabe der oben aufgeführten Abkürzungen bezieht sich immer auf das Netz, der zweite auf die Betriebsmittel. Durch den dritten Buchstaben S oder C wird dann der Anschluss des Neutralleiters beschrieben.

## IT-Netz [4]

Beim IT-Netz handelt es sich um ein isoliertes Netz mit drei Leitern. Der Verbraucher ist separat geerdet. In Drehstromnetzen ist es möglich, den Neutralleiter als vierten Leiter zu verwenden. Auf der Seite der Einspeisung kann der Neutralleiter ungeerdet oder über eine Impedanz geerdet sein. Im IT-Netz sind alle EMV-Maßnahmen, wie Filter usw., nicht einsetzbar.

Netzform	Bedeutung der Buchstaben	Schutzvorrichtung
TN-S-Netz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Netz geerdet</li> <li>Gehäuse über PE an Betriebserde</li> </ul>	Leistungsschalter und ggf. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD)
TN-C-Netz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Netz geerdet</li> <li>Gehäuse über PE an Betriebserde</li> <li>PE und N verbunden</li> </ul>	
TT-Netz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Netz geerdet</li> <li>Gehäuse geerdet</li> </ul>	
IT-Netz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Netz isoliert</li> <li>Gehäuse geerdet</li> </ul>	Spannungsfehlerschalter (FU-Schalter) oder Isolationswächter.

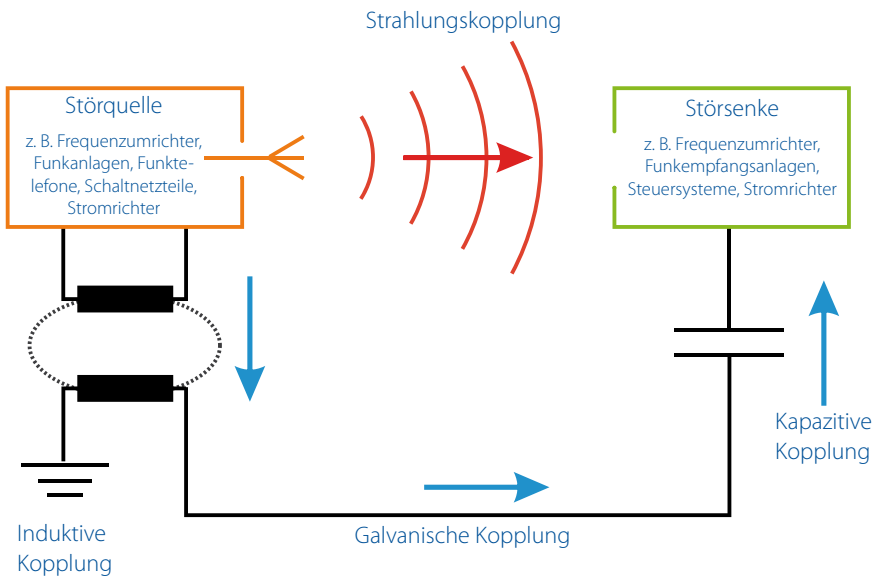
## Auswahlhilfe

Prüfen Sie, welche Netzform am Installationsort Ihres Frequenzumrichter vorliegt und ob sie für Ihre Anwendung geeignet ist.

Ziehen Sie gegebenenfalls den zuständigen Energieversorger zu Rate. Notieren Sie anschließend die Netzform in der folgenden Merkzeile und übertragen Sie diese unter Punkt 2 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?
2	<input type="checkbox"/> TN-S-Netz <input type="checkbox"/> TN-C-Netz <input type="checkbox"/> TT-Netz <input type="checkbox"/> IT-Netz

# Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)



Die verschiedenen Arten der Kopplung

Wie alle elektrischen Betriebsmittel muss auch ein Frequenzumrichter an seinem Einsatzort fehlerfrei arbeiten und von außen einwirkenden elektromagnetischen Einflüssen widerstehen. Andererseits erzeugt er im Betrieb selbst elektromagnetische Störungen, die andere Verbraucher beeinflussen können. Grundsätzlich kann ein Gerät eine Störquelle darstellen oder auch selbst von anderen Geräten gestört werden (Störsenke). Das Verhalten von Frequenzumrichtern unter diesem Gesichtspunkt bezeichnet man als elektromagnetische Verträglichkeit, kurz EMV.

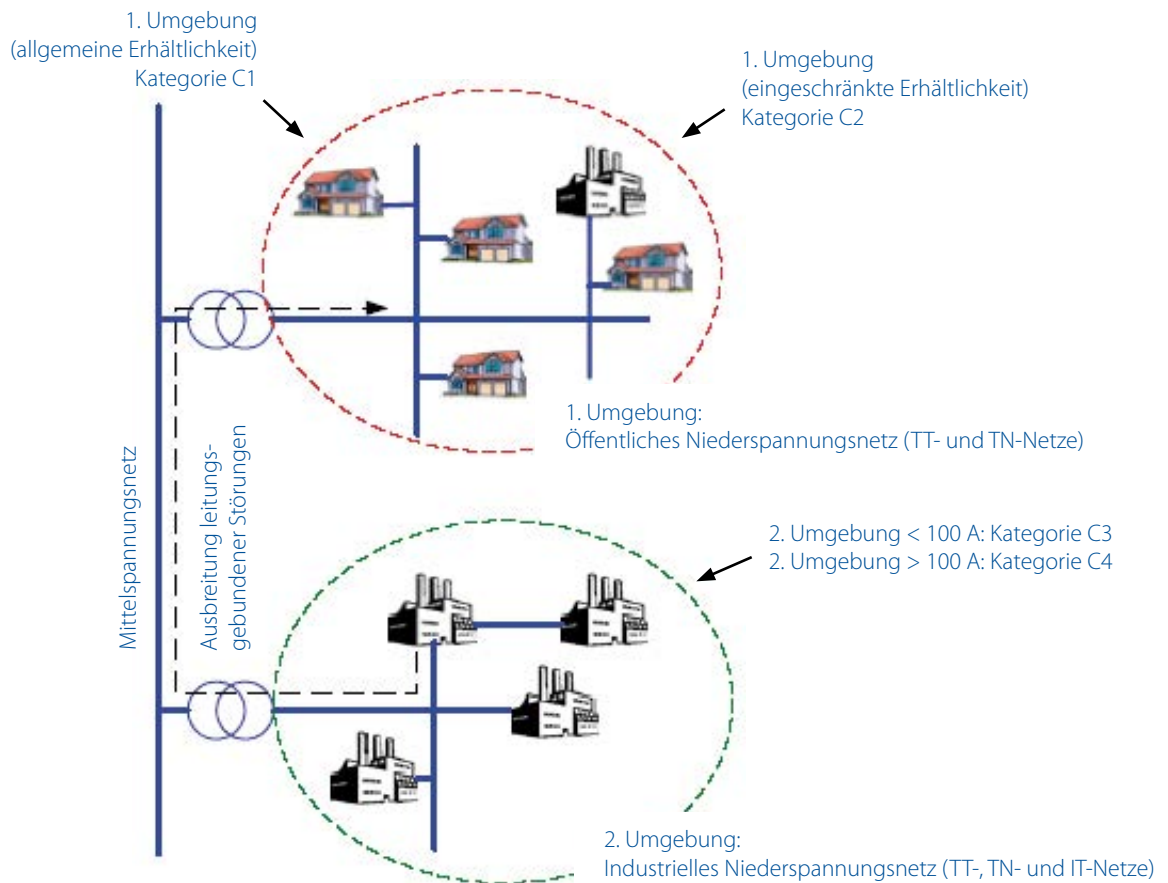
## Leitungs- und strahlungsgebundene Störungen

Die Störungen lassen sich nach dem Weg unterscheiden, auf dem ihre Ausbreitung erfolgt. Man unterscheidet leitungsgebundene und nicht leitungsgebundene Störungen.

Leitungsgebundene Störungen breiten sich vorrangig über die Netzzuleitung des Frequenzumrichters aus. Bei den nicht leitungsgebundenen Störungen handelt es sich um hochfrequente Störungen, die sich in Form elektromagnetischer Wellen ausbreiten.

Die Einkopplung der Störungen kann auf folgenden Wegen erfolgen:

- **Galvanische Kopplung**  
Galvanische Kopplung tritt auf, wenn zwei Stromkreise miteinander leitend verbunden sind.
- **Kapazitive Kopplung**  
Die kapazitive Kopplung bezeichnet die Kopplung zwischen nahe zusammenliegenden Leitungen über ein elektrisches Feld.
- **Induktive Kopplung**  
Die induktive Kopplung entsteht durch ein von einem stromdurchflossenen Leiter erzeugtes magnetisches Wechselfeld.
- **Strahlungskopplung**  
Die Störsenke empfängt eine vom Sender in den freien Raum abgestrahlte elektromagnetische Welle.



## 1. und 2. Umgebung

Je nach Einsatzort sind unterschiedliche Störpegel zulässig. Man unterscheidet zwischen 1. und 2. Umgebung. Dabei umfasst die 1. Umgebung Wohn- bzw. Geschäftsbereiche, die direkt an das Niederspannungsnetz angeschlossen sind. Sie werden nicht über eigene Hoch- oder Mittelspannungs-Transformatoren versorgt. Im Gegensatz dazu ist die 2. Umgebung nicht direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen. Die 2. Umgebung wird auch als Industriebereich bezeichnet.

## Normen und Richtlinien

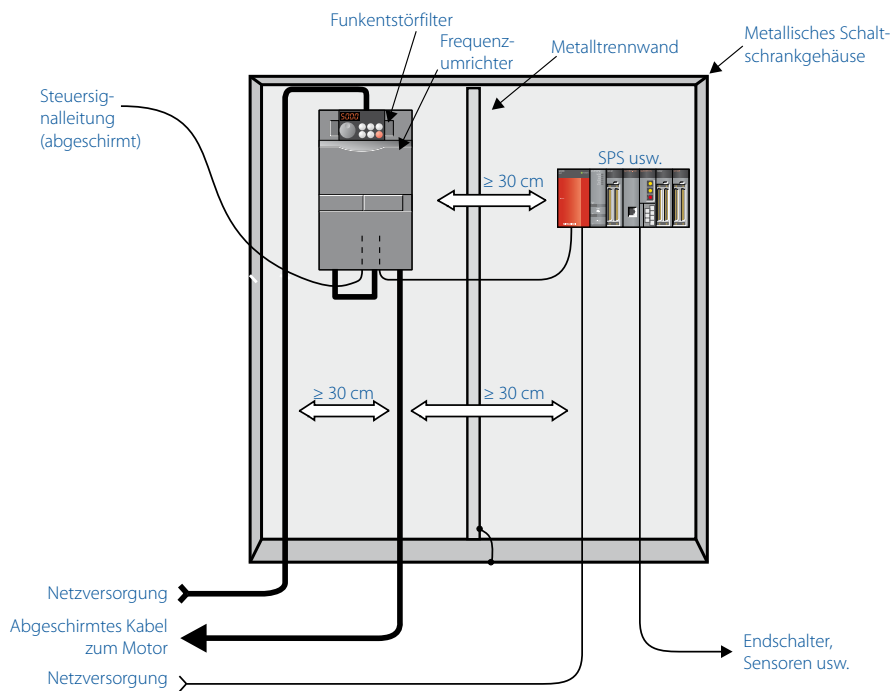
Die Grenzwerte für die jeweiligen Umgebungen sind in Normen festgelegt. Dabei definiert die umgebungsbezogene Norm EN 55011 die Grenzwerte der zugrunde gelegten Umgebungen im Industriebereich mit den Klassen A1 und A2 oder im Wohnbereich mit der Klasse B. Zusätzlich gilt seit Juni 2007 die produktbezogene Norm EN 61800-3 für elektrische Antriebssysteme, welche die neuen Kategorien C1 bis C4 definiert.

## Der Anlagenbetreiber ist verantwortlich

Für die Einhaltung der gesetzlichen Richtwerte und Normen ist der Betreiber oder Anwender der Anlage verantwortlich. Mit Hilfe der vom Hersteller angebotenen Lösungen muss er für die Beseitigung auftretender Störungen sorgen. Mitsubishi Electric bietet eine breite Palette von EMV-Filtern, Drosseln, Oberwellenfiltern u.v.m. an, die für den Einsatz mit dem entsprechenden Frequenzrichter optimiert sind. Damit alle Geräte ihre Funktion störungsfrei erfüllen können, muss der Anlagenbetreiber darüber hinaus die Anschlussbedingungen des örtlichen Energieversorgungsunternehmens berücksichtigen.

Produktnorm EN 61800-3 (2005-07) für elektrische Antriebssysteme				
Zuordnung nach Kategorie	C1	C2	C3	C4
Umgebung	1. Umgebung	1. oder 2. Umgebung (Entscheidung des Betreibers)		2. Umgebung
Spannung/Strom	< 1000 V			> 1000 V; $I_n > 400$ A, Anschluss an IT-Netz
EMV-Sachverstand	keine Anforderung	Installation und Inbetriebnahme durch einen EMV-Fachkundigen		EMV-Plan erforderlich
Grenzwerte nach EN 55011	Klasse B	Klasse A1 (+ Warnhinweis)	Klasse A2 (+ Warnhinweis)	Werte überschreiten Klasse A2

**Für die Einhaltung der Umgebungsnorm EN 55011 ist der Anlagenbetreiber zuständig, die Produktnorm EN 61800-3 muss der Hersteller des Frequenzrichters einhalten.**



EMV-gemäße Installation des Frequenzumrichters

## EMV und Frequenzumrichter

Ein Frequenzumrichter erzeugt elektromagnetische Störungen, die im Wesentlichen durch die schnellen Schaltvorgänge im Leistungsteil oder durch das Takten des Prozessors verursacht werden. Die steilen Flanken der Spannungspulse enthalten hochfrequente Signalanteile, die über das Motorkabel und den Frequenzumrichter abgestrahlt und auch in das Netz zurückgepeist werden.

So bestimmt bei Frequenzumrichtern mit Pulsweitenmodulation die Höhe der Taktfrequenz das Maß der ausgehenden Störungen.

## Reduzierungsmaßnahmen

Zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Störungen stehen dem Anlagenbauer zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Erhöhung der Störfestigkeit des gestörten Geräts
- Entstörung der Quelle

Grundsätzlich ist bereits bei der Planung der Anlage eine EMV-gerechte Auslegung von Einbau und Anschluss zu berücksichtigen. Dazu zählen z.B. die niederohmige Ausführung aller Erdungsverbindungen, die Verwendung geschirmter Motorzuleitungen und der Einsatz von Filtern.

## Abgeschirmte Leitungen und EMV-gemäße Verlegung

Signal- und Motorleitungen sind geschirmt auszuführen. Die Abschirmung verhindert zum einen die Abstrahlung von Störungen und verbessert zum anderen die Störfestigkeit des Gerätes.

Die Abschirmung ist mit einer Rundumkontaktierung großflächig mit Erde zu verbinden. Leistungskabel und signalführende Leitungen sollten mit einem Abstand von mindestens 30 cm zueinander verlegt werden. Vermeiden Sie eine parallele Leitungsführung. Setzen Sie gegebenenfalls zur Separierung der Leitungen geerdete Kabelkanäle oder Installationsrohre aus Metall ein.

Weitere Informationen über die EMV-gemäße Installation, Abschirmung und Kabelverlegung finden Sie ab Seite 27.

## Einsatz von Filtern

Viele der von Mitsubishi Electric angebotenen Frequenzumrichter verfügen bereits über eingebaute EMV-Filter und entsprechen hinsichtlich ihrer elektromagnetischen Verträglichkeit den Anforderungen der Europäischen Gemeinschaft für die 2. Umgebung (EMV-Richtlinie EN 61800-3). Eine Anpassung zum Einsatz in der 1. Umgebung ist durch ein optionales Filter möglich.

Um die vorgegebenen Grenzwerte zu erfüllen, sind für alle Leistungsklassen der Frequenzumrichter speziell angepasste Unterbau-Funkentstörfilter entwickelt worden.

Frequenzumrichter, die nicht der Kategorie C1 entsprechen, müssen mit einem Warnhinweis versehen werden.

*Mitsubishi Electric verfügt über ein eigenes akkreditiertes EMV-Prüflabor: Das International Approval Centre in Düsseldorf unterstützt viele bekannte Markenhersteller schon während der Entwicklung ihrer Produkte.*

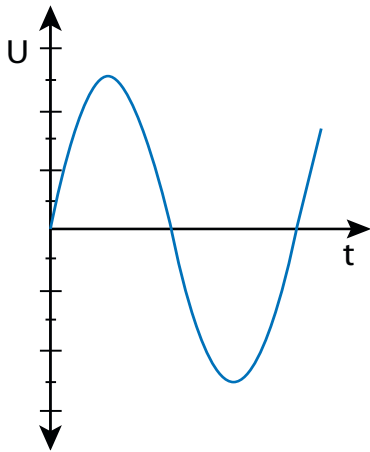
## Auswahlhilfe

Ergibt die EMV-Prüfung Ihrer Anlage, dass Sie ein optionales Filter benötigen, um die Normen und Vorschriften einzuhalten, wählen Sie aus dem Technischen Katalog des Frequenzumrichters ein passendes Filter aus. Die Technischen Daten und Abmessungen der einzelnen Filter finden Sie in den Filterbeiblättern auf [www.mitsubishi-automation.de](http://www.mitsubishi-automation.de). Notieren Sie, welche Umgebung an Ihrem Einsatzort vorliegt, ob Sie ein Filter benötigen und übertragen Sie das Resultat unter Punkt 3 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?				
3	<input type="checkbox"/> EMV-Filter	<input type="checkbox"/> C1	<input type="checkbox"/> C2	<input type="checkbox"/> C3	<input type="checkbox"/> C4



# Niederfrequente Netzurückwirkungen

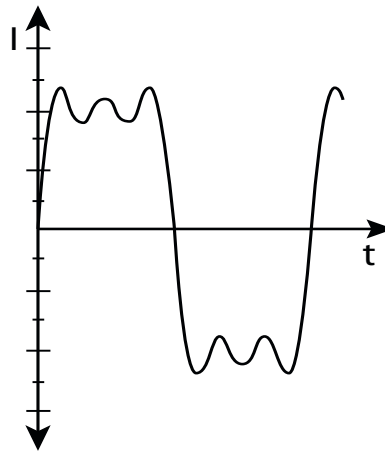


[1] Netzspannung

Die Netzspannung, die vom Energieversorgungsunternehmen bereitgestellt wird, sollte im Idealfall sinusförmig sein und eine konstante Amplitude und Frequenz aufweisen. [1]

Die Spannungsqualität verschlechtert sich stetig. Der Grund dafür ist die ständig steigende Zahl der Verbraucher – beginnend mit dem Einsatz von gesteuerten und nicht gesteuerten Halbleiterschaltern in Computernetzteilen über Energiesparlampen bis hin zum Einsatz moderner Antriebstechnik.

Die Begründung hierfür ist der nicht sinusförmige Eingangsstrom dieser sogenannten nicht linearen Verbraucher. [2]

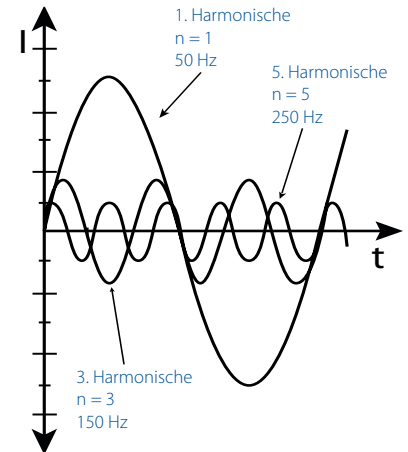


[2] Eingangsstrom eines nicht linearen Verbrauchers

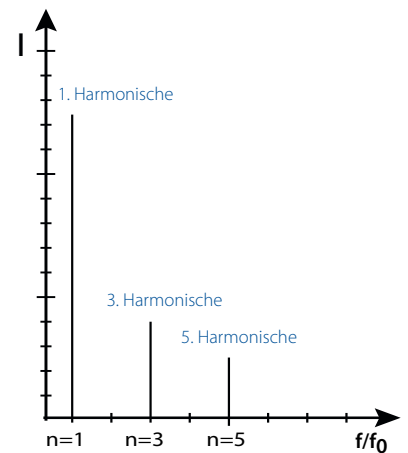
## Fourier-Analyse

Mit Hilfe der Fourier-Analyse lässt sich die Stärke dieser Netzurückwirkung bestimmen. Joseph Fourier (1768-1830) fand heraus, dass man jede periodische Schwingung mit Hilfe von Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz beschreiben kann. [3]

Im Falle eines einphasigen Frequenzumrichters ist die dritte und fünfte Harmonische besonders ausgeprägt, beim dreiphasigen Frequenzumrichter die fünfte und siebte.



