

# Planung und Projektierung von Antrieben für Anwendungen in der Chemie

## 690 V

Modulare  
Frequenzumrichter  
bieten integrierte  
Sicherheitsfunktionen  
nach Maß



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	3	<b>1. und 2. Umgebung</b> .....	22
<b>Hilfestellungen bei Planung und Auslegung</b> .....	5	Der Einsatzort entscheidet	22
<b>Kosten senken und Komfort erhöhen</b> .....	6	<i>Keine Kompromisse</i>	22
<b>Sind gleiche Wirkungsgrade wirklich gleich?</b> .....	7	<b>Maßnahmen zum Schutz des Netzes</b> .....	23
<b>Filter bei Wirkungsgrad und Effizienz mit berücksichtigen</b> .....	8	Blindstromkompensation	23
<b>Drehzahlregelung: großes Potenzial – schnell umgesetzt</b> .....	9	Netztransienten	23
<i>Energieeinsparung</i>	9	<b>Betrieb am Transformator oder Generator</b> .....	24
<i>Anpassung des <math>\cos \varphi</math></i>	9	Maximale Transformatorauslastung	24
<i>Optimierter Betrieb im</i>	9	<i>Belastung des Transformators</i>	24
<i>Automatische Energieoptimierung</i>	9	<i>Spannungsqualität</i>	24
<i>Reduzierung von Startvorgängen</i>	9	<i>Beim Betrieb von Oberschwingungserzeugern gelten die Grenzen wie folgt</i>	24
<b>Kostensenkung über gesamten Lebenszyklus</b> .....	10	<b>Umgebungs- und Umweltbedingungen</b> .....	25
<i>Schonender Anlagenbetrieb</i>	10	Der richtige Einbauort	25
<b>Vorhandenes Einsparpotenzial in der Praxis realisieren</b> .....	11	Schaltschrank- oder Wandmontage?	25
<b>Netzversorgung</b> .....	12	<b>IP Schutzklassen</b> .....	26
<i>TN-Netze</i>	12	Struktur der IP-Schutzklassen nach IEC 60529	26
<i>TN-S</i>	12	<b>Kühlkonzept</b> .....	27
<i>TN-C</i>	12	<i>Umgebungstemperaturen einhalten</i>	27
<i>TT-Netze</i>	12	<i>Kühlung</i>	27
<i>IT-Netze</i>	12	<b>Besondere Anforderungen</b> .....	28
<b>Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)</b> .....	13	Aggressive Luft oder Gase	28
<i>Elektromagnetische Einflüsse wirken in beide Richtungen</i>	13	Staubbelastung	29
<i>Zwei Möglichkeiten der Reduzierung</i>	13	<i>Kühllüfter</i>	29
<i>Kabelgebundene und Strahlungseinflüsse unterscheiden</i>	14	<i>Filtermatten</i>	29
<i>Koppelungsmechanismen zwischen Stromkreisen</i>	14	<b>Ex-Bereich</b> .....	30
<b>Netzqualität</b> .....	15	Ex-gefährdete Bereiche	30
<i>Niederfrequente Netzurückwirkungen</i>	15	<b>Sicherheitsfunktionen in Antrieben</b> .....	32
<i>Versorgungsnetze in Gefahr</i>	15	<i>Motor-Alleinschutz</i>	32
<i>Gesetzliche Grundlage sichert Qualität</i>	15	<i>Explosionsschutzkonzept für drehzahlvariable Antriebe der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“</i>	32
<i>Wie entstehen die Netzurückwirkungen</i>	15	<i>Kompakt</i>	33
<b>Niederfrequente Netzurückwirkungen</b> .....	16	<i>Flexibel</i>	33
<i>Auswirkungen von Netzurückwirkungen</i>	16	<i>Sicher</i>	33
<i>Unterspannungswarnungen</i>	16	<i>Günstig</i>	33
<i>Erhöhte Verluste</i>	16	<i>Universell</i>	33
<i>Gibt es netzurückwirkungsfreie Frequenzumrichter?</i>	16	<b>Motoreignung für FU-Betrieb</b> .....	34
<b>Reduzierung von Netzurückwirkungen</b> .....	17	Auswahlkriterien	34
<i>Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis</i>	17	<i>Isolationsbeanspruchung</i>	34
<i>Passive Filter</i>	17	<b>Ausgangsfiler</b> .....	35
<i>Nachteile passiver Filter</i>	17	Sinus- oder du/dt-Filter	35
<b>Aktive Filter reduzieren Oberschwingungen</b> .....	18	<i>Funktionen und Aufgaben von Sinusfiltern</i>	35
<i>Aktive Filter</i>	18	<i>Sinusfilter kommen bei folgenden Anwendungen zum Einsatz:</i>	35
<i>Vorteile aktiver Filter</i>	18	<b>du/dt-Filter</b> .....	36
<i>Nachteile aktiver Filter</i>	18	du/dt-Filter – einfacher und kostengünstig	36
<b>Vor- und Nachteile der Lösungen</b> .....	19	<b>Motor und Verkabelung</b> .....	37
<i>Active Front End und Low Harmonic Drive</i>	19	Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) von Motoren	37
<i>Vorteile AFE / LHD</i>	20	<i>Verbindliche Mindestwirkungsgrade</i>	37
<i>Nachteile AFE / LHD</i>	20	<i>Betroffene Drehstrommotoren</i>	37
<b>Hochfrequente Funkstörungen</b> .....	21	<i>Alternativen zu den geforderten IE3-Motoren</i>	37
<i>Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte</i>	21	<i>Motorkompatibilität</i>	37
		<i>Getriebemotoren</i>	37

<b>IE-Klassifizierung von Motoren</b> .....	38	<b>Weitere Auswahlfaktoren</b> .....	55
<i>Vorteil PM-Motoren – mehr Energieeffizienz</i>	38	Prozessregler	55
<b>Praxis - Motorkabel</b> .....	39	<b>VLT® AutomationDrive FC 300</b> .....	56
<i>Kabeldimensionierung</i>	39	<i>Alle Anschlussspannungen</i>	56
<i>Energiesparen</i>	39	<i>Sicherer Stopp</i>	56
<i>Kabel mit geeigneter Schirmung</i>	39	<b>VLT® High Power Drive für industrielle</b>	
<b>Praxis - Erdungsmaßnahmen</b> .....	40	<b>Anwendungen</b> .....	57
Bedeutung von Erdungsmaßnahmen	40	Hohe Leistung und branchengerechte	
<i>Leitfähige Materialien</i>	40	Funktionalität	57
<i>Kontaktstellen</i>	40	<i>VLT® AutomationDrive – 90 bis 1400 kW</i>	57
<i>Ausführung</i>	40	<i>Leistungsbereich</i>	58
<b>Schirmungsmaßnahmen</b> .....	41	<i>Spannungsbereich</i>	58
Bedeutung von Schirmungsmaßnahmen	41	<i>Gehäuse</i>	58
<b>Schirmungsmaßnahmen</b> .....	42	<i>Verfügbare VLT® Plattformen</i>	58
<i>Masseverbindung</i>	42	<i>Kühlung über rückseitigen</i>	58
<i>Motorzuleitung</i>	42	<b>Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter</b> .....	59
<i>Schirm als Masseleiter?</i>	42	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	60
<b>Auslegung der Frequenzumrichter</b> .....	43	<i>Der Antriebsspezialist</i>	64
Basisauslegung	43	<i>Innovative und intelligente</i>	
<i>Konstantes oder quadratisches Drehmoment</i>	43	<i>Frequenzumrichter</i>	64
<b>Lastkennlinien verschiedener Anwendungen</b> .....	44	<i>Vertrauen Sie Experten –</i>	
Zuordnung: Kennlinie zur Applikation	44	<i>weltweit.</i>	64
<i>Anwendungen mit konstantem</i>	44		
<i>Anwendungen mit quadratischem Drehmoment</i>	44		
<b>Sonderfall Mehrmotorenbetrieb</b> .....	45		
<i>Auslegung</i>	45		
<b>EMV-Maßnahmen umsetzen</b> .....	46		
Von der Theorie zur Praxis	46		
Funkstörungen	46		
<i>Empfehlungen für die Praxis</i>	46		
Netzurückwirkungen	47		
<i>Zwischenkreis beeinflusst Netzurückwirkungen</i>	47		
<i>Netzdrosseln</i>	47		
<b>EMV-Maßnahmen umsetzen</b> .....	48		
<i>Passive Filter</i>	48		
<i>Aktive Filter, Active Front End und Low Harmonic</i>			
<i>Drives</i>	48		
<i>12-, 18-, 24- pulsige Gleichrichter</i>	48		
<b>FI-Schutzschalter</b> .....	49		
Allstromsensitive Schutzeinrichtung	49		
<i>Höhe des Ableitstromes</i>	49		
<b>Erdung und Motorschutz</b> .....	50		
Erdungsmaßnahmen in der Praxis	50		
<b>Bedienung und Datenanzeige</b> .....	51		
Einfaches Bedienkonzept	51		
<b>Bedienung und Anzeige</b> .....	52		
<i>Lokale Bedienung</i>	52		
<i>Übersichtliche Anzeige</i>	52		
<i>Einheitliches Konzept</i>	52		
<i>Integriert in die Schaltschranktür</i>	52		
<b>Bedienung und Parametrierung mittels PC</b> .....	53		
<i>Erweiterte Möglichkeiten</i>	53		
<b>Datenaustausch</b> .....	54		
<i>Bussysteme</i>	54		
<i>Besseres Alarmmanagement</i>	54		