[3] Resultierende Sinusschwingungen (Harmonische) unterschiedlicher Frequenz



Gängige Darstellung der Größenordnung in Form eines Balkendiagramms

## Netzurückwirkungen durch Frequenzumrichter

Für den Grad der maximalen Netzurückwirkung sind Grenzwerte definiert. Bei Überschreitung dieser Grenzwerte ist das Energieversorgungsunternehmen berechtigt, die Anlage abzuschalten.

Hier ist jedoch zu beachten, dass die Grenzwerte lediglich am Netzübergabepunkt (Sammelschiene) eingehalten werden müssen.

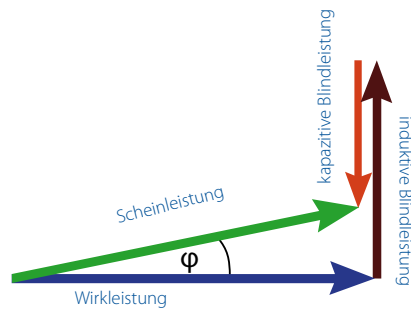
Der Grad der Netzurückwirkung wird von dem Verhältnis der Anzahl von nicht linearen Verbrauchern zu linearen Verbrauchern sowie den Versorgungsnetzbedingungen maßgeblich beeinflusst.

## Netzurückwirkungen und ihre Folgen

Neben dem erhöhten Leistungsbedarf belasten Oberwellen auch andere installierte Komponenten wie Transformatoren und Leitungen. Aufgrund von zusätzlicher Erwärmung durch Resonanzen kann die Lebensdauer verkürzt werden. Daher sollte für die Einhaltung der maximalen Grenzwerte am Netzübergabepunkt Sorge getragen werden. Hohe Leitungsverluste, erhöhte Transformatortemperaturen und Störgeräusche werden somit vermieden. Andernfalls können Fehlfunktionen bis hin zu Beschädigungen von elektrischen und mechanischen Bauteilen die Folge sein.

Zusätzlich zum Wirkleistungsanteil wird das Netz durch die Oberschwingungen auch mit Blindleistungsanteilen belastet. Diese entstehen durch die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, die durch den Anschluss induktiver Lasten (z. B. Motoren, Transformatoren oder Vorschaltgeräte) hervorgerufen wird.

Dadurch sind in Blindstromkompensationsanlagen Resonanzen möglich, die diese zerstören können. Aus diesem Grund sollten Blindstromkompensationsanlagen verdrösselt ausgeführt werden.



Bei der Beurteilung von Netzurückwirkungen sowie elektrischen Strömen, Leistungen und elektrischer Energie unterscheidet man in der Energietechnik zwischen Schein-, Wirk- und Blindgrößen. Der Wirkstrom ist der „arbeitende“ Strom. Durch ihn wird eine Wirkleistung in andere Energieformen, wie z. B. Wärme, Bewegung, Licht etc. umgesetzt.

Der Blindstrom ist ein pendelnder Strom, der zum Aufbau von Feldern (magnetisch + elektrisch) benötigt wird und ausschließlich Verluste, Blindleistungen, hervorruft.

Der Scheinstrom ist der am einfachsten messbare Strom. Er ist die geometrische Summe aus Wirk- und Blindstrom (siehe Abbildung). Die Scheinleistung ist das Produkt  $S = U \times I$ .

Ein Großteil der gesamten in der EU verbrauchten elektrischen Energie wird in Bewegung umgewandelt. Dies geschieht üblicherweise in Elektromotoren, wie z. B. Drehstrom-Asynchron- oder auch Synchronmotoren. Dabei wird dem Stromnetz aber nicht nur Wirkleistung, sondern auch Blindleistung entzogen. Man spricht hier von kapazitiver und induktiver Blindleistung. Kapazitive Blindleistung wird meist zum Aufbau eines elektrischen Feldes, induktive Blindleistung zum Aufbau eines magnetischen Feldes verwendet. Beide Größen sind in ihrer Richtung entgegengesetzt (phasenverschoben).

Da auch der Blindanteil der Energie die Netze der Stromversorger belastet, ist dessen maximale Größe vorgeschrieben. Im Privathaushalt wird das Augenmerk nicht auf diese Energieform gelegt. Bei Großkunden wird aber oftmals auch der Blindanteil gemessen und auch verrechnet.

## Normen und Richtlinien

Folgende Normen, Richtlinien und Vorschriften regeln die einzuhaltenden Grenzwerte in öffentlichen und Industrienetzen:

### ■ EMVG

Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten

### ■ EN 61000-2-2

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen

### ■ EN 61000-2-4

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen in Industrieanlagen

### ■ EN 61000-2-12

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Mittelspannungsnetzen

### ■ EN 61000-3-2

Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräteeingangsstrom bis 16 A je Leiter)

### ■ 61000-3-12

Grenzwerte für Oberschwingungsströme, verursacht von Geräten und Einrichtungen mit einem Eingangsstrom  $> 16 \text{ A}$  und  $\leq 75 \text{ A}$  je Leiter, die zum Anschluss an das öffentliche Niederspannungsversorgungsnetz vorgesehen sind.

### ■ EN 50160

Obergrenzen von Oberschwingungen in öffentlichen Energienetzen

### ■ EN 50178

Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln

Grundsätzlich müssen auch die Anschlussbedingungen des zuständigen Energieversorgungsunternehmens beachtet werden.

## Oberschwingungsmessungen

Bevor Sie Maßnahmen zur Reduzierung von Netzurückwirkungen ergreifen, ist es sinnvoll, diese messtechnisch zu erfassen. Solche Messungen nehmen spezialisierte Dienstleistungsunternehmen vor. Um eine aussagekräftige Analyse der Netzqualität zu erhalten, sollte diese Messung über einen längeren Zeitraum (mind. 24 h) durchgeführt werden. Falls Sie selbst Messungen vornehmen wollen, empfehlen wir einen sogenannten Netz-Analyser.

## Reduzierung von Netzurückwirkungen

Im Allgemeinen lassen sich Oberschwingungen durch eine Begrenzung der Pulsstromamplituden reduzieren. Dies kann beim Frequenzumrichter durch Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis geschehen. Die folgenden Kurvenformen zeigen die Messungen der gesamten Stromverzerrung (THDI = Total Harmonic Distortion of Current) beim Einsatz verschiedener Drosseln zur Reduzierung von Netzurückwirkungen.

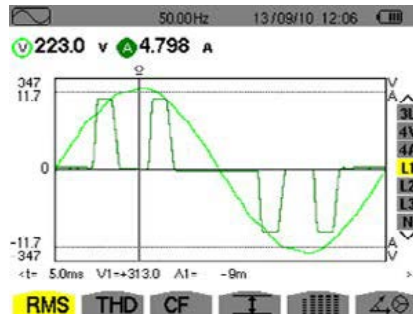
Die nebenstehenden Kurvenformen und Oberschwingungsmessungen zeigen, dass durch den Einsatz einer Zwischenkreisdrossel der Wert der gesamten harmonischen Verzerrung von 120 % auf 32 % abgesenkt werden kann.

Der Effekt einer zusätzlichen Netzeingangsdrossel ist sehr gering und hat auch noch einen zusätzlichen Spannungsabfall am Eingang des Frequenzumrichters zur Folge. Aus diesem Grund empfehlen wir lediglich den Einsatz von Zwischenkreisdrosseln, welche in einigen unserer Geräte bereits enthalten sind.

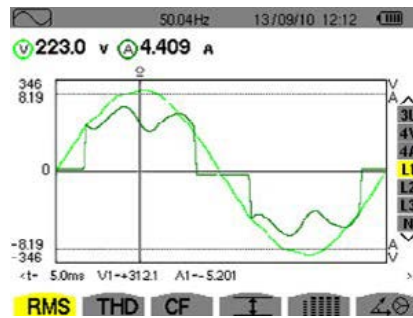
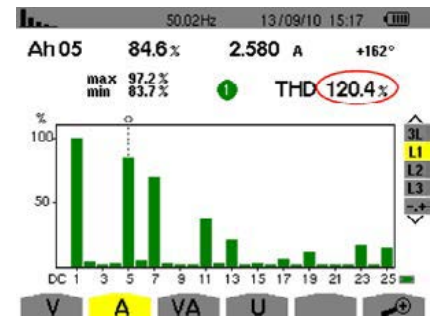
Mit Hilfe eines sogenannten Passivfilters können die Oberschwingungswerte bei gleichzeitiger Verwendung einer Zwischenkreisdrossel auf 5 % reduziert werden.

Aktivfilter werden eingesetzt, wenn die Oberschwingungsverzerrungen deutlich unter 5 % gesenkt werden müssen.

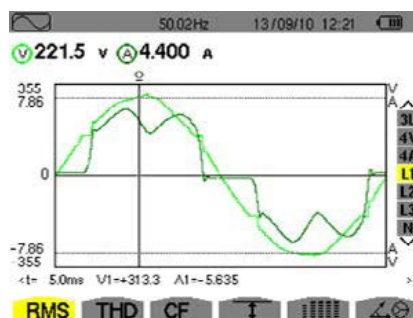
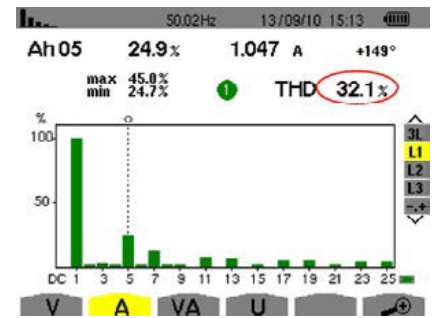
Der rückspeisefähige Frequenzumrichter FR-A741 verfügt über eine integrierte Netzdrossel und erzeugt von Hause aus nur geringe Netzurückwirkungen. Eine externe Beschaltung mit Drosseln kann somit entfallen. Bei 100 % Last beträgt der Wert der gesamten harmonischen Verzerrung im antreibenden Modus etwa 52 %, im generatorischen Modus etwa 37 %.



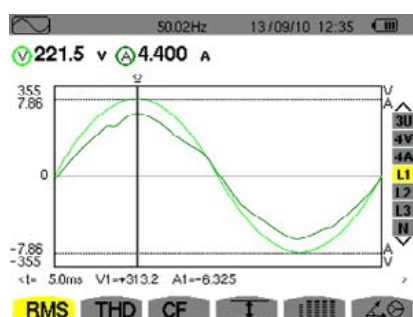
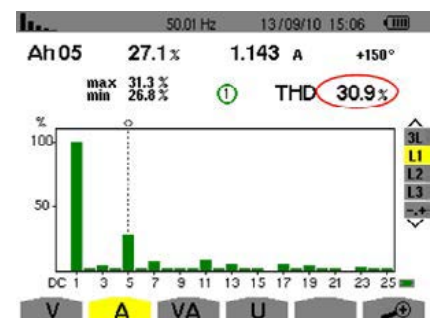
Eingangsspannung und Strom des Frequenzumrichters ohne den Einsatz einer Eingangs- oder Zwischenkreisdrossel zur Reduzierung der Oberschwingungen



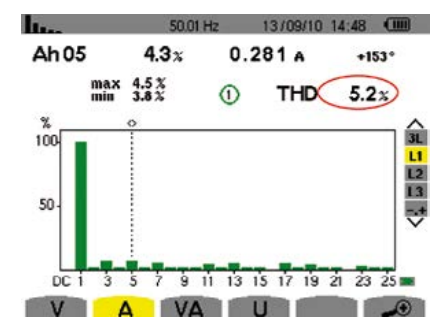
Eingangsspannung und Strom beim Einsatz einer Zwischenkreisdrossel



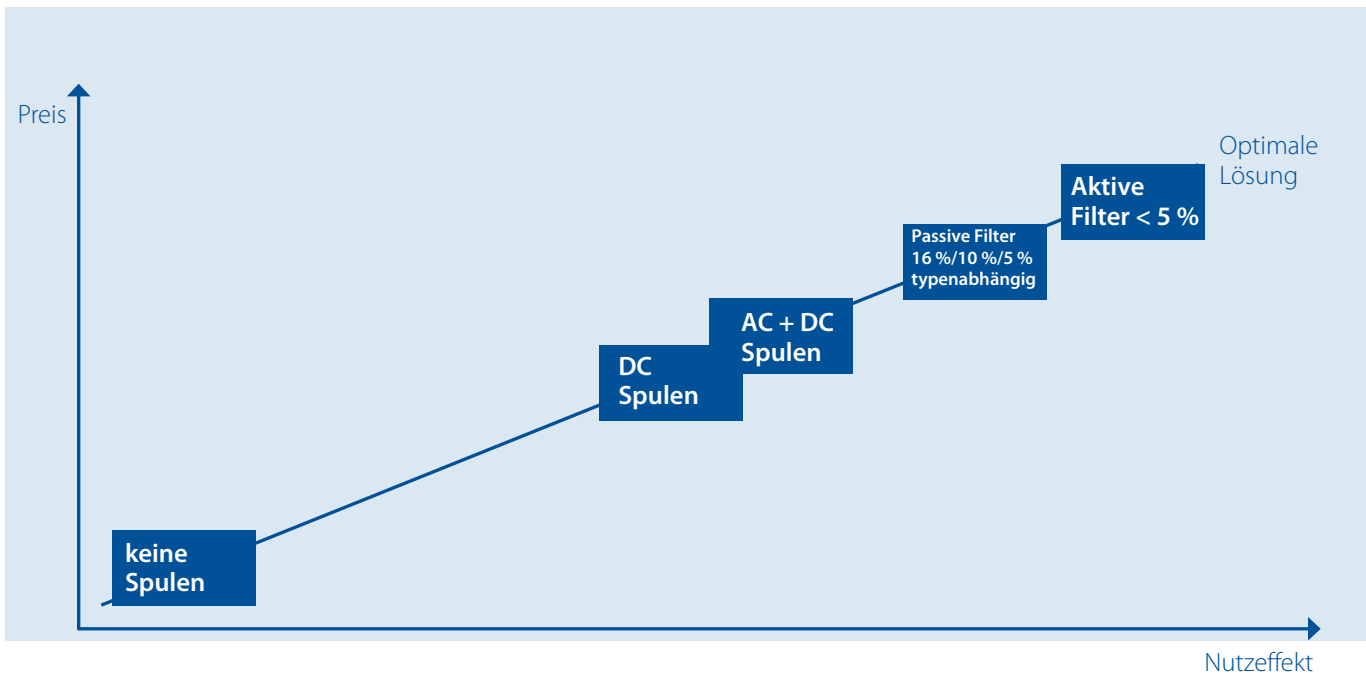
Eingangsspannung und Strom beim Einsatz einer Eingangs- und einer Zwischenkreisdrossel



Eingangsspannung und Strom beim Einsatz eines passiven Filters



**Netzurückwirkungen können passiv und aktiv reduziert werden. Mitsubishi Electric bietet Frequenzumrichter mit integrierten sowie externen Drosseln und Oberschwingungsfiltern an. Aktivfilter senken die Oberschwingungsverzerrungen deutlich unter 5 %.**



Übersicht über die Maßnahmen zur Reduzierung von Oberschwingungen

## Zwischenkreisdrossel (DC)    Netzeingangsdrossel (AC)    Aktivfilter

Zwischenkreisdrosseln sind Gleichstromdrosseln und werden nach dem Gleichrichter in den Zwischenkreis geschaltet. Mit ihnen lässt sich der Oberschwingungsgehalt von B6-Gleichrichtern erheblich reduzieren. Verglichen mit einem unverdrosselten Frequenzumrichter kann der Wert der gesamten harmonischen Verzerrung des Stromes durch den Einsatz der Zwischenkreisdrossel FFR-HEL-(H)-E von etwa 120 % auf 32 % verringert werden. Gegenüber netzzeitigen Drosseln sind Zwischenkreisdrosseln effektiver und erzeugen geringere Verluste.

Netzeingangsdrosseln werden auf der Eingangsseite vor den Frequenzumrichter geschaltet. Sie dienen zwar gleichzeitig zum Ausgleich von kurzzeitigen Spannungseinbrüchen, bringen aber den negativen Effekt einer Spannungsreduktion mit sich.

Aktivfilter sollen Netzrückwirkungen von nicht linearen Verbrauchern bestmöglich reduzieren. Aktivfilter initiieren einen kompensierenden Strom, um die Oberschwingungen und Blindströme auszulöschen. Es wird angestrebt, einen „rein“ sinusförmigen Ladestrom zu erreichen (THDI = 0). In der Praxis werden Aktivfilter eingesetzt, wenn die Oberschwingungsverzerrung auf unter 5 % THDI reduziert werden muss.

### Passivfilter

Ist eine weitere Absenkung des Oberschwingungsgehalts notwendig, können Sie ein spezielles passives Oberwellenfilter einsetzen. Dieses besteht aus LC-Serienschwingkreisen, die auf die einzelnen Harmonischen abgestimmt sind und diese bedämpfen. Mit Hilfe des Filters lassen sich THDI-Werte von bis zu 5 % erreichen. Das passive Oberwellenfilter wird vor den Frequenzumrichter geschaltet.

### Auswahlhilfe

Alle von Mitsubishi Electric verfügbaren Oberwellenfilter, Netzeingangsdrosseln und Zwischenkreisdrosseln finden Sie im Technischen Katalog der Frequenzumrichter. Suchen Sie die für Ihre Anwendung passende Filtermöglichkeit heraus und notieren Sie sie in der folgenden Merkle. Übertragen Sie die Filtermöglichkeit im Anschluss unter Punkt 4 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?			
4	<input type="checkbox"/> Zwischenkreisdrossel	<input type="checkbox"/> Netzeingangsdrossel	<input type="checkbox"/> Passivfilter	<input type="checkbox"/> Aktivfilter



# Motorausgangsfiler

Ausgangsfiler sind optionale Filter, die zwischen dem Frequenzrichter und dem Motor in das Motorkabel geschaltet werden. Diese Filter sind als du/dt- oder Sinus-Ausgangsfiler erhältlich.

## du/dt-Ausgangsfiler

Das du/dt-Filter dient hauptsächlich zur Reduzierung der Steilheit der Spannungsflanken am Ausgang. Dies schützt die Isolation der Motorwicklung vor Spannungsdurchschlägen. du/dt-Filter sind meist einfach aufgebaut und dadurch kostengünstig.

## Sinus-Ausgangsfiler

Das Sinus-Ausgangsfiler sorgt für eine sinusförmige Ausgangsspannung mit geringem Spannungs-Ripple. Der Spannungsabfall über dem Filter sorgt jedoch für eine niedrigere Spannung an den Motorklemmen.

Der Einsatz dieses Filters ist in folgenden Anwendungen sinnvoll:

- beim Betrieb von mehreren Motoren an einem Frequenzrichter
- Bei langen Motorleitungen verhindert das Sinusfilter schädliche Spannungsüberschwinger, welche aufgrund der

hohen Kabelimpedanzen bei der abfallenden Spannungsflanke des FU-Ausgangssignal entstehen können.

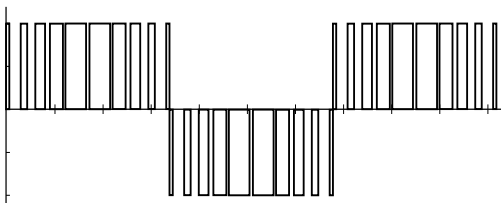
- bei Installationen, bei denen die EMV-Vorgaben nicht eingehalten werden können
- Desweiteren bietet sich der Einsatz eines Sinusfilters bei Anschluss eines Motors älteren Baujahrs an, um diesen vor schädlichen Spannungsflanken zu schützen.