# Hilfestellungen bei Planung und Auslegung

Die Danfoss Planerfibel Chemie richtet sich an Chemieunternehmen sowie Anlagen- und Schaltanlagenbauer. Sie ist als umfangreiches Hilfsmittel für Fachplaner (MSR/Elektro) und Projektoren konzipiert, zu deren Aufgabenbereich die Projektierung von drehzahlgeregelten Antrieben mittels Frequenzumrichter für Chemieanlagen und Anlagen in der Kosmetik sowie Pharmazie gehört.

Unsere Spezialisten haben den Inhalt dieser Planerfibel mit Fachplanern der Branche abgestimmt, um wichtige Fragen zu beantworten und größtmöglichen Nutzen für die Anlagenbauer und Betreiber der Anlagen zu erreichen. Die Beschreibungen der einzelnen Kapitel sind bewusst kurz gehalten. Sie dienen nicht als um-

fangreiche Erläuterungen technischer Sachverhalte, sondern weisen nur auf diese Sachverhalte und deren besondere Anforderungen bei der Projektierung hin. Somit gibt die Planerfibel Chemie Hilfestellung bei der Projektierung frequenz geregelter Antriebe, aber auch bei der Bewertung technischer Ausstattung unterschiedlicher Frequenzumrichterfabrikate.

Bei der Projektierung drehzahl geregelter Antriebe treten häufig Fragen auf, die nicht unmittelbar mit den eigentlichen Aufgaben eines Frequenzumrichters verknüpft sind. Vielmehr betreffen sie die Einbindung dieser Geräte in das Antriebssystem und die Gesamtanlage. Daher ist es absolut notwendig, nicht nur den Frequenzumrichter, sondern das ge-

samte Antriebssystem zu betrachten. Dieses System besteht aus Motor, Frequenzumrichter, Verkabelung und den Rahmenbedingungen des Umfelds, zu denen unter anderem die Netzversorgung und die Umweltbedingungen sowie Sicherheitsrichtlinien zählen.

Der Projektierung und Auslegung drehzahl geregelter Antriebssysteme fällt eine entscheidende Bedeutung zu. Der Planer oder Projektor stellt genau in diesem Stadium die Weichen für die Qualität des Antriebssystems, für die Betriebs- und Wartungskosten sowie für den sicheren und störungsarmen Betrieb. Durchdachtes Projektieren im Vorfeld hilft, unerwünschte Nebeneffekte im späteren Betrieb des Antriebssystems zu vermeiden.

## Wer Frequenzumrichter projektiert, sollte sich bereits im Vorfeld über die technischen Rahmenbedingungen dieser Geräte Gedanken machen.

Die Planerfibel Chemie ist ein optimales Werkzeug, um für die größtmögliche Planungssicherheit zu sorgen und damit zur Betriebssicherheit der gesamten Anlage beizutragen.

Sie teilt sich in zwei Bereiche auf. Der erste Teil bietet Hintergrundwissen zum Einsatz von Frequenzumrichtern im Allgemeinen. Dazu zählen die Themen Energieeffizienz, gesenkte Lebenszykluskosten und längere Lebensdauer.