## Motorkabel

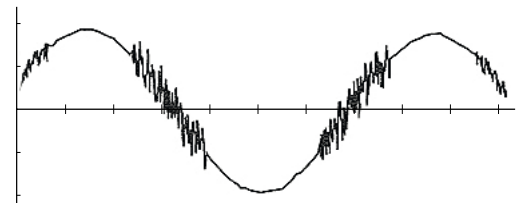
Beachten Sie bei der Kabelauswahl die benötigte Nennspannungsklasse sowie die Durchschlagsfestigkeit.

	du/dt-Filter	Sinusfilter
Belastung der Motorisolation	Reduziert – Betrieb langer Motorkabel möglich	Reduziert – Betrieb langer Motorkabel möglich
Belastung der Motorlager	Leicht Reduziert	Reduziert Kreisströme, aber keine Gleichtaktströme
Elektromagnetische Verträglichkeit	Beseitigt Überschwüngen in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse	Beseitigt Überschwüngen in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse
Max. Motorkabellänge EMV konform	Herstellerabhängig. max. 150 m geschirmt	Herstellerabhängig. max. 150 m geschirmt bzw. max. 300 m ungeschirmt
Taktfrequenzgeräusche am Motor	Kein Einfluss	Reduziert
Relative Größe (zum Umrichter)	15–50 % (leistungsabhängig)	100 %
Spannungsabfall	0,5 %	4–10 %

Ausgangssignal des Frequenzrichters



Ausgangssignal des Sinus-Ausgangsfilters



Filterwirkung eines Sinus-Ausgangsfilters

## Auswahlhilfe

Mitsubishi Electric bietet für alle seine Frequenzrichtermodelle passende du/dt- und Sinus-Ausgangsfiler an. Informationen dazu enthält der Technische Katalog für Frequenzrichter. Notieren Sie in der folgenden Merkzeile, ob und welches Ausgangsfiler Sie benötigen und übertragen Sie dies in die Auswahlhilfe unter Punkt 5.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?
5	<input type="checkbox"/> Motorausgangsfiler <input type="checkbox"/> Nennspannungsklasse und Durchschlagsfestigkeit des Motorkabels

# Einbauort

## Montagekonzepte

Der Anteil der Frequenzumrichter, die in einem Schaltschrank montiert betrieben werden, liegt bei etwa 70 %. Die Montage in einem Schaltschrank hat den Vorteil, dass alle elektronischen Komponenten dicht beisammen liegen und gegen äußere Einflüsse wie Staub und Wasser geschützt sind. Durch die räumliche Nähe der einzelnen Baugruppen besteht jedoch die Gefahr, dass sich diese gegenseitig stören. Oberste Priorität ist deshalb ein EMV-gerechter Aufbau des Systems. Beim Einbau des Frequenzumrichters in einen Schaltschrank kann die komplette Verdrahtung vorher in der Werkstatt vorgenommen werden. Der Schaltschrank wird dann als fertige Einheit zum Einsatzort gebracht.

Bei der Wandmontage kann der Frequenzumrichter näher am Motor installiert werden. Diese Variante ist aus dem Blickwinkel der EMV betrachtet unkritischer. Vor Ort entsteht jedoch ein erhöhter Verdrahtungsaufwand, da die Steuerleitungen erst noch angeschlossen werden müssen. Durch die räumliche Nähe von Frequenzumrichter und Motor fallen die Motorkabel in der Regel kürzer aus. Das spart Kosten.

*Die Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric mit den Schutzklassen IP00/20 oder IP54 sind für den Einsatz unter nahezu allen Umgebungsbedingungen geeignet.*



In einen Schaltschrank montierte Frequenzumrichter



Unterbaueinheit in IP20-Ausführung

## Alternativen

Frequenzumrichter für den Schaltschrankbau verfügen in der Regel über die Schutzart IP00 oder IP20. Neben diesen Ausführungen werden jedoch Unterbaueinheiten (FSU) angeboten, die unter Einhaltung der Schutzart IP20 (Berührungsschutz) eine freie Aufstellung des Frequenzumrichters im Raum ermöglichen. Die stabilen FSUs sind bereits vormontiert und verfügen über die Möglichkeit, eine Zwischenkreisdrossel oder – falls nötig – ein zusätzliches EMV-Filter zu integrieren. Somit entfällt die Planung und Fertigung eines Schaltschranks.

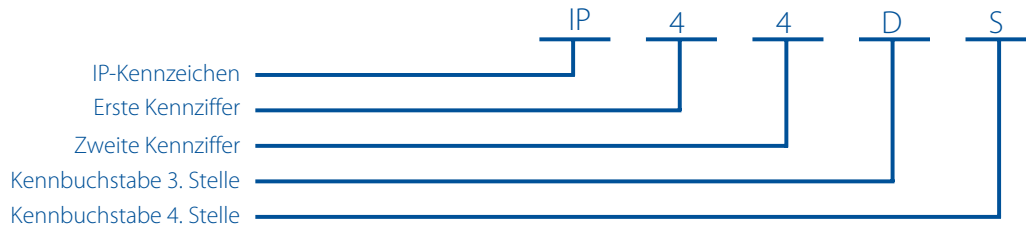
Eine weitere Möglichkeit bietet der Einsatz des Frequenzumrichters FR-F746 mit der Schutzart IP54. Dieser Frequenzumrichter ist spritzwassergeschützt und kann direkt im Außenbereich der Anlage installiert werden.

## Auswahlhilfe

Wählen Sie die für Ihren Antrieb geeignete Montagemöglichkeit und notieren Sie diese in der folgenden Merkzeile. Übertragen Sie die Montagemöglichkeit anschließend unter Punkt 6 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?
6	Einbauort/Montagekonzept

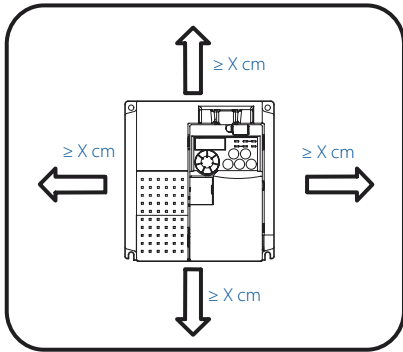
# Zusammensetzung der IP-Schutzklassen nach IEC 60529



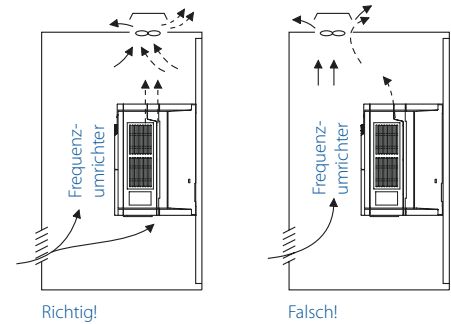
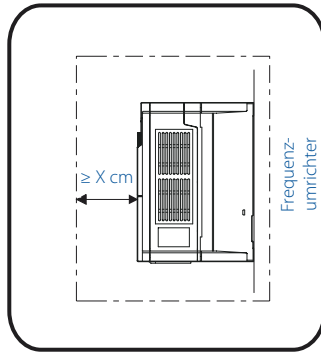
Bedeutung der ersten Kennziffer		Bedeutung der zweiten Kennziffer		
Kennziffer	Berührungsschutz	Fremdkörperschutz	Kennziffer	Wasserschutz
0	Kein besonderer Schutz		0	Kein besonderer Schutz
1	Gegen große Körperflächen	Große Fremdkörper Durchmesser $\geq 50$ mm	1	Gegen senkrecht fallendes Tropfwasser
2	Gegen Finger oder ähnlich große Gegenstände	Mittelgroße Fremdkörper Durchmesser $\geq 12$ mm	2	Gegen schräg fallendes Tropfwasser (bis 15° Neigung)
3	Gegen Werkzeuge, Drähte und Ähnliches mit einer Dicke von $\geq 2,5$ mm	Kleine Fremdkörper Durchmesser $\geq 2,5$ mm	3	Gegen Sprühwasser (beliebige Richtung bis 60° Neigung)
4	Gegen Werkzeuge, Drähte und Ähnliches mit einer Dicke von $\geq 1,0$ mm	Kornförmige Fremdkörper Durchmesser $\geq 1,0$ mm	4	Gegen Spritzwasser aus allen Richtungen
			4K	Gegen Spritzwasser mit erhöhtem Druck
5	Vollständiger Schutz	Staubablagerungen sind zulässig, dürfen aber in ihrer Menge nicht die Funktion des Gerätes gefährden.	5	Gegen Strahlwasser aus einer Düse aus allen Richtungen
6	Vollständiger Schutz	Staubdicht	6	Gegen Überflutung z. B. für den Einsatz auf Schiffsdecks
			6K	Gegen starkes Strahlwasser mit erhöhtem Druck
			7	Gegen Eintauchen
			8	Gegen Untertauchen
			9K	Gegen Wasser bei Hochdruckreinigung

Kennbuchstabe für die 3. Stelle		Kennbuchstabe für die 4. Stelle	
Kennbuchstabe	Bedeutung	Kennbuchstabe	Bedeutung
A	Handrückschutz oder Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 50$ mm	H	Hochspannungsgeräte
B	Fingerschutz gegen Finger mit Durchmesser $\geq 12$ mm und 80 mm Länge	M	Geprüft, wenn bewegliche Teile in Betrieb sind
C	Werkzeugschutz gegen Werkzeug mit Durchmesser $\geq 2,5$ mm und bis 100 mm Länge	S	Geprüft, wenn bewegliche Teile im Stillstand sind
D	Drahtschutz gegen Drähte mit Durchmesser $\geq 1,0$ mm und bis 100 mm Länge	W	Geprüft bei festgelegten Wetterbedingungen

# Umgebungsbedingungen



Mindestabstände bei Einbau des Frequenzumrichters in einen Schaltschrank



Anordnung eines Frequenzumrichters in einem Schaltschrank mit Kühlluftführung

## Umgebungstemperatur

Die Ausfallrate der Frequenzumrichter hängt stark von den Umgebungsbedingungen, insbesondere von der Temperatur, ab. Nach der RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel oder Arrhenius-Gesetz) verdoppelt sich die Ausfallrate elektronischer Bauteile bei einer Temperatursteigerung von jeweils etwa 10 °C.

Für alle Frequenzumrichter sind zulässige Temperaturbereiche angegeben. Ein Betrieb außerhalb dieser Temperaturbereiche verkürzt die Lebensdauer der Halbleiter, Bauelemente, Kapazitäten usw. Folgende Maßnahmen dienen zur Anpassung der Umgebung an den zulässigen Temperaturbereich:

- Maßnahmen gegen zu hohe Temperaturen:
  - Verwenden Sie eine Zwangsbelüftung oder ein ähnliches System zur Kühlung (siehe Seite 25).
  - Installieren Sie den Schaltschrank in einem Klimaraum.
  - Verhindern Sie direkte Sonneneinstrahlung.
  - Verwenden Sie Hitzeschilder und Leitbleche, um den Frequenzumrichter gegen direkte Einstrahlungen und die erwärmte Luft anderer Wärmequellen abzusichern.
  - Sorgen Sie für eine ausreichende Belüftung des Schaltschrankbereichs.

- Maßnahmen gegen zu niedrige Temperaturen:
  - Verwenden Sie eine Schaltschrankheizung.
  - Schalten Sie die Versorgungsspannung des Frequenzumrichters nicht aus. Schalten Sie nur das Startsignal aus.
- Abrupte Temperaturwechsel:
  - Wählen Sie einen Aufstellort, an dem keine plötzlichen Temperaturwechsel auftreten:
  - Vermeiden Sie die Installation eines Frequenzumrichters in der Nähe des Luftauslasses einer Klimaanlage.
  - Wird der Temperaturwechsel durch das Öffnen und Schließen einer Tür hervorgerufen, montieren Sie den Frequenzumrichter nicht im Türbereich.

## Mindestabstände

Halten Sie die in den Handbüchern aufgeführten Mindestabstände (x cm) ein, um eine gute Wärmeabfuhr und eine gute Zugänglichkeit des Frequenzumrichters zu Wartungszwecken zu gewährleisten.

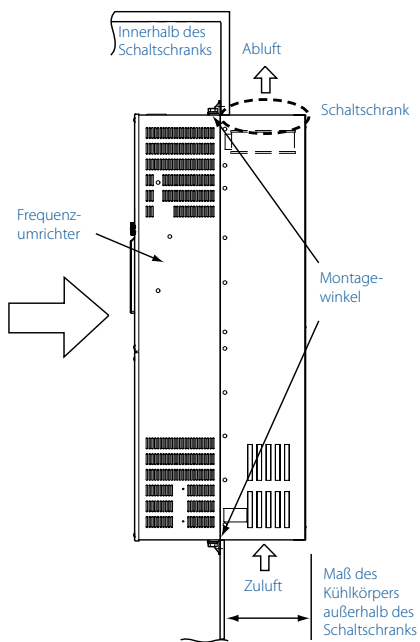
## Anordnung von Ventilatoren im Schaltschrank

Die vom Frequenzumrichter erzeugte Wärme wird durch den Kühlventilator nach oben abtransportiert. Der oder die Lüfter in einem zwangsbelüfteten Gehäuse sind unter Berücksichtigung der optimalen Kühlluftführung zu installieren. Sehen Sie gegebenenfalls Luftführungen vor.

# Kühlsysteme für den Schaltschrank

Damit die Innentemperatur des Schaltschranks die für den Frequenzrichter zulässigen Werte einhält, muss die vom Frequenzrichter und von anderen Baugruppen (Transformatoren, Lampen, Widerstände usw.) erzeugte Wärme sowie die von außen auf den Schaltschrank einwirkende Wärme (direkte Sonneneinstrahlung) abgeführt oder verringert werden. Zu diesem Zweck bieten sich unterschiedliche Kühlsysteme an:

- Natürliche Konvektion über die Gehäusewand des Schaltschranks (beim allseitig geschlossenen Schaltschrank)
- Kühlung über einen Kühlkörper (z. B. Aluminiumkühlkörper)
- Luftkühlung (Zwangsbelüftung, Zu- und Abluft über Rohranschluss)
- Kühlung über Wärmetauscher oder Kühlmittel



Montage der Option zur externen Kühlluftführung

Kühlsystem	Schaltschranksbau	Beschreibung
Natürliche Konvektion	Natürliche Belüftung (geschlossen oder offen)	Der Aufbau ist kostengünstig und wird häufig verwendet, mit steigender Leistung des Frequenzrichters ist ein größerer Schaltschrank nötig. Geeignet eher für relativ kleine Leistungen.
	Natürliche Belüftung (allseitig geschlossen)	Der allseitig geschlossene Schaltschrank ist besonders für den Einsatz in aggressiven Umgebungen mit Staub-, Schmutz-, Ölnebelbelastungen usw. geeignet. Mit steigender Leistung des Frequenzrichters ist ein größerer Schaltschrank nötig.
Zwangsbelüftung	Kühlkörper	Der Aufbau des Schaltschranks ist durch die Montageposition und die Fläche des Kühlkörpers eingeschränkt. Geeignet eher für relativ kleine Leistungen.
	Zwangsbelüftung	Der Aufbau ist generell nur für Innenräume geeignet. Die Schaltschrankgröße und Kosten sind relativ gering. Wird oft verwendet.
	Wärmetauscher	Der Aufbau ist für einen allseitig geschlossenen Schaltschrank bei gleichzeitig geringer Schaltschrankgröße geeignet.

Kühlsysteme für den Schaltschrank („FU“ in den Abbildungen steht für „Frequenzrichter“)

## Externe Kühlluftführung

Beim Einbau eines Frequenzrichters in einen Schaltschrank kann die Temperatur im Schaltschrank erheblich gesenkt werden, wenn sich der Kühlkörper des Frequenzrichters außerhalb des Schaltschranks befindet. Die Schutzklasse entspricht dann IP20. Die Methode empfiehlt sich insbesondere beim Einbau des Frequenzrichters in einen kompakten Schaltschrank.

Alternativ zu den oben genannten Kühlsystemen bietet Mitsubishi Electric für die Frequenzrichter FR-F700 und FR-A700 ein Montageset für eine externe Kühlluftführung (FR-A7CN) an.

**Berücksichtigen Sie die Kühlluftzufuhr und Klimatisierung Ihres Schaltschranks bereits in der Planungsphase, damit der zuverlässige Betrieb der Anlage immer gewährleistet ist.**

### Auswahlhilfe

Haben Sie eine geeignete Möglichkeit zur Temperierung Ihres Schaltschranks gefunden, dann notieren Sie diese in der folgenden Merkzeile. Übertragen Sie die Art der Temperierung im Anschluss unter Punkt 7 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?				
7	<input type="checkbox"/> Natürliche Belüftung (geschlossen oder offen)	<input type="checkbox"/> Natürliche Belüftung (allseitig geschlossen)	<input type="checkbox"/> Kühlkörper	<input type="checkbox"/> Zwangsbelüftung	<input type="checkbox"/> Wärmetauscher



## Luftfeuchtigkeit

Die Frequenzrichter von Mitsubishi Electric sollten in einer Umgebung mit einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 45 % und 90 % betrieben werden.

### ■ Maßnahmen gegen zu hohe Luftfeuchtigkeit:

- Verwenden Sie einen allseitig geschlossenen Schaltschrank und ein Feuchtigkeitsenkendes Mittel.
- Leiten Sie trockene Luft in das Innere des Schaltschranks.
- Verwenden Sie im Schaltschrank eine Heizung.
- Schalten Sie die Versorgungsspannung des Frequenzrichters nicht aus. Schalten Sie nur das Startsignal aus.

### ■ Maßnahmen gegen zu niedrige Luftfeuchtigkeit:

- Leiten Sie Luft mit der entsprechenden Luftfeuchtigkeit in das Innere des Schaltschranks.

## Staub, Schmutz und Ölnebel

Die thermische Isolationswirkung von Staub- und Schmutzansammlungen bewirkt eine reduzierte Kühlung und durch verschmutzte Filter steigt die Innentemperatur des Schaltschranks.

Leitende Stäube in der Umgebungsluft können innerhalb kürzester Zeit zu Fehlfunktionen, Isolationsfehlern und Kurzschlüssen führen. Ähnliche Komplikationen werden auch durch Ölnebel hervorgerufen.

### ■ Maßnahmen gegen Staub, Schmutz und Ölnebel:

- Verwenden Sie einen allseitig geschlossenen Schaltschrank.
- Reinigen Sie die zugeführte Luft.
- Erhöhen Sie den Druck im Inneren des Schaltschranks, indem Sie saubere Luft hineinpumpen.



Frequenzrichter von Mitsubishi Electric verfügen über eine Schutzfunktion, die bei einer durch Schmutz verminderten Kühl- lüfterleistung eine Warnmeldung generiert. Zusätzlich sorgt der integrierte Service-Timer für eine erhöhte Lebensdauer des Frequenz- umrichters und der Lüfter.

## Aggressive Gase und Aerosole

Wird ein Frequenzrichter aggressiven Gasen ausgesetzt, korrodieren die Platinen und Kontakte. Um dies zu vermeiden, werden bei Mitsubishi Electric standardmäßig alle Platinen mit einem speziellen Schutzlack beschichtet.

## Explosive, leicht entflammare Gase

In Umgebungen, die durch explosive Gase, Stäube oder Schmutz explosionsgefährdet sind, muss der Schaltschrank so aufgebaut sein, dass er den Anforderungen der Richtlinien für explosionsgefährdete Betriebsmit- tel entspricht.

*Die Frequenzrichter von Mitsubishi Electric verfügen standardmäßig über doppelt oder optional über dreifach lackierte Platinen für den Einsatz in besonders aggressiver Umgebung.*

### Auswahlhilfe

Viele Frequenzrichter von Mitsubishi Electric sind mit doppelt (optional dreifach) lackierten Platinen gegen den Einfluss aggressiver Gase erhältlich.

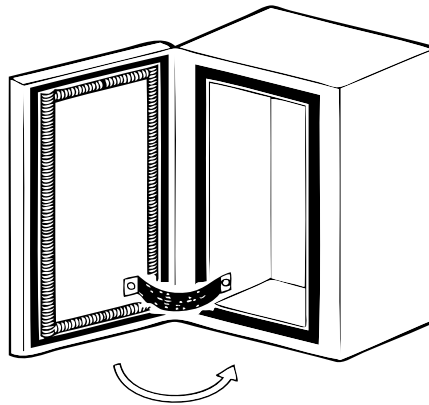
Falls weitere Maßnahmen gegen schädliche Umgebungseinflüsse notwendig sind, notieren Sie diese in der folgenden Merkzeile. Übertragen Sie die Maßnahmen unter Punkt 8 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?		
8	<input type="checkbox"/> Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Belastung durch Staub, Schmutz, Ölnebel	<input type="checkbox"/> Aggressive und/oder entflammare Gase

# Installation und Kabelverlegung

Bereits bei der Installation und der Verkabelung des Frequenzumrichters müssen besondere Maßnahmen zur Einhaltung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und der Niederspannungsrichtlinie ergriffen werden. Anpassungen zur nachträglichen Verbesserung der Eigenschaften sind meist wesentlich kostenaufwändiger, als wenn alle Anforderungen direkt bei der Anlagenplanung berücksichtigt werden. Die Beachtung der folgenden Punkte bei der Installation und Verkabelung des Frequenzumrichters hat wesentlichen Einfluss auf die EMV-Eigenschaften der gesamten Anlage:

- Installieren Sie die Geräte zur Reduzierung der Störstrahlung in einem geschlossenen, geerdeten Metallschaltschrank.
- Verwenden Sie zur Reduzierung leitungsgebundener Störungen ein netzseitiges Funkentstörfilter.
- Sorgen Sie zur Vermeidung des Antenneneffekts für eine gute Erdung.
- Verwenden Sie zur Reduzierung von Störstrahlung abgeschirmte Leitungen.
- Stellen Sie empfindliche Geräte zur Reduzierung des Kopplungseffekts möglichst weit entfernt von Störquellen auf oder installieren Sie die Störquelle in einem getrennten Schaltschrank.
- Trennen Sie signal- und leistungsführende Leitungen zur Reduzierung des Kopplungseffekts räumlich voneinander.



Schaltschrank mit geerdeter Tür

## Schaltschrankeinbau

Die Konstruktion und die Ausführung des Schaltschranks sind für die Einhaltung der EMV-Richtlinie entscheidend. Verwenden Sie einen geerdeten Metallschaltschrank. Zwischen der Schaltschranktür und dem Gehäuse muss eine gut leitende elektrische Verbindung bestehen, wie beispielsweise durch eine leitfähige Türdichtung und ein geflochtenes Masseband. Wenn Sie auf der Schaltschrankwand ein Netzfilter installieren wollen, achten Sie ebenfalls auf eine gute leitfähige Verbindung der Befestigungspunkte. Entfernen Sie ggf. den Farbanstrich. Frequenzumrichter und Steuerungen (SPS) sollten möglichst weit entfernt voneinander im Schaltschrank montiert werden. Öffnungen oder Kabeldurchlässe am Schaltschrank sollten einen maximalen Durchmesser von 10 cm haben. Ist ein größerer Durchlass als 10 cm erforderlich, decken Sie ihn mit einem Metallgitter ab.

## Verdrahtung des Leistungsteils

Wählen Sie die Leitungsquerschnitte zum Anschluss des Frequenzumrichter-Leistungsteils so aus, dass auf den Leitungen bei Belastung ein maximaler Spannungsabfall von 2 % auftritt. Zum Leistungsteil zählen die Anschlüsse der Netzspannungsversorgung, des Motors, des externen Bremswiderstands oder der Bremseinheit, der Zwischenkreisdrossel und der Schutzterde.

## Kabelführung

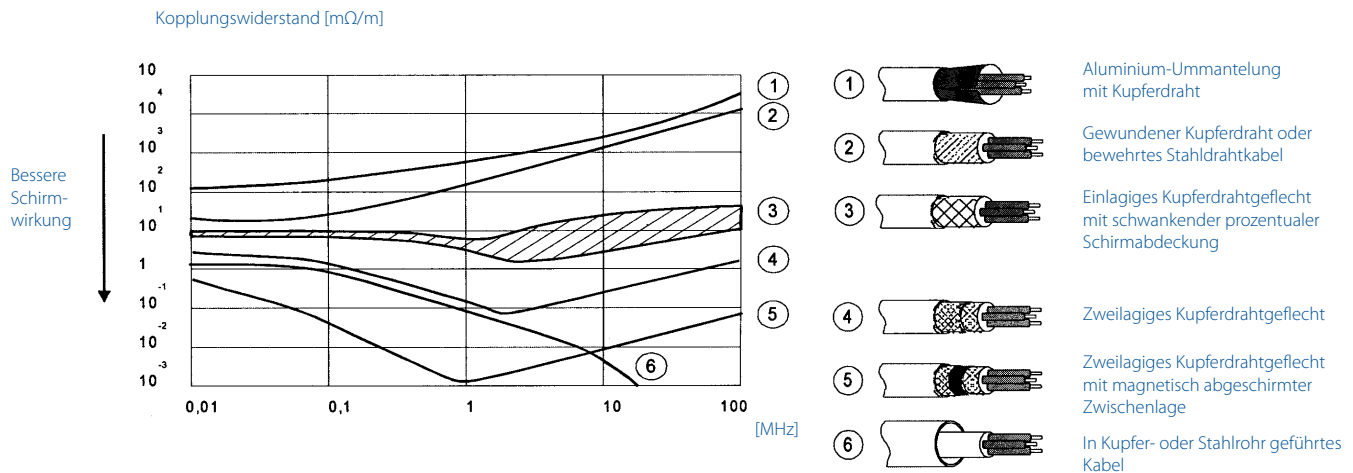
Verlegen Sie die Steuersignalleitungen in einem Mindestabstand von 30 cm zu allen Leistungskabeln. Insbesondere die Netzleitungen zum Frequenzumrichter sowie das Motorkabel sollten keinesfalls parallel zu Steuersignalleitungen, Telefonleitungen, Datenleitungen liegen. Des Weiteren sollten die Steuersignalleitungen vom oder zum Frequenzumrichter nach Möglichkeit nur innerhalb des geerdeten Schaltschrankgehäuses geführt werden. Bei einer Verlegung außerhalb des Schaltschranks verwenden Sie bitte abgeschirmte Signalleitungen.

### Auswahlhilfe

Notieren Sie Ihre Anforderungen an die Installation des Frequenzumrichters und dessen Verkabelung in die folgende Merkzeile und übertragen Sie diese unter Punkt 9 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?		
9	<input type="checkbox"/> EMV-gemäße Schaltschrankauslegung	<input type="checkbox"/> Leitungsquerschnitte für Leistungsteil	<input type="checkbox"/> Kabelführung

# Abschirmung



Kopplungswiderstände verschiedener Arten von Abschirmkabeln

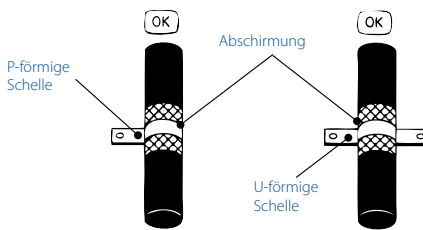
Um die Störsignalausendung von Motorkabeln zu verringern und die Störfestigkeit von Steuerkabeln zu erhöhen, ist der Einsatz von abgeschirmten Kabeln erforderlich. Die Schirmung reduziert die Ein- und Auskoppelung von Störgrößen, wobei der Aufbau und das Material der Abschirmung einen starken Einfluss auf deren Wirksamkeit haben. Die Schirmwirkung geschirmter, elektrischer Leitungen wird durch die Transferimpedanz bzw. den Kopplungswiderstand bestimmt. Je kleiner der Kopplungswiderstand einer Leitung, desto besser ist ihre abschirmende Wirkung. Faktoren, welche den Kopplungswiderstand bestimmen, sind:

- Die Schirmabdeckung, d. h. die von der Abschirmung abgedeckte Fläche der Leitung. Diese sollte mindestens 85 % betragen.
- Der Aufbau der Abschirmung. Diese kann verdreht, geflochten oder als Rohr aufgebaut sein. Die beste Wirkung erzielen die geflochtene oder die als Rohr ausgeführte Variante.
- Der Übergangswiderstand zwischen den einzelnen Leitern der Abschirmung. Dieser Wert sollte so gering wie möglich sein.

Das obenstehende Diagramm stellt die Kopplungswiderstände verschiedener Kabeltypen dar.

## Masseverbindung

Eine Kabelschirmung ist nur dann wirksam, wenn der Schirmkontakt mit der Massefläche um das Kabel herum möglichst großflächig erfolgt. Kabel mit hohem Stör- bzw. Signalpegel, wie Motorkabel, sollten zweiseitig und großflächig mit Masse verbunden werden. Auch Steuerkabel sind in der Regel zweiseitig zu erden. Abschirmungen von analogen Signalleitungen, wie z. B. Temperatursensoren, können dagegen nur einseitig, und zwar auf der Seite der Auswerte-Elektronik, aufgelegt werden. Solche Signale ändern sich nur wenig über die Zeit und haben dadurch ein geringes Störpotential.



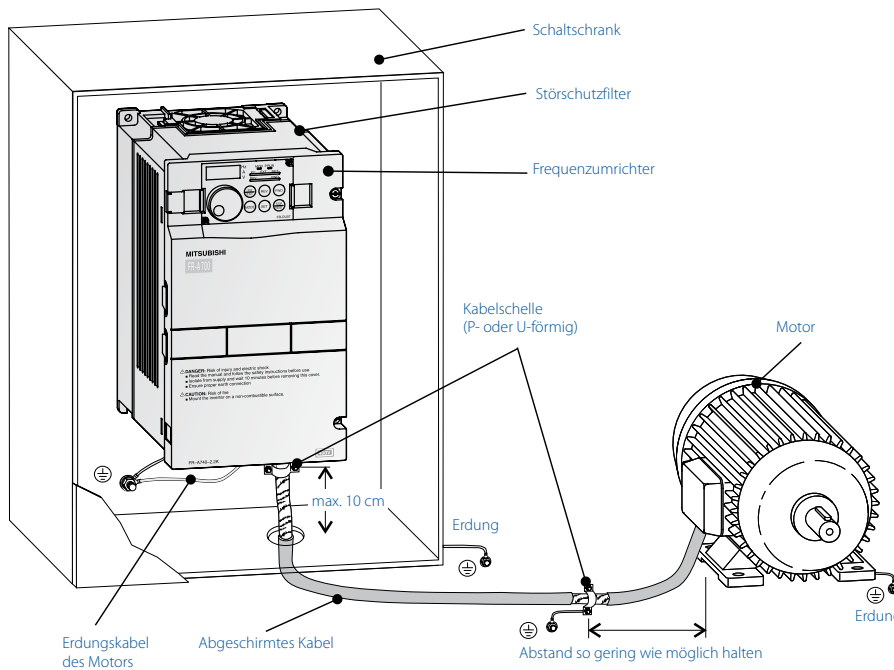
Richtiger Anschluss

## Kabelzuführung

Führen Sie das Kabel durch eine metallische Kabelverschraubung in das Gehäuse oder befestigen Sie das Kabel mit einer P- oder U-förmigen Schelle möglichst nah hinter dem Gehäuseeintritt. Die Abschirmung wird entweder mit Hilfe der Kabelverschraubung oder mit der Schelle zur Erde verbunden (siehe untenstehende Abbildungen). Beim Anschluss der Abschirmung mit Hilfe einer P- bzw. U-förmigen Schelle ist darauf zu achten, dass die Schelle sauber anliegt und das Kabel nicht übermäßig gequetscht wird.



Falscher Anschluss



Abschirmung mittels P- oder U-Schelle

## Installation des Motorkabels

Zur Verringerung von leitungsgebundener Störstrahlung sollte das Motorkabel in jedem Fall mit einer Abschirmung versehen sein. In der vorstehenden Abbildung sehen Sie ein Beispiel für eine EMV-gemäße Motorverdrahtung. Beachten Sie, dass die Abschirmung über die gesamte Kabellänge möglichst nicht unterbrochen wird. Ist der Einsatz von Drosseln, Schützen, Klemmen oder Sicherheitsschaltern im Motorabgang erforderlich, d. h. der Schirm muss unterbrochen werden, so sollte der nicht abgeschirmte Teil so kurz wie möglich gehalten werden. Besser ist es, die Drossel, das Schütz, die Klemme oder den Sicherheitsschalter in ein metallisches Gehäuse mit möglichst hoher HF-Dämpfung einzubauen.

Der Schirmanschluss am metallischen Gehäuse sollte mit möglichst kleiner HF-Impedanz erfolgen. Wenn kein abgeschirmtes Motorkabel zur Verfügung steht, verlegen Sie das Kabel in einem Metallrohr mit möglichst guter Schirmwirkung. Das Metallrohr sollte guten HF-Kontakt, z. B. mittels Kupfergewebeband, mit dem Antriebssystem und dem Motorgehäuse haben. Alternative zu einem Metallrohr ist die Verwendung eines Schirmgeflechts, welches über das Kabel gezogen wird. Ist am DC-Zwischenkreis z. B. ein Bremswiderstand anzuschließen, so sollte auch diese Anschlussleitung abgeschirmt werden. Der Schirm ist beidseitig großflächig anzuschließen (z. B. am Schutzleiteranschluss des Bremswiderstands).

## Länge des Motorkabels

Grundsätzlich sollte das Motorkabel so kurz wie möglich ausgelegt werden. Allerdings ist diese Forderung bedingt durch örtliche Gegebenheiten oder bei der Nutzung bereits vorinstallierter Kabel nicht immer einzuhalten. Die steilen Ausgangsflanken des Frequenzumrichters verursachen Oberwellen, deren Abstrahlung sich mit länger werdenden ungeschirmten Motorkabeln aufgrund der Antennenwirkung immer weiter verstärkt. Die EMV-Eigenschaften der Anlage verschlechtern sich. In Kombination mit einem langen ungeschirmten Motorkabel empfiehlt sich der Einsatz eines Sinusfilters am Ausgang des Frequenzumrichters, wodurch ein erheblicher Anteil der Oberwellen unterdrückt wird. Der durch das Filter verursachte Spannungsabfall ist zu beachten, da sich dieser zum Spannungsabfall über das lange Motorkabel addiert. Hier ist der Einsatz eines Frequenzumrichters mit einem höherem Ausgangsstrom sinnvoll. Weitere Informationen zu den Ausgangsfiltern finden Sie auf Seite 21.

## Verdrahtung von Steuer- und Signalleitungen

Um die sichere Funktion des Antriebssystems zu gewährleisten, sollten analoge und digitale Steuer- und Regelungsleitungen (Drehimpulsgeber-Anschluss, alle analogen Eingänge sowie die seriellen Schnittstellen usw.) abgeschirmt verlegt werden. Die wirksame Schirmfläche sollte so groß wie möglich sein, d. h. den Schirm nicht weiter absetzen als unbedingt erforderlich. Im Regelfall muss der Schirm beidseitig auf Erde aufgelegt werden. Grundsätzlich sollte auch die Abschirmung dieser Leitungen nicht unterbrochen werden.

## Auswahlhilfe

Die dargestellten Maßnahmen basieren auf Erfahrungswerten und können hier nur als Empfehlung betrachtet werden, da das Störverhalten der Anlage auch von der individuellen Ausführung der Verdrahtung und den Gegebenheiten am Ort der Installation beeinflusst wird. Notieren Sie die von Ihnen geplanten Maßnahmen zur Abschirmung in der folgenden Merzelle. Übertragen Sie diese zusammen mit dem dafür benötigten Material unter Punkt 10 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?
10	<input type="checkbox"/> Abschirmtes Motorkabel <input type="checkbox"/> Abschirmte Signalleitungen

## Erdung

Grundsätzlich hat die Erdung verschiedene Aufgaben. Gemäß den geltenden Vorschriften (DIN VDE 0100) und der Niederspannungsrichtlinie dient die Erdung als Schutzmaßnahme. Des Weiteren verhindert eine fachgerechte Erdung die Störeinstrahlungen und Störausstrahlungen in Bezug auf die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Außerdem wird mit der Erdung der für den Betrieb der Geräte erforderliche Punkt des gemeinsamen Bezugspotentials festgelegt. Neben den allgemeinen Normen und Richtlinien sind für die Erdung auch die Vorgaben des jeweiligen Landes zu beachten.


Bei der Schutzerdung werden elektrisch leitende Teile, wie Gehäuse, Montageplatten usw., die im Fehlerfall unter Spannung stehen können, mit Erde verbunden. Solch ein Fehler führt zur Auslösung von Schutz- oder Fehlerstromschaltern, welche das Betriebsmittel sicher vom Netz trennen.

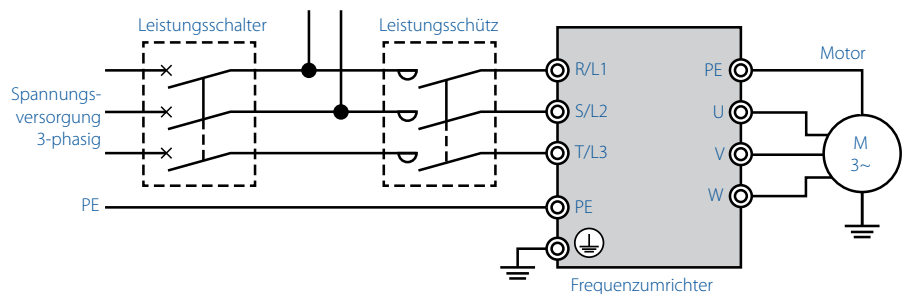
Bei der Erdung des Frequenzumrichters und der weiteren verbauten Geräte sind die folgenden Punkte zu beachten:

- Zur Erdung sollte der Frequenzumrichter und andere Geräte getrennt voneinander über die jeweilige PE-Klemme an eine Potenzialausgleichsschiene angeschlossen werden.



Geerdeter Schaltschrank

- Verwenden Sie den größtmöglichen Kabelquerschnitt für den Schutzleiter.
  - Das Erdungskabel sollte so kurz wie möglich sein. Der Erdungspunkt ist so nahe wie möglich am Frequenzumrichter zu wählen.
  - Motor und Frequenzumrichter müssen immer geerdet werden.
- Bei den Geräten von Mitsubishi Electric sind die Erdungspunkte mit „PE“ und/oder dem Zeichen  gekennzeichnet.



Erdung des Frequenzumrichters

### Auswahlhilfe

Weitere Informationen zur Erdung finden Sie in der Bedienungsanleitung des Frequenzumrichters von Mitsubishi Electric.

Notieren Sie das Ergebnis Ihrer Betrachtung, wie Ihre Anlage zu erden ist, in der folgenden Merkzeile und übertragen Sie dieses anschließend unter Punkt 11 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?
11	Erdungsart



# Schutzschalter/ Fehlerstromschutzschalter

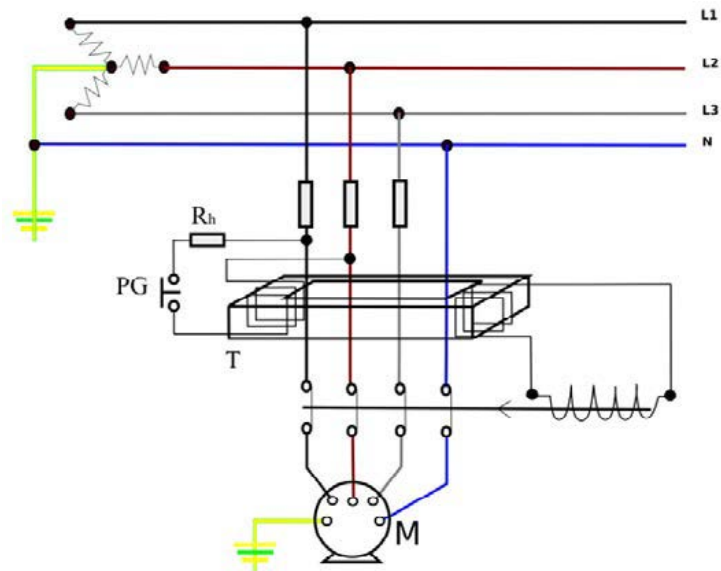
## Überstromschutz

Zum Schutz vor Überlastung durch eine zu hohe Stromaufnahme oder bei einem Kurzschluss muss der Verbraucher von der Netzversorgung getrennt werden. Diese Maßnahme schützt die Leitungen vor Beschädigung durch Erwärmung, was im Extremfall das Durchschmelzen der Leiter oder ein Feuer auslösen kann. Um diese negativen Auswirkungen zu verhindern, werden sogenannte Leistungsschutzschalter eingesetzt, die den Stromkreis bei Überlastung selbsttätig ausschalten. Der Leistungsschutzschalter ist ein Sicherungselement, das nach Auslösung wiederverwendbar ist, d.h. der Schalter kann nach Fehlerbeseitigung wieder manuell eingeschaltet werden. Dazu dient der Kippschalter auf der Frontseite, mit dem der Stromkreis auch für Wartungsarbeiten vom Netz getrennt werden kann.

Die Kriterien für die Auswahl von Schutzschaltern sind der Nennstrom und die Auslösecharakteristik.

## FI-Schalter

Der Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter) wird heute, bedingt durch die landesübergreifenden Normungen, mit „Fehlerstrom-Schutzeinrichtung“ (RCD) – Residual Current protective Device – bezeichnet. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen werden üblicherweise vor die Überstromschutzeinrichtungen (Schutzschalter) geschaltet und mit diesen gemeinsam in Niederspannungsverteileinrichtungen installiert. Sie erfassen Fehlerströme, die durch Isolationsfehler entstehen können. Für den Brandschutz gilt ein maximaler Fehlerstrom von 300 mA, der zur Auslösung des



Prinzip eines dreiphasigen Fehlerstromschutzschalters

Schutzschalters führen muss, für den Berührungsschutz ist ein maximaler Fehlerstrom von 30 mA zulässig. Bei Überschreiten des Auslösestroms trennt der Schutzschalter den Verbraucher selbsttätig vom Versorgungsnetz.

gesetzt werden müssen. Schutzeinrichtungen dieses Typs lösen nicht nur bei wechselförmigen Fehlerströmen aus, sondern auch bei Fehlerströmen, die durch reine Gleichspannung verursacht werden.

## Typ-Auswahl für Frequenzumrichter

Die DIN VDE 0100-530 regelt den Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen in Niederspannungsanlagen mit Betriebsmitteln. Seit dem 01.06.2007 schreibt diese Norm vor, dass für neu errichtete elektrische Anlagen, die einen glatten Gleichfehlerstrom, typisch bei allen dreiphasigen Frequenzumrichtern, erzeugen können, allstromsensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen vom Typ B einge-

## Weitere Auswahlkriterien

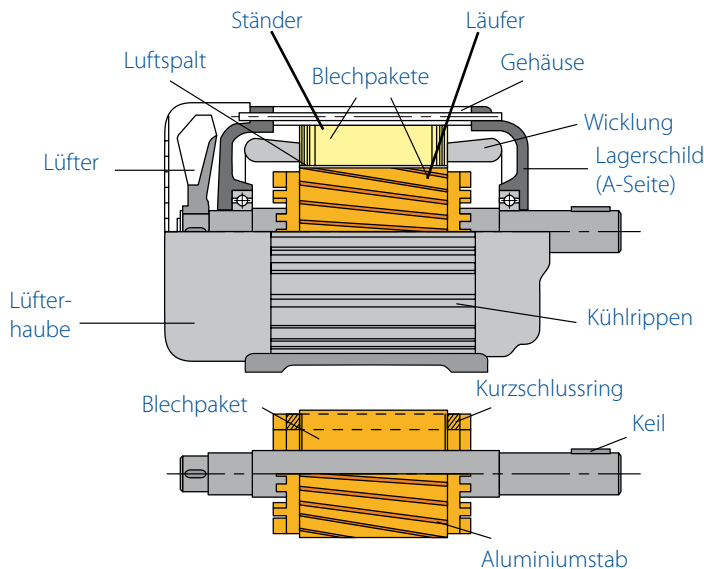
Bei der Auswahl einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) sind zudem die durch Netzfilter, Länge des geschirmten Motorkabels und Taktfrequenz bedingten Ableitströme mit zu betrachten. Die Bedienungsanleitung für Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric enthält Berechnungsgrundlagen, um die Auslöseströme von Fehlerstromschutzeinrichtungen zu ermitteln.

## Auswahlhilfe

Beachten Sie die zusätzlichen Informationen zu Leistungsschaltern und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in der Bedienungsanleitung des Frequenzumrichters von Mitsubishi Electric. Sie finden dort auch für jedes Frequenzumrichtermodell Empfehlungen, welche Leistungsschalter und -schütze einzusetzen sind. Notieren Sie die für Ihre Anlage benötigten Schalter in der folgenden Merkzeile und übertragen Sie diese unter Punkt 12 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?
12	<input type="checkbox"/> Schutzschalter <input type="checkbox"/> Fehlerstromschutzeinrichtungen

# Motoren für den Frequenzumrichterbetrieb



Längsschnitt durch einen Asynchronmotor

## Unterschiede Synchron- und Asynchronmotoren

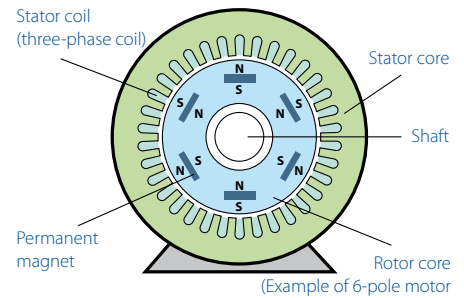
Ein Motor, sowohl Synchron (SM)- als auch Asynchronmotor (ASM), besteht im Wesentlichen aus einem Ständer und einem Läufer. Der Ständer beinhaltet die Primärwicklung, und den Ständerkern, der die Primärwicklung trägt. Der Aufbau des Ständers ist bei beiden Motortypen gleich, die Läufer unterscheiden sich jedoch in ihrer Struktur.

Der Läufer eines Induktionsmotors hat mehrere Wicklungen, die sich bei angelegter Spannung wie Elektromagneten verhalten. Durch dieses Elektromagnetische Feld wird das Drehmoment des Motors erzeugt. Ein IPM Motor (Synchronmotor) hat Dauermagnete im Läufer, die zur Drehmomentbildung genutzt werden. Zusätzlich zum magnetischen Moment nutzt der IPM Motor das Reluktanzmoment, das aus der Lage der Magnete im Läufer resultiert.

Die nachfolgenden Beschreibungen geben einen Überblick über die wesentlichen Unterschiede von IPM- und Käfigläufermotoren. Ein weiterer Unterschied liegt in der Erwärmung der Motoren. Durch die Induktion von Spannung in die Rotorwicklung der ASM entsteht Wärme und damit Verluste. Diese fallen auf Grund des Konstruktionsprinzips der SM nicht an. Dementsprechend erwärmt sich der SM weniger stark, was z. B. positive Auswirkungen auf die Wartungsintervalle hat, denn die Lebensdauer des Fettes in den Lagern verkürzt sich durch höhere Temperaturen und es muss häufiger erneuert werden. Durch die unterschiedliche Erwärmung ergeben sich auch optische Unterschiede. Bei Betrachtung eines Asynchronmotors fallen sofort die vielen Kühlrippen rund um der Körper auf. Bei vielen permanent erregten Synchronmotoren sind diese Kühlrippen aufgrund der „coolen“ Struktur durch die geringere Erwärmung des Läufers nicht erforderlich und der Motor hat eine glatte Oberfläche.

## IPM Motor

### Motoraufbau (Schnittbild)



Permanentmagneten sind in den Rotor integriert

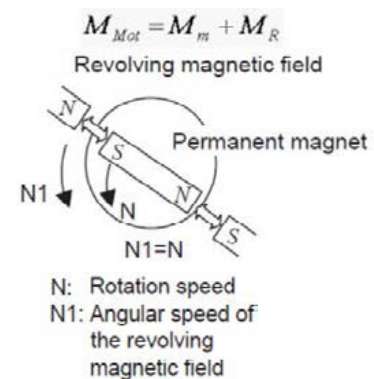
### Erzeugung des magnetischen Flusses

Die integrierten Dauermagnete erzeugen den magnetischen Fluss. Liegt keine Last an der Motorwelle an ( $M=0$ ), wird auch kein Strom benötigt. Es fließt kein Strom im Stator, dementsprechend gibt es keinen resistiven Energieverlust in der Primärwicklung.

■ Hocheffizienter Motor, weil kein Erregerstrom nötig

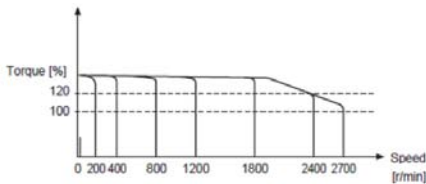
### Erzeugung des Drehmoments

Drehmomenterzeugung durch die magnetische Anziehungskraft zwischen den Dauermagneten und dem umlaufenden elektromagnetischen Feld. Ein weiterer Anteil des Drehmoments bildet das Reluktanzmoment durch die Differenz im magnetischen Widerstand der eingebetteten Magnete (siehe Grundlagen IPM Motor).



### ■ Drehzahl-Drehmomentkurve

Es entsteht kein Schlupf. Dementsprechend treten keine Drehzahlschwankungen bei angelegter Last auf.



### ■ Drehzahl

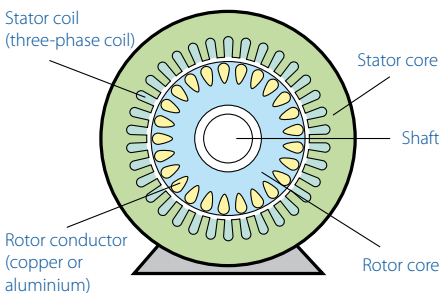
$$N = \frac{120f}{p} \text{ [r/min]}$$

f: Output frequency  
p: Number of motor poles

Motor rotiert synchron mit der Frequenz der angelegten Motoreingangsspannung (ohne Schlupf).

## Käfig-Läufer Motor

### ■ Motoraufbau (Schnittbild)



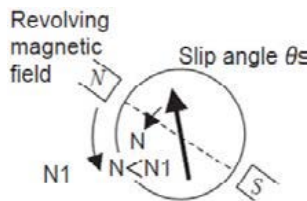
Der Rotor besteht aus Kupfer oder Aluminium. Es werden Wicklungen anstelle von Magneten

### ■ Erzeugung des magnetischen Flusses

Die Rotorwicklungen erzeugen den magnetischen Fluss durch induzierten Erregerstrom. Auch wenn keine Last an der Motorwelle anliegt ( $M=0$ ) wird der Motor bestromt. Daraus resultieren Energieverluste (Kupfer/Aluminiumverluste in den Sekundärwicklungen)

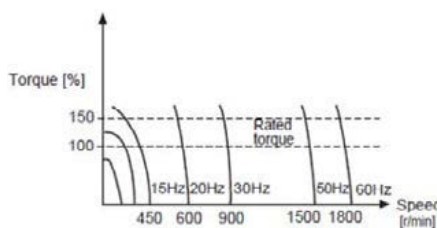
### ■ Erzeugung des Drehmoments.

Drehstromerzeugung durch induzierte elektromagnetische und elektromotorische Kraft. Die elektromotorische Kraft entsteht durch das umlaufende Feld.



### ■ Drehzahl-Drehmomentkurve

Motor generiert Schlupf. Dementsprechend treten Drehzahlschwankungen bei angelegter Last auf.



### ■ Drehzahl

$$N = \frac{120f}{p} \cdot (1-s) \text{ [r/min]}$$

s: Slip

Motor rotiert asynchron zum Erregerfeld der Motoreingangsspannung. Rotordrehzahl ist kleiner als Frequenz der Eingangsspannung (mit Schlupf)

## Klassifizierung von Asynchronmotoren

Nach dem Kyoto-Protokoll ist ein weiterer Versuch, den spezifischen Energieverbrauch zu senken, auf dem Treffen der Regierungschefs der EU am 9. März 2007 in Brüssel unternommen worden. Dort wurde unter anderem eine Steigerung der Energieeffizienz um 20 % bis 2020 vereinbart. Viele Studien zu diesem Thema zeigen, dass der größte Anteil des gesamten Energieverbrauchs, ca. die Hälfte, aufgewendet wird, um Elektromotoren im industriellen Umfeld zu betreiben (Deutschland 49 %, Japan 50 %, USA 63 %). Da gerade elektromechanische Antriebe einen großen Teil des gesamten Stromverbrauches ausmachen, ist es sinnvoll, durch Effizienzsteigerungen mögliche Energieeinsparpotentiale auszuschöpfen, um Antriebstechnik wirtschaftlicher gestalten zu können.

Die überwiegende Mehrheit der verwendeten Elektromotoren in der Industrie bilden dreiphasige Niederspannungs-Drehstrom-Induktionsmotoren (Asynchronmotoren) mit Käfigläufern im Leistungsbereich von 0,5 bis 500 kW. Dabei werden die Motoren mit Wirkungsgraden zwischen 70 und 95 % betrieben. Viele der eingesetzten Elektromotoren in Europa sind bereits seit mehreren Jahrzehnten in Betrieb. Würden all diese Antriebe durch moderne Systeme ersetzt werden, würden ca. 135 Milliarden Kilowattstunden (kWh) und 69 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> jedes Jahr eingespart werden.

Durch die stetige Weiterentwicklung und wirtschaftlichere Herstellung von permanent erregten Hochleistungsmagneten, z. B. aus Neodym aus sog. seltenen Erden, wurden hocheffiziente Synchronmotoren entwickelt, die in Punkto Wirkungsgrad und benötigtem Bauraum den Standard Asynchronmotor in vielen Anwendungen ablösen und damit zu einer Reduzierung des industriellen Energieverbrauchs beitragen können.

## CEMEP Klassifizierung (EFF)

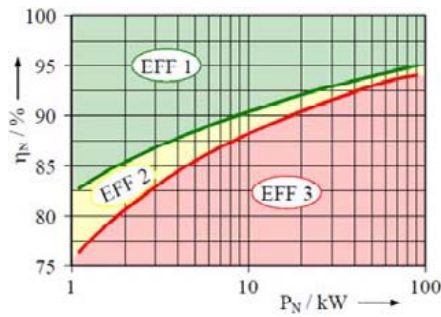
Bereits 1998 begann das Comité Européen de Constructeurs de Machines Electriques et d'Electronique de Puissance (CEMEP) 18 Elektromotoren in sogenannte Effizienzklassen (EFF) einzuteilen, mit dem Ziel Motorenhersteller und Nutzer für Energiesparpotenziale in der Antriebstechnik zu sensibilisieren. Diese Klassierung in EFF1 (höchste Wirkungsgradklasse), EFF2 und EFF3 (niedrigste Wirkungsgradklasse) stellt zunächst nur eine freiwillige Selbstverpflichtung für Hersteller von Elektromotoren dar und beschränkt sich auf 2- und 4-polige, dreiphasige 400 V 50 Hz Asynchronmaschinen in Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) im Leistungsbereich von 1,1 bis 90 kW. Die CEMEP Vereinbarung wurde 2006 bis Ende 2009 verlängert.

Die Idee der freiwilligen CEMEP-Vereinbarung wurde 2008 durch die erweiterte Norm IEC 60034-30:2008 ersetzt. An die Stelle der alten EFF-Klassen treten die neuen IE-Klassen (International Efficiency).

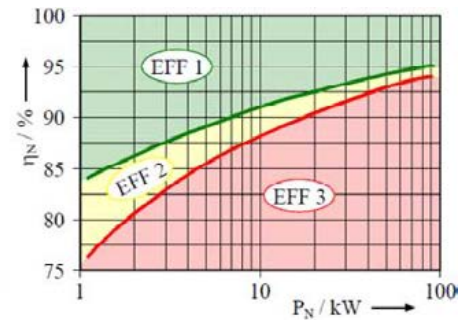
IEC 60034-30	EFF-Klassen
IE1 (Standard)	EFF2
IE2 (High)	EFF1
IE3 (Premium)	Ca. 15–20 % besser als IE2

Die Tabelle stellt neue und alte Effizienzklassen gegenüber. Außerdem enthält die Norm eine Reihe von vereinheitlichten Randbedingungen, wie z. B. die Formel zur Wirkungsgradbestimmung, um mehr Transparenz in die weltweit unterschiedlichen Effizienzklassen zu bringen. So soll Herstellern und Nutzern der Umgang mit Energieeffizienten Motoren erleichtert werden.

Dem gesetzlich nicht verbindlichen Standard IEC 60034-30 steht die gesetzlich verpflichtende European Regulation 640/2009 der europäischen Kommission gegenüber.



CEMEP Effizienzklassen für 2- und 4-polige Motoren



## Internationale Effizienzklassen (IE)

Das neue IE-Klassen System nach IEC 60034-30 erweitert die Randbedingungen und gilt nun für alle dreiphasigen Niederspannungsinduktionsmotoren mit Käfigläufer und den folgenden Spezifikationen:

- Anschlussspannung bis zu 1000 V
- 50 oder 60 Hz Betrieb
- Ausgangsleistung von 0,75 bis 375 kW
- 2-, 4- und 6-polige Motoren
- Dauerbetrieb (S1) oder Aussetzbetrieb (S3)20 mit einer zyklischen Einschalt-dauer von mindestens 80 %
- Direkter Netzbetrieb
- Erfüllung der Betriebsbedingungen nach IEC 60034-1 (Temperatur, Installations-höhe, etc.)
- Motoren deren Dimensionen von Flansch, Sockel oder Welle von IEC 60072-1 abweichen
- Getriebe- und Bremsmotoren an Frequenzumrichtern
- Ausgeschlossen von der Klassifikation nach IEC 60034-30 sind die folgenden Antriebe:
  - Motoren für Kurzzeitbetrieb (S2)21 oder Aussetzbetrieb (S3 < 80 % bis S10)
  - Motoren die ausschließlich für Frequenzumrichterbetrieb nach IEC 60034-25 entwickelt wurden, sowie Sondermotoren, die einzig für eine spezielle Anwendung entwickelt wurden und deren Wirkungsgrad nicht ohne die zugehörige Maschine bestimmt werden kann.

Ziel der Norm ist es, in Europa ab dem 16. Juni 2011 nur noch Asynchronmotoren für Neuinstallationen einzusetzen, die mindestens IE2 entsprechen (vgl. Dolder 2010, S. 4). Ab Januar 2015 dürfen nur noch große Motoren ( $\geq 7,5$  kW) mit Energieeffizienzklasse IE3 oder Motoren mit IE2 und variabler Motorsteuerung (Frequenzumrichter) in Verkehr gebracht werden. Ab Januar 2017 gilt die Mindestwirkungsgradklasse IE3 für alle Motoren (0,75 bis 375 kW) oder IE2 für Motoren mit variabler Motorsteuerung (vgl. EG 2009).

# Motorkühlung und Motorschutz



Eigenbelüftete Motoren für Pumpenanwendung

Die dem Motor zugeführte elektrische Energie wird nur zum Teil in mechanische Energie umgesetzt. Der restliche Teil verschwindet als Verlustwärme. Hohe Temperaturen bewirken eine schnellere Alterung und reduzieren die Lebensdauer des Motors. Daher muss ganz besonders auf eine gute Kühlung geachtet werden. Auch die umrichterbedingten Oberwellen führen zu zusätzlichen Eisen- und Stromwärmeverlusten, die allerdings mit den auf Seite 21 beschriebenen Motor- ausgangsfiltren wirksam reduziert werden können.

Ziel aller Kühlungsmaßnahmen muss es sein, die entstehende Wärme so gut wie möglich aus dem Motor abzuführen und die zwangsläufig durch die Verluste entstehende Temperaturerhöhung wirksam zu begrenzen.

## Thermische Verluste

Die zusätzlichen thermischen Verluste, die das Antriebssystem im Motor erzeugt, müssen bei der Dimensionierung der Frequenzumrichter-Motor-Kombination mitberücksichtigt werden. Eventuell ist ein Frequenzumrichter einer größeren Leistungsklasse sinnvoll.

Prüfen Sie auch, ob nach der Umrüstung Ihrer Anlage mit einem Frequenzumrichter ein Betrieb in Teillast ausreichen würde.

## Motorkühlung

Die Kühlung des Motors bewirkt die Reduzierung der thermischen Belastung. Man unterscheidet die Motoren nach der Art der Belüftung. Bei eigenbelüfteten Motoren ist der Kühllüfter fest auf der Motorwelle montiert. Die Kühlleistung des Lüfters hängt bei dieser Variante direkt von der Drehzahl des Motors ab.

Um auch während des Betriebs bei niedrigen Drehzahlen eine ausreichende Kühlung zu gewährleisten, muss in diesem Fall das thermisch zulässige Drehmoment reduziert werden. Fremdbelüftete Motoren haben dieses Problem nicht, da diese über einen eigenständigen Lüfter gekühlt werden, der über Netzspannung „angetrieben“ wird. Installationsseitig erfordert diese Kühlungsart allerdings zusätzlichen Aufwand für den separaten Kühllüfter und dessen Netzanschluss.

## Thermoschalter

Zum Schutz des Motors vor zu hohen Temperaturen sind bestimmte Motoren bereits herstellereitig mit einem Thermoschalter ausgerüstet. Die Montage eines externen Thermoschalters oder PTC-Elements am Motorgehäuse ist ebenfalls möglich, um den Motor über eine entsprechende Schutzschaltung abzuschalten. Modelle der Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric sind mit Eingängen für solche Schutzschalter ausgerüstet. Im Überlastungsfall schaltet der Umrichter den Motorstrom aus und gibt ein Alarmsignal aus.

## Weiterführende Literatur

Aufgrund der Fülle an verfügbaren Motoren und der Komplexität der Berechnungsgrundlagen können die Kriterien zur Motorauswahl in dieser Fibel nur grob beschrieben werden. Für weitere Informationen verweisen wir auf die einschlägige Fachliteratur, wie beispielsweise Peter F. Brosch: Frequenzumrichter (Die Bibliothek der Technik Band 36). Beachten Sie bei der Auswahl des Motors unbedingt die aktuellen Normen und Vorschriften.

## Auswahlhilfe

Prüfen Sie die Art und die Leistungsdaten des Ihnen zur Verfügung stehenden Motors. Befragen Sie den Hersteller, ob Ihr Motor für den Betrieb mit einem Frequenzumrichter geeignet ist.

Notieren Sie die Leistungsmerkmale Ihres vorhandenen oder benötigten Motors und ggf. benötigte Thermoschalter usw. in der folgenden Merkzeile und übertragen Sie diese im Anschluss unter Punkt 13 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?			
13	<input type="checkbox"/> Art des Motors	<input type="checkbox"/> Kennwerte des Motors	<input type="checkbox"/> Art der Motorkühlung	<input type="checkbox"/> Motorschutz - Thermoschalter



# Betriebsarten des Motors

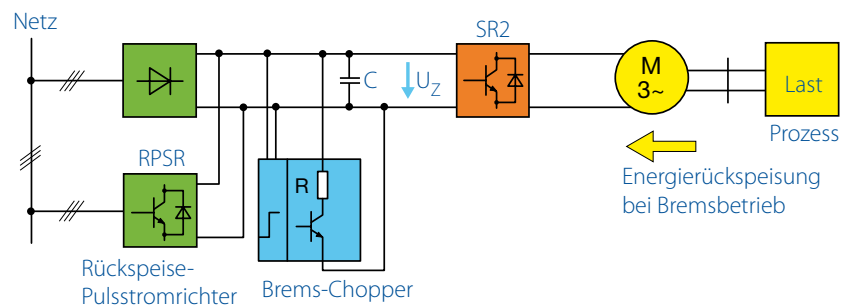
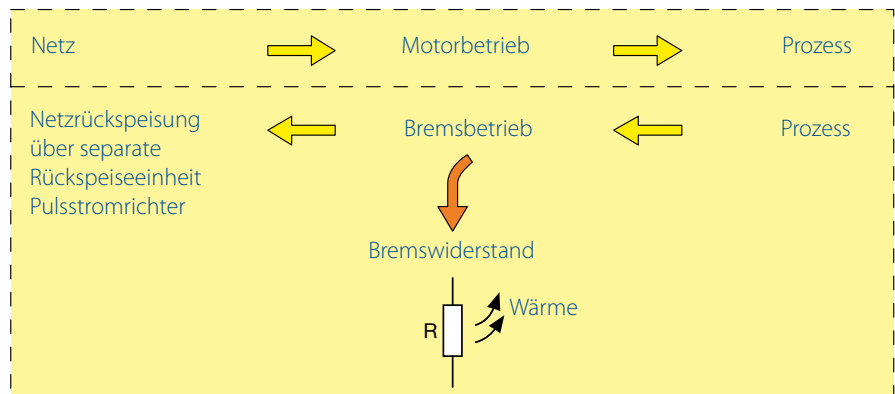
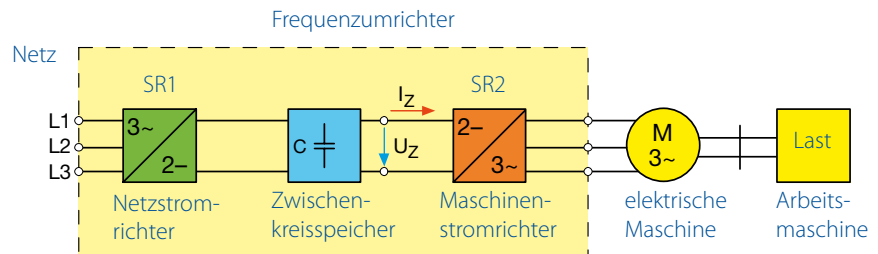
## Motorischer Betrieb

Die wichtigste Betriebsart ist der Motorbetrieb, d.h. das Antreiben der Arbeitsmaschine. Dabei wird Energie aus dem Netz über den Netzstromrichter, den Zwischenkreis und den Maschinenstromrichter (Wechselrichter) zum Motor übertragen. Dieser gibt die gewandelte elektrische Leistung – abzüglich der Verluste – mechanisch an die Arbeitsmaschine (den Prozess) weiter. Ein Teil der Energie wird, wie zuvor beschrieben, in der Schwungmasse  $J$  des Antriebs gespeichert.

## Bremsbetrieb und generatorischer Betrieb

Beim Bremsen des Motors kehrt sich die Richtung des Energieflusses um. Die Arbeitsmaschine und/oder die Energie der Schwungmasse speisen jetzt die elektrische Maschine. Diese arbeitet nun als Generator und gibt die gewandelte mechanische Energie über den Maschinenstromrichter (Wechselrichter) in den Zwischenkreis ab. Der Kondensator im Zwischenkreis puffert die Energie. Er wird dadurch aufgeladen und die Zwischenkreisspannung  $U_Z$  steigt an.

Bei einer großen Zahl von Anwendungen reicht die Energiepufferung durch die Kondensatoren des Umrichterzwischenkreises aus. Um bei größeren Bremsenergien eine Gefährdung der elektrischen Bauteile zu vermeiden, muss die Kondensatorspannung  $U_Z$  begrenzt werden. Dies geschieht bei kleinen Bremsleistungen (etwa  $<30$  kW) durch das Einschalten eines Bremswiderstands (Ballastwiderstand) über einen Brems-Chopper. Im Widerstand wird die oft nur kurzzeitig anfallende Bremsenergie in Wärme umgesetzt. Ab etwa 11 kW ordnet man die Bremswiderstände wegen der großen Wärmeentwicklung extern an. Der Brems-Chopper funktioniert auch bei Netzausfällen, sodass der Antrieb geführt stillgesetzt werden kann.



Leistungsfluss beim Frequenzumrichter im Motor- und Bremsbetrieb als auch im Generatorbetrieb

Bei größeren Leistungen lohnt sich heute auf jeden Fall der Aufwand für eine Nutzbremse, d.h. die Rückspeisung der Bremsenergie in das speisende Drehstromnetz. Dies kann beim U-Umrichter nur über einen antiparallel zum Netzstromrichter geschalteten steuerbaren Rückspeise-Pulsstromrichter erfolgen.

## Anwendungen

Bei Applikationen mit vertikalen Bewegungen im Allgemeinen, Antriebe für Förderfahrzeuge und Lauf-/Rolltreppen, Arbeitsmaschinen mit hohem Trägheitsmoment, Zentrifugen, Erneuerbare Energien (Wasserkraft, Windkraft) und Applikationen mit hoher Bremsleistung über lange Zeiträume macht eine Investition in vollgesteuerte- und rückspeisefähige Frequenzumrichter durchaus Sinn. Es ergeben sich folgende Vorteile:

- Kontinuierliches Bremsen mit 100 % der Bemessungsleistung
- Energieeinsparungen durch Rückspeisung im generatorischen Betrieb des Motors
- Wegfall von Bremswiderstand, Netzdrossel und Brems-Chopper
- Keine aufwändige Projektierung der Bremswiderstände und keine aufwändige Verkabelung
- Wesentlich geringerer Platzbedarf als herkömmliche Frequenzumrichter
- Keine zusätzliche Wärmeerzeugung beim Bremsen

## 87-Hz-Betrieb

Unter bestimmten Voraussetzungen macht es durchaus Sinn die Eckdrehzahl eines Antriebssystems (normalerweise 50 Hz) zu variieren, beispielsweise für den so genannten „87-Hz-Betrieb“. Dazu wird der erweiterte Spannungsstellbereich bis 87 Hz genutzt, wenn sich die Motorwicklung bei 400 V im Dreieck betreiben lässt. Der so angeschlossene Motor kann bei gleichem Drehmoment aufgrund der  $\sqrt{3}$ -fach höheren Drehzahl auch  $\sqrt{3}$ -fach mehr Leistung abgeben. Der speisende Frequenzumrichter ist für diese erhöhte Leistung aber entsprechend zu bemessen.

Der Nutzen des 87-Hz-Betriebs liegt darin, dass ein Motor kleinerer Typenleistung eingesetzt werden kann.



Frequenzumrichter FR-A741

**Mitsubishi Electric bietet neben dem voll-rückspeisefähigen FR-A741 auch die FR-D/E700 (Low-cost/Kompakt), FR-F700 (Energie/Wasser/Abwasser), FR-A700 (High-end), FR-F746 (HKL/Gebäude), und FR-FSU Serie.**

## Auswahlhilfe

Mitsubishi Electric hat ein umfangreiches Angebot an Bremswiderständen und Bremsseinheiten, die speziell auf Ihren Frequenzumrichter angepasst und dafür optimiert sind. Auskunft darüber gibt Ihnen der Technische Katalog für Frequenzumrichter.

Notieren Sie nun in der folgenden Merkzeile, für welche Art der Bremsung Sie sich entschieden haben und welche Komponenten dafür benötigt werden. Übertragen Sie dann Ihre Entscheidung in die Auswahlhilfe unter Punkt 14.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?		
14	<input type="checkbox"/> Bremswiderstand	<input type="checkbox"/> Bremsseinheit	<input type="checkbox"/> Netzurückspeisung

# Funktionale Sicherheit

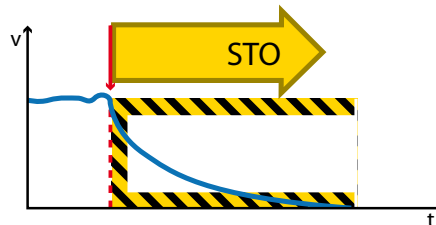
## Maschinenrichtlinie

Die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG regelt ein einheitliches Schutzniveau zur Unfallverhütung für Maschinen. Demnach muss der Hersteller einer Maschine dafür sorgen, dass eine individuelle Risikobeurteilung vorgenommen wird, um die für die Maschine geltenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen zu ermitteln. Danach muss die Maschine unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Risikobeurteilung geplant, konstruiert und gebaut werden. Die Risikobeurteilung ist also ein Prozess, der bereits in der Planungsphase stattfinden muss und nicht erst nach dem Bau einer Maschine, indem man die Risiken an der fertigen Maschine nachträglich austestet. Gefahren, die sich erst zu diesem Zeitpunkt herausstellen, lassen sich nur mit großem Aufwand abstellen oder vermindern.

## Sicherheitsfunktionen

Mittlerweile sind auch Frequenzumrichter mit integrierten Sicherheitsfunktionen ausgestattet. Gegenüber dem traditionellen Aufbau mit Schütz-Technik benötigen die integrierten Sicherheitsfunktionen einen geringeren Material- und Wartungsaufwand. Auch die Schaltzeiten einer elektronischen Lösung sind wesentlich kürzer.

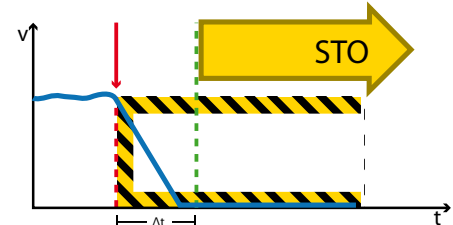
Mitsubishi Electric bietet Frequenzumrichtermodelle an, die mit der Sicherheitsfunktion „Safe Torque Off“ (STO) ausgestattet sind. Um STO für Sicherheitseinrichtungen, wie Not-Halt-Taster, Lichtvorhänge usw. nutzen zu können, müssen diese immer über ein zertifiziertes Sicherheitsmodul mit den Sicherheitsklemmen des Frequenzumrichters verschaltet werden.



Motordrehzahl bei sicherem Halt (STO)

## Funktion STO

Die Funktion STO wird mit „sicherer Halt“ oder auch „sicher abgeschaltetes Moment“ bezeichnet. Sie ist die gängigste in Antriebe integrierte Sicherheitsfunktion und verhindert ein generelles Wiederanlaufen des Motors durch Abschaltung der motorseitigen Energiezufuhr. Der angeschlossene Motor ist somit drehmomentfrei und trudelt aus. STO wird dort eingesetzt, wo der Motor durch Reibung oder Belastung in ausreichend kurzer Zeit selbsttätig zum Stillstand kommt und das Austrudeln keine Auswirkung auf die Sicherheit hat. Gemäß EN 60204-1 Abschnitt 5.4. ist STO eine Einrichtung zur Vermeidung von unerwartetem Anlauf, und der Zustand wird vom Antrieb überwacht (Safe-Stop-Kategorie 0).



Motordrehzahl bei sicherem Stopp 1 (SS1)

## Funktion SS1

SS1 ist die Abkürzung für die Bezeichnung „sicherer Stopp 1“. Diese Funktion bewirkt ein schnelles und sicheres Stillsetzen des Motors und schaltet diesen nach Erreichen des Stillstands drehmomentfrei, d.h. STO wird aktiviert. SS1 findet Anwendung, wenn nach Eintritt des sicherheitsrelevanten Ereignisses der Antrieb so schnell wie möglich stoppen soll mit anschließendem Übergang in den Zustand STO. Motoren mit hoher Drehzahl oder mit großer Schwungmasse sollen hiermit zum Schutz von Personen möglichst schnell abgebremst werden. Gemäß EN 60204-1 realisiert SS1 ein sicheres Stillsetzen nach Safe-Stop-Kategorie 1. Der Antrieb bremst selbstständig über eine Kurzbremssrampe schnell ab und geht nach einer eingestellten sicheren Verzögerungszeit  $\Delta t$  auf die Funktion STO über.

## Auswahlhilfe

Notieren Sie nun in der folgenden Merkzeile, ob Sie für Ihre Anlage die Sicherheitsfunktionen im Zusammenspiel mit dem obligatorischen Sicherheitsmodul nutzen wollen. Übertragen Sie Ihr Resultat anschließend unter Punkt 15 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?
15	<input type="checkbox"/> Sicherheitsmodul

# Bedienung und Setup-Software



Bedieneinheit FR-PU07

Der Frequenzrichter ist mit einer Bedieneinheit ausgestattet, die den manuellen Zugriff auf alle Parameter und Betriebsarten zulässt. Bei einigen Modellen ist die Standard-Bedieneinheit auch vom Frequenzumrichter abnehmbar und kann dezentral betrieben werden, wenn der Einbau des Frequenzumrichters in einen geschlossenen Schaltschrank umgebungsbedingt notwendig ist. Alle Modelle der Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric verfügen über ein einheitliches Bedienkonzept.

## FR-PU07

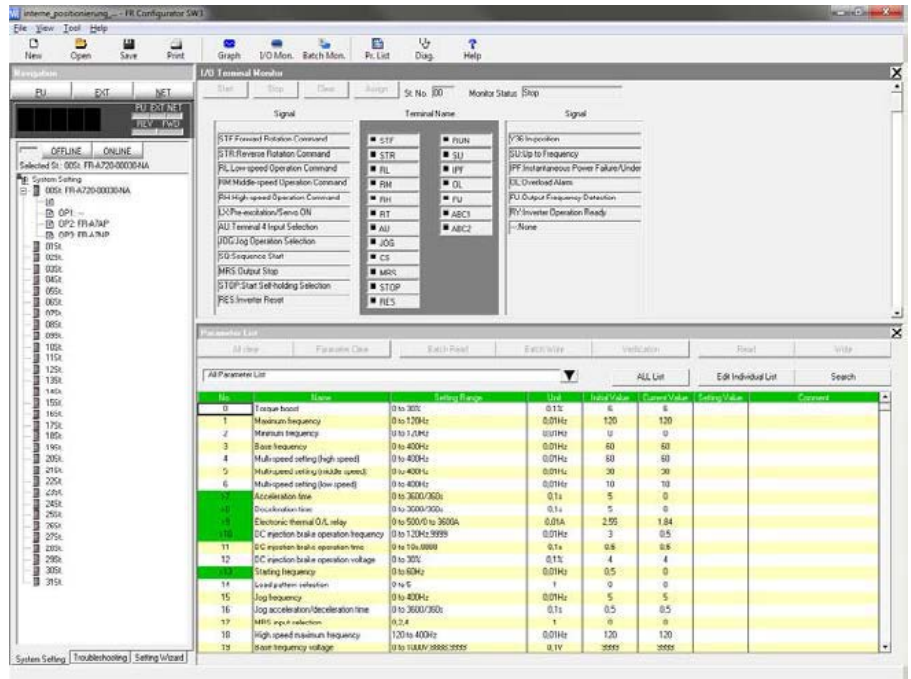
Die externe Bedieneinheit FR-PU07 ist optional erhältlich und verfügt über eine 4-zeilige LCD-Anzeige zur Textausgabe und eine 10er-Tastatur. Zur Nutzung der erweiterten Funktionen dieser Bedieneinheit lässt sich diese anstelle der abnehmbaren Standard-Bedieneinheit verwenden.

Weitere Informationen zur Bedienung und den optional erhältlichen Bedieneinheiten finden Sie im Technischen Katalog sowie in den jeweiligen Bedienungsanleitungen der Frequenzumrichter.

## Auswahlhilfe

Notieren Sie in der folgenden Merkzeile, ob Sie eine optionale externe Bedieneinheit benötigen und übertragen Sie dieses unter Punkt 16 in die Auswahlhilfe. Halten Sie ebenfalls fest, ob Sie für Ihre Systemkonfiguration den FR-Configurator einsetzen wollen.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?		
16	<input type="checkbox"/> Integrierte Standard-Bedieneinheit	<input type="checkbox"/> PU07	<input type="checkbox"/> FR-Configurator



Menüansicht des FR-Configurators

## FR-Configurator

Mitsubishi Electric bietet zum Setup und Betrieb seiner Frequenzumrichter die Software FR-Configurator an. Durch die Netzwerkfähigkeit können mit der Software mehrere Frequenzumrichter gleichzeitig über einen PC bzw. Laptop eingerichtet, betrieben und überwacht werden.

## Funktionen der Software

Die Software FR-Configurator hat unter anderem folgende Funktionen:

- Systemeinstellung und Betrieb von bis zu 32 Frequenzumrichtern im Netzwerk
- Parametereinstellung mit Gesamt- und funktionsbezogenen Übersichten

- Anzeigefunktion, wie Daten-, Analog-, Oszilloskop- und Alarmanzeige
- Diagnose des Frequenzumrichterzustands für Betriebs- und Fehleranalyse
- Testbetrieb für Betriebssimulationen und Auto-Tuning-Abgleich
- Dateiverwaltung zum Speichern und Drucken von Parametern
- Online-Hilfe

# Kommunikation

Für die Kommunikation stehen bei modernen Frequenzumrichtern verschiedene Schnittstellen zur Verfügung.

## Digitale Ein- und Ausgänge

Die einfachste Art der Kommunikation ist die Ein- und Ausgabe von statischen Digitalsignalen, welche nur die Zustände EIN und AUS annehmen können. Zu den Eingangssignalen zählen beispielsweise Signale von Startschaltern, Motorschutzschaltern oder zur Ausgangsabschaltung. Typische Ausgangssignale sind Betriebsbereitschaft, Auftreten von Alarmen, Überlastungen usw. Die Ausgänge können als Open-Collector-Ausgänge und/oder Relaisausgänge ausgeführt sein.

## Analoge Ein- und Ausgänge

Weiterhin verfügen Frequenzumrichter über analoge Ein- und Ausgänge. Analogeingänge dienen beispielsweise zur Sollwertverstellung der Umrichterfrequenz über ein Potentiometer oder eine variable Gleichspannungsquelle. Diese Eingänge können als Spannungs- oder Stromeingang ausgeführt sein. Über einen Analogausgang lassen sich verschiedene Istwerte, wie Ausgangsstrom, Ausgangsleistung, Zwischenkreisspannung usw. als Spannungswert ausgeben.

## Funktionszuweisung der Klemmen

Bei den Frequenzumrichtern von Mitsubishi Electric können Sie digitale und analoge Ein- und Ausgänge durch Parametereinstellung mit vielfältigen Funktionen belegen. Die jeweiligen Schaltzustände der Klemmen zeigt das Bedienfeld an.

## Datenkommunikation

Die Frequenzumrichter sind heute zur Datenkommunikation standardmäßig mit einer RS485-Schnittstelle ausgerüstet. Viele Geräte verfügen mittlerweile auch über die weit verbreitete USB-Schnittstelle. Beide Schnittstellen dienen hauptsächlich der Datenkommunikation z. B. mit einem Personal Computer.

## Bussysteme

Die Praxis zeigt, dass beim autarken Betrieb eines Frequenzumrichters oft nur ein Bruchteil seiner Funktionen vom Anwender genutzt wird. Häufig arbeiten die Geräte nur als Drehzahlregler, und Informationen über wichtige Anlagendaten sind nicht vorhanden. Durch eine Feldbusanbindung kann über ein zentrales Rechnersystem auf die relevanten Statusdaten aller eingebundenen Frequenzumrichter zugegriffen werden. Das Bussystem vereinfacht dem Anwender die Verdrahtung, Inbetriebnahme, Bedienung, Diagnose und Pflege der gesamten Anlage. Die nun zur Verfügung stehenden Daten ermöglichen erst ein effektives Anlagenmanagement. Auch Störungen sind jetzt bereits im Vorfeld auf geeignete Gegenmaßnahmen vor Ort zu diagnostizieren.

## Auswahl des Bussystems

Für die Auswahl Ihres Bussystems ist entscheidend, welche Anforderungen vom Protokoll des jeweiligen Feldbusses für Ihre Anwendung unterstützt werden müssen. Weiterhin sollten Sie in Betracht ziehen, ob in Ihrem Unternehmen bereits Bussysteme im Einsatz sind, welche Sie bei der Datenkommunikation mit Ihrer neuen Anlage nutzen wollen.

## Ethernet



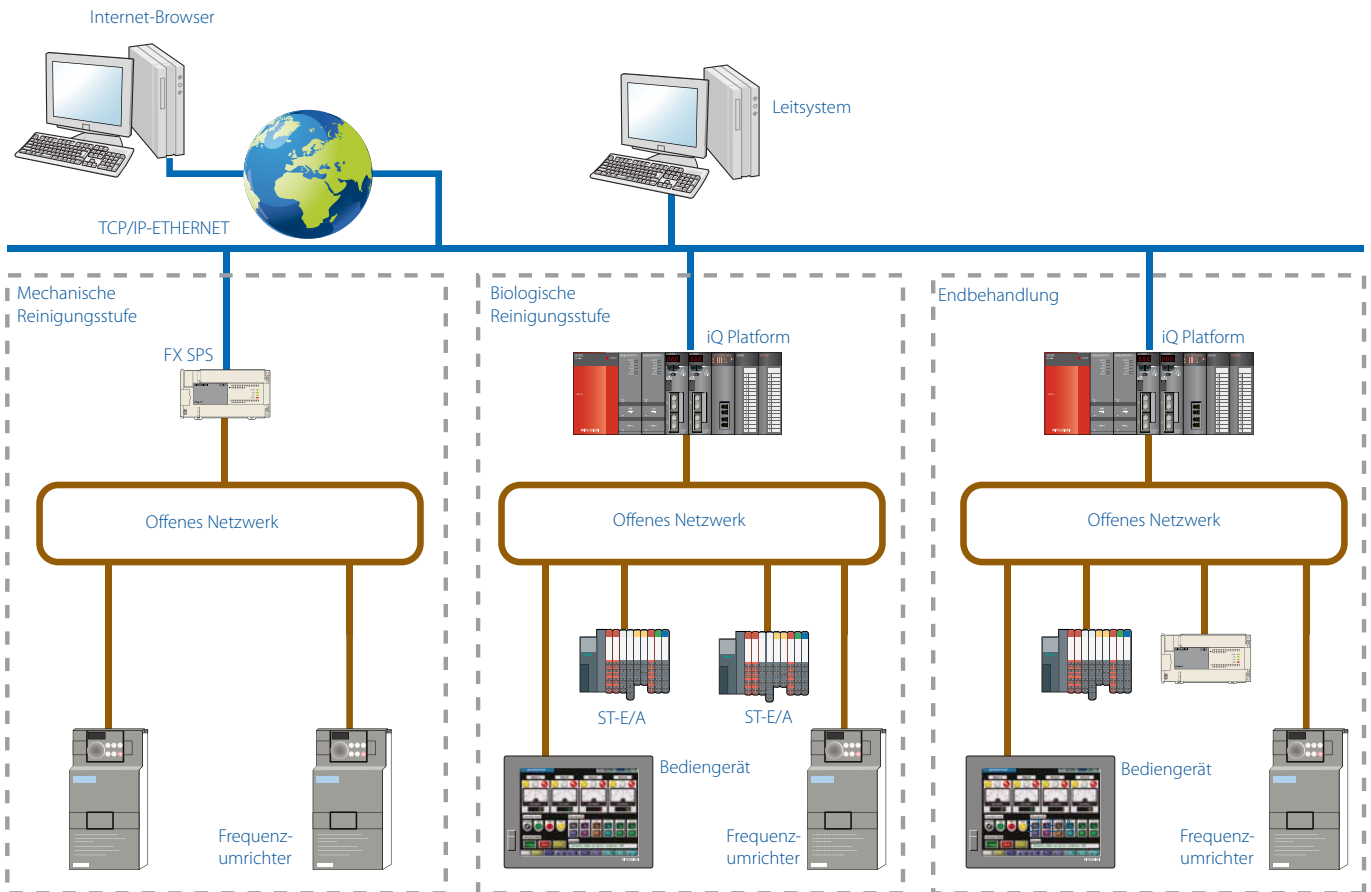
Mit den Frequenzumrichtern von Mitsubishi Electric sind folgende Schnittstellen bzw. Netzwerkverbindungen möglich:

Benennung	Anzahl der Teilnehmer	Max. Übertragungsrate
CC-Link	64/128	1000 MBit/s
DeviceNet	64	0,5 MBit/s
MODBUS®	32	1 MBit/s
Profibus DP	125	12 MBit/s
LONWorks	32.000	1,25 MBit/s
SSCNETIII	96	150 MBit/s
RS485	32	12 MBit/s
USB	1	480 MBit/s
BACnet	Nutzt RS485 als Übertragungsweg	
Ethernet	1024	100 MBit/s

*Die Frequenzumrichter der FR-F/A700-Serie von Mitsubishi Electric verfügen über vielfältige Netzwerkschnittstellen zur Einbindung in komplette Automatisierungskonzepte.*



# Netzwerke



Vernetzte Anlage zur Wasseraufbereitung mit Internet-Anbindung

Die vorstehende Abbildung zeigt Teilbereiche einer vernetzten Anlage mit Frequenzumrichtern zur Wasseraufbereitung, in der verschiedene Komponenten von Mitsubishi Electric zur Steuerung, Bedienung und Überwachung zum Einsatz kommen. Übergeordnet steht das Leitsystem, bei dem alle Prozessdaten der Anlage zusammenlaufen.

Durch die zentrale Verfügbarkeit aller Daten kann die Anlage nun auf maximale Leistung mit minimalem Energieeinsatz optimiert werden. Auch die Erfassung von Störmeldungen in der Leitzentrale hilft bei einer schnellen Diagnose von Fehlern und deren Behebung.

## Datenzugriff über Internet

Wenn die Daten einer Anlage zur Überwachung und Auswertung auch über eine größere Distanz zugänglich sein müssen, besteht die Möglichkeit, auf Einzel- oder Netzwerksysteme über das Internet zuzugreifen. Zu diesem Zweck bietet Mitsubishi Electric spezielle WEB-Server-Module für in Netzwerke integrierte SPS-Systeme an. Diese unterstützen die offenen Standards wie HTML, JAVA, HTTP oder FTP.

## Datenzugriff über Telefon

Eine weitere Möglichkeit zur Fernwartung und -diagnose eines Anlagensystems mit Frequenzumrichtern bietet der Einsatz von speziellen Modems, die den Datenaustausch über Telekommunikationsnetze realisieren. Solche Modems sind sowohl für Mobilfunknetze (GSM) als auch für den Anschluss an das Festnetz geeignet.

*Die smartRTU™ von Mitsubishi Electric sorgt für die sichere und zuverlässige Überwachung sowie Fernsteuerung auch abgelegener Anlagen.*

### Auswahlhilfe

Notieren Sie in der folgenden Merkzeile, für welche Kommunikationsform Sie sich entschieden haben. Übertragen Sie Ihr Resultat und was Sie dafür benötigen in die Auswahlhilfe unter Punkt 17.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?
17	Netzwerk

# Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric im Überblick

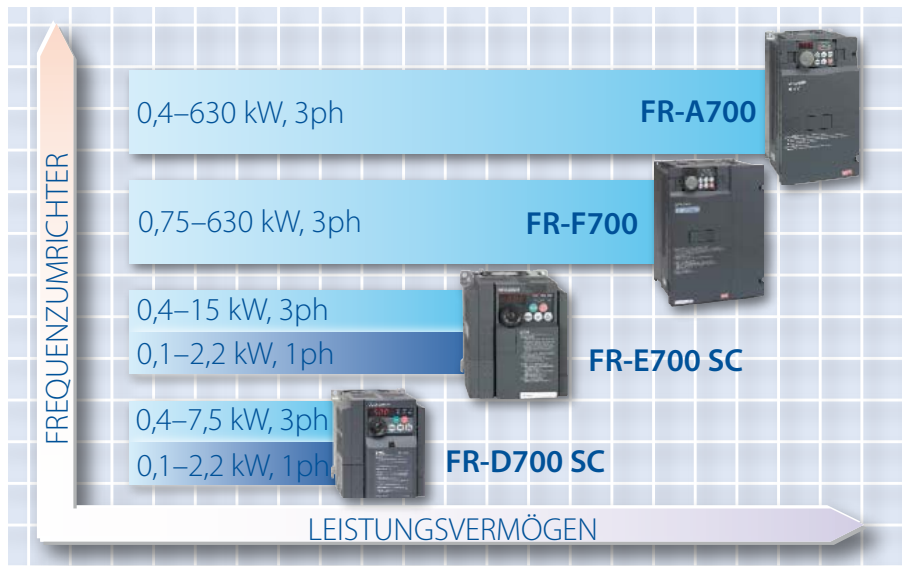
Die große Modellvielfalt der Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric erleichtert dem Anwender die Auswahl des optimalen Frequenzumrichters für seine individuelle Antriebsaufgabe. Grundsätzlich stehen vier verschiedene Frequenzumrichterserien zur Verfügung.

Die Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric ermöglichen standardmäßig eine Überlastfähigkeit von bis zu 250 %. Sie sind mit einer aktiven Überstrombegrenzung ausgerüstet, die kontinuierlich den Motorstrom begrenzt, so dass ein ungewolltes Abschalten des Frequenzumrichters ausgeschlossen ist.

Die Kommunikation der Frequenzumrichter über standardisierte Industriebussysteme wie z. B. Ethernet TCP/IP, Profibus DP, DeviceNet, CC-Link, LON Network, RS485, Modbus RTU ist problemlos möglich. Dies ermöglicht die Einbindung des Frequenzumrichters in komplette Automatisierungskonzepte.

Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric sind wahre Energiesparer, die bei minimaler Eingangsleistung maximale Antriebsleistung erzeugen. Dabei garantiert die Optimum-Excitation-Control-Funktion (OEC), dass der angeschlossene Motor exakt mit dem magnetischen Fluss versorgt wird, der für den effizientesten Betrieb nötig ist. Dies ist besonders im niedrigen Drehzahlbereich von Vorteil.

Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric verfügen über zahlreiche Sonderfunktionen wie z. B. die Kaskadierung von Pumpen, bei der in Abhängigkeit eines gewünschten Sollwerts automatisch Pumpen zu einem System hinzugeschaltet werden. Je ein Motor wird dabei vom Frequenzumrichter geregelt, während er die anderen stufenweise automatisch dem Netz zu- oder abschaltet. Das ist effektives Motormanagement und ein enormer Vorteil, wenn z. B. eine schnelle und flexible Reaktion bei Wasserversorgungssystemen gefragt ist.



## Überlastfähigkeit

Die Überlastfähigkeit gibt den Prozentwert des Gerätenennstroms an, auf den der Ausgangsstrom des Frequenzumrichters kurzzeitig erhöht werden kann.

Frequenzumrichter	Überlastfähigkeit im Zeitraum			Max. Umgebungstemperatur
	60 s	3 s	0,5 s	
FR-D700 SC	150 %	—	200 %	+ 50 °C
FR-E700 SC	150 %	200 %	—	+ 50 °C
FR-F700	SLD	110 %	120 %	+ 40 °C, + 30 °C: FR-F746
	LD	120 %	150 %	+ 50 °C
FR-A700	SLD	110 %	120 %	+ 40 °C
	LD	120 %	150 %	+ 50 °C
	ND	150 %	200 %	+ 50 °C
FR-A741	200 %	250 %	—	+ 50 °C
FR-A741	150 %	200 %	—	+ 50 °C

SLD = Super light duty (sehr leichte Last)  
 LD = Light duty (leichte Last)  
 ND = Normal duty (normale Last)  
 HD = Heavy duty (schwere Last)

*Die Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric sind auf eine Überlastfähigkeit von bis zu 250 % ausgelegt.*

Merkmal	FR-D700 SC	FR-E700 SC	FR-F700	FR-A700
Motornennleistung	0,1–7,5 kW	0,1–15 kW	0,75–630 kW	0,4–630 kW
Gerätenennstrom	0,8–16 A	1,6–30 A	2,3–1212 A	1,5–962 A
Frequenzbereich	0,2–400 Hz	0,2–400 Hz	0,5–400 Hz	0,2–400 Hz
Spannungsversorgung	1-phasig, 200–240 V (-15 %/+10 %) 3-phasig, 380–480 V (-15 %/+10 %)	1-phasig, 200–240 V (-15 %/+10 %) 3-phasig, 380–480 V (-15 %/+10 %)	3-phasig, 380–500 V (-15 %/+10 %)	3-phasig, 380–500 V (-15 %/+10 %)
Schutzart	IP20	IP20	FR-F700: IP00/IP20 FR-F746: IP54	FR-A740: IP00/IP20 FR-A741: IP00
Netzurückspesung	Nein	Nein	Nein	FR-A741
Standard Bedienfeld	Integriert - Digital Dial		Integriert - Digital Dial, abnehmbar	
Safety-Funktion	Ja	Ja	Möglich	Möglich
Schnittstellen Standard	RS485/Modbus RTU	RS485 Modbus RTU/USB	2 x RS485/Modbus RTU	2 x RS485/Modbus RTU/USB
Offene Netzwerke	—	Profibus DP, Device Net, CC-Link	Profibus DP, Device Net, CC-Link, LONWorks, Ethernet, Siemens FLN, Metasys N2	Profibus DP, Device Net, CC-Link, LONWorks, Ethernet
Weitere interne Optionen	—	maximal 1 Optionskarte	maximal 1 Optionskarte 16-Bit DIN, 1 DIN + 2 AOUT+3 ROUT weitere siehe Technischer Katalog	maximal 3 Optionskarten 16-Bit DIN, 1 DIN + 2 AOUT+3 ROUT Pulstachorrückführung weitere siehe Technischer Katalog
Anlaufmoment	150 % bei 1 Hz	200 % bei 0,5 Hz	120 % bei 3 Hz	200 % bei 0,3 Hz
Max. Überlastfähigkeit	150 % für 60 s 200 % für 0,5 s	150 % für 60 s 200 % für 3 s	120 % für 60 s 150 % für 3 s	150 % für 60 s 250 % für 3 s 200 % für 3 s FR A 741
Integrierte SPS	Nein	Nein	Nein	Ja
PI(D) Regler	—	Ja	Ja, mit Sleep-Funktion	—
Zulassungen	UL/CSA/CE/EN/GOST/CCC		FR-F740: CE/UL/cUL/GOST/DNV F746: CE/GOST/CCC	CE/UL/cUL/DNV/GOST/CCC FR-A741: CE/UL/cUL/GOST
Besondere Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensorlose Vektorregelung</li> <li>• V/f-Regelung</li> <li>• Bremstransistor</li> <li>• Sicherer Halt (STO) nach EN 61800-5-2</li> <li>• Energiesparfunktion (Optimum Excitation Control = OEC)</li> <li>• Standzeitüberwachung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V/f-Regelung</li> <li>• Sensorlose Vektorregelung</li> <li>• Bremstransistor</li> <li>• Sicherer Halt (STO) nach EN 61800-5-2</li> <li>• Drehmomentbegrenzung</li> <li>• Ext. Bremshandling</li> <li>• Fliegender Start</li> <li>• Remote I/O</li> <li>• Energiesparfunktion (Optimum Excitation Control = OEC)</li> <li>• Standzeitüberwachung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiesparfunktion (Optimum Excitation Control = OEC)</li> <li>• Vektorregelung</li> <li>• V/f-Regelung</li> <li>• Traverse-Funktion</li> <li>• Motorumschaltung auf Netzbetrieb</li> <li>• Erweiterte PID-Regelung (Multi-Motor-Steuerung)</li> <li>• Zwischenkreisführung der Ausgangsfrequenz</li> <li>• Fliegender Start</li> <li>• Standzeitüberwachung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drehmomentregelung</li> <li>• Lageregelung</li> <li>• Erweiterte sensorlose Vektorregelung</li> <li>• Vektorregelung mit Drehzahlrückführung</li> <li>• Kontinuierlich rückspesiefähig (FR-A741)</li> <li>• Zwischenkreisführung der Ausgangsfrequenz</li> <li>• Integrierte SPS-Funktionalität</li> <li>• Automatische Verstärkungseinstellung</li> <li>• Standzeitüberwachung</li> </ul>
Highlights der Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der in den Frequenzumrichtern von Mitsubishi Electric integrierte Wartungs-Timer ermöglicht eine Überwachung der Lebensdauer unterschiedlicher Komponenten und erspart dem Anwender somit eine regelmäßige Wartung.</li> <li>• Durch die standardmäßige „Optimum Excitation Control = OEC“ können nochmals zusätzliche Energieeinsparungen von 10 % erreicht werden.</li> <li>• Die Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric sind mit einem eingebauten Überstromschutz versehen und ermöglichen somit auch den automatischen Wiederanlauf nach einem Alarm.</li> <li>• Der Vierquadranten-Frequenzumrichter FR-A741 von Mitsubishi Electric besitzt eine integrierte Energierückspesung. Durch die ins Netz zurückgespeiste Bremsenergie können kleinere Antriebssysteme zum Einsatz kommen sowie Platzbedarf und Energiekosten gesenkt werden.</li> <li>• Durch die standardmäßige 200- bzw. 250-prozentige Überlast der meisten Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric bei 50 °C kann oftmals der Umrücker einige Stufen kleiner ausgelegt werden.</li> <li>• In den Frequenzumrichtern von Mitsubishi Electric sind besonders hochwertige temperaturresistente Kondensatoren verbaut (<math>T_{op} = 105\text{ °C}</math>), um einen sicheren Betrieb auch bei widrigen Temperaturbedingungen zu gewährleisten.</li> </ul>			

## Auswahlhilfe

Weitere Informationen über die Geräte und deren Ausstattungsmerkmale finden Sie im Technischen Katalog oder in den Handbüchern der Frequenzumrichter, welche Sie unter [www.mitsubishi-automation.de](http://www.mitsubishi-automation.de) finden. Wählen Sie nun Ihr Frequenzumrichtermodell aus und notieren Sie es in der folgenden Merkleile. Übertragen Sie das Modell im Anschluss unter Punkt 18 in die Auswahlhilfe.

Punkt	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?			
18	<input type="checkbox"/> FR-D700	<input type="checkbox"/> FR-E700	<input type="checkbox"/> FR-F700	<input type="checkbox"/> FR-A700

# Wichtige Normen und Standards

## Konformität mit EG-Richtlinien

In den Mitgliedsstaaten der EU regeln die Maschinenrichtlinie, die EMV-Richtlinie und die Niederspannungs-Richtlinie als Bestandteile der EG-Richtlinien die Sicherstellung der fundamentalen Sicherheitsbedürfnisse und das Tragen der Kennzeichnung „CE“. Alle Frequenzrichter von Mitsubishi Electric verfügen über die CE-Kennzeichnung.

Konformität mit den EG-Richtlinien wird durch die Abgabe einer Konformitätserklärung sowie durch die Anbringung der Kennzeichnung „CE“ am Produkt angezeigt.

## Maschinenrichtlinie

Eine Maschine oder Anlage muss so beschaffen sein, dass bei korrekter Installation und angemessener Wartung und bestimmungsgemäßem Betrieb keine Gefahr von ihr ausgeht. Die Richtlinie 2006/42/EG ist seit dem 29. Dezember 2009 verbindlich anzuwenden.

Einzelkomponenten wie Frequenzrichter unterliegen nicht der Maschinenrichtlinie. Der Anlagenbauer, der einen Frequenzrichter in einer Maschine einsetzt, muss die Einhaltung aller relevanten Normen und Sicherheitsvorschriften garantieren.

## EMV-Richtlinie

Die EMV-Richtlinie 2004/108/EG definiert die elektromagnetische Verträglichkeit von elektrischen Betriebsmitteln. Sie ist seit dem 20.07.2007 zwingend anzuwenden.

Frequenzrichter sind nicht selbständig zu betreibende Geräte. Daher ist die Einhaltung der EMV-Richtlinie weder durch ein CE-Zeichen noch durch eine EG-Konformitätserklärung zu erzielen (siehe Seite 14).

## Niederspannungsrichtlinie

Die Niederspannungsrichtlinie ist neben der EMV-Richtlinie das wichtigste Regelungsinstrument für die Sicherheit elektrisch betriebener Geräte. Elektrische Betriebsmittel müssen bei einer Nennspannung zwischen 50–1000 V AC und zwischen 75–1500 V DC so beschaffen sein, dass bei richtiger Installation und angemessener Wartung bei bestimmungsgemäßem Betrieb keine Gefahr von ihnen ausgeht. Frequenzrichter sind elektrische Betriebsmittel innerhalb des angegebenen Spannungsbereiches und unterliegen somit der Niederspannungsrichtlinie.

## Weitere Normen und Standards

In der Wasserwirtschaft finden auch die folgenden Normen und Standards Anwendung:

### ■ DNP3

(Distributed Network Protocol 3) Spezielles Kommunikationsprotokoll für die Fernwirktechnik. Es dient zur allgemeinen Datenübertragung zwischen Leitsystemen und Unterstationen.

### ■ IEC 60870

Allgemeiner, offener Kommunikationsstandard für die Steuerung und Überwachung von industriellen Anlagen zur Infrastrukturautomation (Schaltanlagenleittechnik, Fernwirktechnik, Netzleittechnik)

### ■ IEC 61131-3

Standard für die SPS-Programmierung. Hierdurch können standardisierte, wieder verwendbare SPS-Programme und Funktionsblöcke erstellt werden.

### ■ NAMUR

(Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie) Eine der zentralen Forderungen der NAMUR-Empfehlung NE 124 ist, dass die Hersteller standardisierte Lösungen anbieten, um ein hohes Maß an herstellerunabhängiger Interoperabilität und Austauschbarkeit sicherzustellen.

### ■ HART

(Highway Addressable Remote Transducer) Globales standardisiertes Protokoll zum Senden und Empfangen von digitalen Informationen zwischen Geräten und Systemen zur Steuerung und Überwachung über analoge Leitungen.

## Erfüllung weltweiter Normen und Standards

Die Frequenzrichter von Mitsubishi Electric sind so konzipiert, dass sie ohne zusätzlichen Aufwand oder Abnahmen weltweit eingesetzt werden können. Das bedeutet:

Einhaltung der weltweiten Standards CE, UL, cUL, Gost, CCC, ISO 9001 und ISO 14001. Die Frequenzrichter FR-F700 und FR-A700 halten zusätzlich den Standard DNV ein.



## Weitere Einsatzmöglichkeiten

Frequenzumrichter sind fester Bestandteil der Factory Automation von Mitsubishi Electric. Seit mehr als 30 Jahren und mit mehr als 18 Millionen verkauften Einheiten weltweit hat Mitsubishi Electric immer wieder neue Akzente auf dem Gebiet der Antriebstechnik gesetzt. Mitsubishi Electric bietet innovative-, offene-, flexible- und zuverlässige Antriebslösungen, die speziell auf die unterschiedlichen Märkte und Anforderungen der Kunden abgestimmt sind.

Im Folgenden geben wir Ihnen weitere Beispiele von typischen Applikationsbereichen für Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric:

- Gebäudetechnik
  - Rauchabsauganlagen
  - Lüftungsregelung
  - Klimaanlage
  - Steuerung von Aufzügen
  - Steuerung von Türantrieben
  - Energieverteilung
- Bauindustrie
  - Baumaschinen
  - Tunnelbohrsysteme
  - Kettenförderer
  - Zuführbänder
  - Kran- und Hubwerke
  - Steinbrecher
- Landwirtschaft
  - Erntemaschinen
  - Sägewerke



- Nahrungsmittelindustrie
  - Zubereitung von Nahrungsmitteln
  - Verarbeitung von Lebensmitteln
  - Palettieren
- Pharmazeutische und chemische Industrie
  - Dosierung
  - Verpackung
  - Handhabungssysteme
- Kunststoffindustrie
  - Antrieb von Spindeln
  - Spritzgussmaschinen
  - Extruder
- Druckindustrie
- Textilindustrie
  - Wickelmaschinen
  - Zuführanlagen
- Verarbeitendes Gewerbe
  - Fräs- und Schleifmaschinen
  - Bohrmaschinen
  - Sägen
  - Hydraulikanlagen
  - Bearbeitungsmaschinen für Metall, Stein, Holz und Kunststoff
  - Werkzeugmaschinen
  - Hochregallager

## Frequenzumrichter

### Technologie und wirtschaftlicher Einsatz

Das Buch „Frequenzumrichter“ entstand in Zusammenarbeit mit Mitsubishi Electric Europe B.V. Es behandelt in leicht verständlicher Sprache die Technologie und den wirtschaftlichen Einsatz von Frequenzumrichtern bei drehzahlverstellbaren Antrieben mit Drehfeldmotoren asynchroner- und synchroner Bauart. Die beschriebenen ausgeführten Systemlösungen mit Frequenzumrichterantrieben zeigen Einsatzmöglichkeiten auf. Dabei werden sowohl der Zwang zum Energiesparen als auch die Senkung der Lebensdauerkosten (Life Cycle Cost; LCC) angesprochen.

Das Buch ist besonders geeignet für Studierende und Praktiker, die sich einen ersten Überblick über die Technik verschaffen wollen.

Fünfte, vollständig überarbeitete, Auflage, 84 Seiten

Prof. Prof. h. c. mult. Dr.-Ing. Peter F. Brosch

Verlag Moderne Industrie, 2008 -  
(Die Bibliothek der Technik ; Bd. 36)

ISBN 978-3-937889-83-2

**Bei Interesse wenden Sie sich einfach an Ihren zuständigen Ansprechpartner oder an eines unserer Kunden-Technologie-Center!**





# Index

## Symbole

4-Leiter-Netz .....	12
5-Leiter-Netz .....	12
10er-Tastatur .....	39
87-Hz-Betrieb .....	37

## A

Ableitströme .....	31
Abschirmkabel .....	28
Abschirmung .....	28
Aerosole .....	26
Aggressive Gase .....	26
Aktivfilter .....	20
Alarmanzeige .....	39
Allstromsensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung .....	31
Aluminium-Ummantelung .....	28
Analogausgang .....	40
Analogeingang .....	40
Anlagenverschleiß .....	5
Anlaufstrombegrenzung .....	5
Arrhenius-Gesetz .....	24
Asynchronmotoren .....	32
Ausfallsicherheit .....	5
Ausgangsfilter .....	21
Auslösecharakteristik .....	31
Auslöseströme .....	31
Automatische Verstärkungseinstellung .....	43
Auto-Tuning-Abgleich .....	39

## B

BACnet .....	40
Bauindustrie .....	45
Bedieneinheit .....	39
Betreiberverantwortung .....	15
Betriebspunktanpassung .....	5
Bezugspotential .....	30
Blindleistung .....	18
Blindstromkompensation .....	18
Brandschutz .....	31
Bussysteme .....	40

## C

CC-Link .....	40
CE-Kennzeichnung .....	44
CEMEP Klassifizierung (EFF) .....	34
Chemische Industrie .....	45

## D

Dateiverwaltung .....	39
Datenkommunikation .....	40
Datenzugriff über Internet .....	41
Datenzugriff über Telefon .....	41
DeviceNet .....	40
Diagnose .....	39
Drehimpulsgeber .....	29

Drehmomentregelung .....	43
Drehzahlrückführung .....	43
Druckindustrie .....	45
Du/dt-Ausgangsfilter .....	21
Durchschlagsfestigkeit .....	21

## E

EG-Richtlinien .....	44
Eigenbelüfteter Motor .....	35
Eisenverluste .....	35
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) .....	14
EMV-Richtlinie .....	44
Energieeinsparung .....	5
Erdung .....	30
Erdungspunkt .....	30
Erweiterter Regelbereich .....	5
Ethernet .....	40
Explosionsschutz .....	26

## F

Fehleranalyse .....	39
Fehlerstrom .....	31
Fehlerstrom-Schutzeinrichtung .....	31
Feldbusanbindung .....	40
Feldbusprotokoll .....	40
Fernüberwachung .....	5
Festnetz .....	41
FI-Schalter .....	31
Fliegender Start .....	43
Fourier-Analyse .....	17
FR-A700 .....	42, 43
FR-Configurator .....	39
FR-D700 SC .....	42, 43
FR-E700 SC .....	42, 43
Fremdbelüfteter Motor .....	35
Frequenzbereich .....	43
Frequenzrichterdiagnose .....	39
Frequenzrichterserien .....	42
FR-F700 .....	42, 43
FSU .....	22
FTP .....	41
Funktionszuweisung .....	40

## G

Galvanische Kopplung .....	14
Gebäudetechnik .....	45
Generatorischer Betrieb .....	36
Gleichfehlerstrom .....	31
Gleichstromdrossel .....	20
GSM .....	41

## H

Harmonische .....	17
HF-Dämpfung .....	29
HF-Impedanz .....	29
HF-Kontakt .....	29

Hitzeschild .....	24	Motorausgangsfiler .....	21
HTML .....	41	Motorischer Betrieb .....	36
HTTP .....	41	Motorkabel .....	21, 29
<b>I</b>		Motorkabellänge .....	29
Induktive Kopplung .....	14	Motorkühlung .....	35
Industriebereich .....	15	Motornennleistung .....	43
Internationale Effizienzklassen (IE) .....	34	Motorschutzschalter .....	35
IPM Motor .....	32	<b>N</b>	
IP-Schutzklassen .....	23	Nahrungsmittelindustrie .....	45
Isolationsfehler .....	26	Nennspannungsklasse .....	21
IT-Netz .....	13	Nennstrom .....	31
<b>J</b>		Netzanalyse .....	19
JAVA .....	41	Netzeingangsdrossel .....	20
<b>K</b>		Netzformen .....	12
Kabelführung .....	27	Netzurückwirkung .....	17
Kabelschirmung .....	28	Netzwerke .....	41
Kabelverschraubung .....	28	Niederspannungsnetz .....	15
Käfig-Läufer Motor .....	33	Niederspannungsrichtlinie .....	44
Kapazitive Kopplung .....	14	Normen .....	44
Kommunikation .....	40	Not-Halt-Taster .....	38
Konstante Leistung im Betriebsbereich .....	11	<b>O</b>	
Konstantes Drehmoment .....	10	Oberschwingungsmessung .....	19
Konvektionskühlung .....	25	Oberwellenfilter .....	20
Kopplungsarten .....	14	Offenes Netzwerk .....	41
Kopplungswiderstand .....	28	Ölnebel .....	26
Kosteneinsparung .....	5	Online-Hilfe .....	39
Kühlluftführung .....	25	Open-Collector-Ausgang .....	40
Kühlsysteme .....	25	Optimum Excitation Control (OEC) .....	43
Kunststoffindustrie .....	45	Oszilloskopanzeige .....	39
Kupferdrahtgeflecht .....	28	<b>P</b>	
Kupfergewebeband .....	29	Parametereinstellung .....	39
Kurzbremssrampe .....	38	Passivfilter .....	20
Kurzschluss .....	31	PE-Klemme .....	30
<b>L</b>		Pharmazeutische Industrie .....	45
Lageregelung .....	43	Potentiometer .....	40
Landwirtschaft .....	45	Profibus DP .....	40
Lastprofil .....	10	PTC-Widerstand .....	10
LCD-Anzeige .....	39	Pulsweitenmodulation .....	16
LC-Serienschwingkreise .....	20	Pumpen .....	10
Lebenszykluskosten (LCC) .....	8	Pumpenkaskadierung .....	5
Leistungsschutzschalter .....	31	<b>Q</b>	
Leistungsteil .....	27	Quadratisch steigendes Drehmoment .....	10
Leitfähige Türdichtung .....	27	<b>R</b>	
Leitungsgebundene Störung .....	27	Relaisausgang .....	40
Leitungsquerschnitt .....	27	Relative Luftfeuchtigkeit .....	26
Lichtvorhang .....	38	Residual Current protective Device (RCD) .....	31
Linear steigendes Drehmoment .....	11	Resonanzen .....	18
LONWorks .....	40	RGT-Regel .....	24
Losbrechmoment .....	11	RS485 .....	40
Luftkühlung .....	25	<b>S</b>	
<b>M</b>		Safe-Stop-Kategorie 0 .....	38
Maschinenrichtlinie .....	44	Safe-Stop-Kategorie 1 .....	38
Masseband .....	27	Safe Torque Off (STO) .....	38
Massefläche .....	28	Schaltschrankheizung .....	24
Metallgitter .....	27	Schaltschrankmontage .....	22
Metallschaltschrank .....	27	Schaltvorgänge .....	16
Mobilfunknetze .....	41	Schaltzeiten .....	38
MODBUS .....	40	Scheinleistung .....	18
Modem .....	41	Schirmabdeckung .....	28
Montageabstände .....	24		

Schirmkontakt	28
Schirmwirkung	28
Schmutz	26
Schnittstellen	40
Schutzart der Frequenzrichter	43
Schutzerdung	30
Schutzklasse	5
Schutzleiterquerschnitt	30
Schutzschalter	31
Sensorlose Vektorregelung	43
Setup-Software	39
Sicher abgeschaltetes Moment	38
Sicherer Halt	38
Sicherer Stopp 1	38
Sicheres Stillsetzen	38
Sicherheitsfunktionen	38
Sicherheitsmodul	38
Sicherungsselement	31
Signalleitung	29
Sinus-Ausgangsfilter	21
Sinusschwingung	17
Spannungs-Ripple	21
Spannungsversorgung der Frequenzrichter	43
SS1	38
SSCNETIII	40
Standards	44
Standzeiten	5
Standzeitüberwachung	43
Staub	26
Sternpunkt (Neutralleiter)	12
Steuerleitung	29
Störausstrahlungen	30
Störeinstrahlungen	30
Störfestigkeit	16
Störgeräusche	18
Störquelle	14
Störsenke	14
Störungen	14
Strahlungsgebundene Störung	14
Strahlungskopplung	14
Stromwärmeverluste	35
Synchronmotoren	32
Systemeinstellung	39

## T

Technische Daten Frequenzrichter	43
Telekommunikationsnetz	41
Terra	13
Testbetrieb	39
THDI	19
Thermische Verluste	35
Thermoschalter	35
TN-C-Netz	12
TN-Netz	12
TN-S-Netz	12
Total Harmonic Distortion Current	19
Transformatoren	18
Traverse-Funktion	43
TT-Netz	12

## U

Überlastfähigkeit	42
Umgebung	15
Umgebungskategorie C1	15
Umgebungskategorie C2	15

Umgebungskategorie C3	15
Umgebungskategorie C4	15
Umgebungsnormen	15
Umgebungstemperatur	24
Unterbaueinheit	22
USB	40

## V

Vektorregelung	43
Verarbeitendes Gewerbe	45
Verlustwärme	35
Verzerrung	19
V/f-Regelung	43

## W

Wandmontage	22
Wärmetauscher	25
WEB-Server-Modul	41
Wirkleistung	18

## Z

Zwangsbelüftung	24
Zwischenkreisdrossel	20
Zwischenkreisführung der Ausgangsfrequenz	43



# Auswahlhilfe

Diese Auswahlhilfe gibt Ihnen die Gewissheit, alle relevanten Aspekte für einen sicheren und kostengünstigen Antrieb berücksichtigt zu haben.

Wählen Sie mit Hilfe der Merkzeile, die sich am Ende jedes Themas befindet, die geeig-

neten Kriterien und Komponenten für den gewünschten Antrieb aus oder übertragen Sie die Resultate Ihrer Betrachtungen direkt in die Auswahlhilfe. Vermerken Sie in der Spalte „Details“ konkrete Merkmale und Maßnahmen, die für Ihren geplanten Antrieb

von Bedeutung sind, wie z. B. die Leistung des gewählten Frequenzumrichtermodells und die passende Wahl der Filter.

Punkt	Kriterium	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?				Details
<b>Das Lastprofil</b>						
1	Festlegung der Lastkennlinie	Konstantes Drehmoment	Linear steigendes Drehmoment	Quadratisch steigendes Drehmoment	Konstante Leistung im Betriebsbereich	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Prüfung der Netzversorgung</b>						
2	Festlegung der Netzform	TN-S-Netz	TN-C-Netz	TT-Netz	IT-Netz	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	EMV-Filter	Kategorie C1	Kategorie C2	Kategorie C3	Kategorie C4	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Zwischenkreisdrossel					
	Netzeingangsdrossel					
	Passivfilter					
	Aktivfilter					
<b>Motor und Verkabelung</b>						
5	Motorausgangsfiler					
	Nennspannungsklasse und Durchschlagsfestigkeit des Motorkabels					
<b>Umgebungsbedingungen des Einsatzortes</b>						
6	Einbauort/Montagekonzept					
7	Kühl-/Heizsystem	Natürliche Belüftung		Kühlkörper	Zwangsbelüftung	Wärmetauscher
		geschlossen oder offen	allseitig geschlossen			
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Luftfeuchtigkeit					
	Belastung durch Staub, Schmutz, Öl, aggressive Gase					



Punkt	Kriterium	Was benötigen Sie bzw. was liegt vor?	Details
-------	-----------	---------------------------------------	---------

### Anschluss des Frequenzumrichters

9	EMV-gemäße Schaltschrankauslegung		
	Leitungsquerschnitte für Leistungsteil		
	Kabelführung		
10	Abgeschirmtes Motorkabel		
	Abgeschirmte Signalleitungen		
11	Erdungsart		
12	Schutzschalter		
	Fehlerstromschutz-einrichtungen		

### Motor und Motorschutz

13	Art des Motors		
	Kennwerte des Motors		
	Art der Motorkühlung		
	Motorschutz-Thermoschalter		

### Auswahl des Frequenzumrichters

14	Bremswiderstand	Brems-Chopper <input type="checkbox"/>	Externer Bremswiderstand <input type="checkbox"/>				
	Bremseinheit						
	Netzurückspeisung	Externe Netzurückspeisung <input type="checkbox"/>	FR-A741 <input type="checkbox"/>				
15	Sicherheitsmodul						
16	Integrierte Standard-Bedieneinheit						
	PU07						
	FR-Configurator						
17	Netzwerk						
18	Frequenzumrichtermodell	FR-D700 <input type="checkbox"/>	FR-E700 <input type="checkbox"/>	FR-F700 <input type="checkbox"/>	FR-A700 <input type="checkbox"/>	FR-A741 <input type="checkbox"/>	

# Global partner. Local friend.

## DEUTSCHLAND

MITSUBISHI ELECTRIC  
EUROPE B.V.  
Gothaer Straße 8  
**D-40880 Ratingen**  
Telefon: (0 21 02) 4 86-0  
Telefax: (0 21 02) 4 86-11 20  
[www.mitsubishi-automation.de](http://www.mitsubishi-automation.de)

## KUNDEN-TECHNOLOGIE-CENTER

MITSUBISHI ELECTRIC  
EUROPE B.V.  
Revierstraße 21  
**D-44379 Dortmund**  
Telefon: (02 31) 96 70 41-0

MITSUBISHI ELECTRIC  
EUROPE B.V.  
Kurze Straße 40  
**D-70794 Filderstadt**  
Telefon: (07 11) 77 05 98-0

MITSUBISHI ELECTRIC  
EUROPE B.V.  
Lilienthalstraße 2 a  
**D-85399 Hallbergmoos**  
Telefon: (08 11) 99 87 4-0

## ÖSTERREICH

GEVA  
Wiener Straße 89  
**AT-2500 Baden**  
Telefon: (0 22 52) 8 55 52-0

## SCHWEIZ

Omni Ray AG  
Im Schörlü 5  
**CH-8600 Dübendorf**  
Telefon: (0 44) 802 28 80



Mitsubishi Electric Europe B.V. / FA - European Business Group / Gothaer Straße 8 / D-40880 Ratingen / Germany /  
Tel.: +49(0)2102-4860 / Fax: +49(0)2102-4861120 / [info@mitsubishi-automation.de](mailto:info@mitsubishi-automation.de) / [www.mitsubishi-automation.de](http://www.mitsubishi-automation.de)

Art.-Nr. 270298-A / 09.2013 / Technische Änderungen vorbehalten / Alle eingetragenen Warenzeichen sind urheberrechtlich geschützt.