Im zweiten Teil führt Sie die Planerfibel Chemie durch die notwendigen Schritte der Planung und Projektierung einer Anlage und gibt Tipps zum Nachrüsten einer Drehzahlregelung in bestehenden Anlagen. Sie erhalten alle notwendigen Informationen über die Punkte, die Sie für einen sicheren Betrieb der Anlage bei Auswahl und Dimensionierung der Netzversorgung, der Umgebungs- und Umweltbedingungen, beim Motor und dessen Verkabelung sowie

der Auswahl und Dimensionierung des Frequenzumrichters beachten müssen. Wenn Sie alle Inhalte dieser Broschüre bei der Projektierung berücksichtigen, liegt Ihnen am Ende eine optimale Konfiguration der Anlage für einen sicheren Betrieb vor.



# Kosten senken und Komfort erhöhen

Eine elektronische Drehzahlregelung kann im Vergleich zu mechanischen Lösungen viel Energie einsparen und den Materialverschleiß erheblich verringern. Beides reduziert die Betriebskosten deutlich. Je häufiger Antriebssysteme im Teillastbetrieb arbeiten, desto höher ist das Einsparpotenzial bei Energie- und Wartungskosten. Auf Grund des hohen Energieeinsparpotenzials amortisieren sich die Mehrkosten für eine elektronische Drehzahlregelung bereits innerhalb weniger Monate. Dabei beeinflussen moderne Lösungen den Prozess und die Verfügbarkeit des Gesamtsystems an vielen Stellen äußerst positiv.

- **Hohes Energieeinsparpotenzial**

Die Regelung des Durchflusses, Drucks oder Differenzdrucks erfolgt bei einer elektronischen Drehzahlregelung angepasst an den tatsächlich benötigten Bedarf. In der Praxis laufen Anlagen überwiegend im Teillastbetrieb und nicht unter Volllast. Die Differenz zwischen Voll- und Teillastbetrieb bestimmt, bei Strömungsmaschinen mit quadratischer Drehmomentkennlinie, die Höhe der Energieeinsparung. Je größer diese ausfällt, desto kürzer ist die Amortisationszeit. In der Regel liegt sie bei ca. 12 Monaten.

- **Anlaufstrombegrenzung**

Direktes Einschalten von Anlagen am Versorgungsnetz erzeugt

Stromspitzen, die das Sechs- bis Achtfache des Nennstroms erreichen können. Frequenzumrichter begrenzen den Anlaufstrom auf den Motornennstrom. Dadurch eliminieren sie die Stromspitzen beim Einschalten und vermeiden Spannungseinbrüche durch eine kurzzeitig sehr hohe Belastung des Versorgungsnetzes. Durch das Vermeiden dieser Stromspitzen ist der Anschlusswert der Anlage beim Energieversorger geringer; dies senkt die Bereitstellungskosten und eventuelle  $E_{max}$ -Regelungen entfallen.

- **Reduzierter Anlagenverschleiß**

Frequenzumrichter starten und stoppen Motoren sanft und stufenlos. Anders als beim direkt am Netz betriebenen Motor tritt beim Frequenzumrichterbetrieb kein Momenten- oder Laststoß auf. Das schont den gesamten Antriebsstrang. So reduziert die Drehzahlregelung den Verschleiß deutlich. Die Reparatur- und Wartungskosten sinken dank längerer Betriebsintervalle und geringerem Materialverschleiß.

- **Erweiterter Regelbereich**

Frequenzumrichter bieten die Möglichkeit, Motoren in den sogenannten übersynchronen Bereich (Ausgangsfrequenz > 50 Hz) zu regeln. Dadurch lässt sich eine kurzzeitige Leistungssteigerung erreichen. In wie weit übersynchroner Betrieb möglich ist, hängt vom

maximalen Ausgangsstrom und der Überlastfähigkeit des Frequenzumrichters ab. In der Praxis werden häufig Pumpen, Verdichter und Lüfter mit einem Frequenzbereich von 55 - 87 Hz betrieben.

- **Geringere Geräuschentwicklung**

Anlagen im Teillastbetrieb laufen leiser. Drehzahl geregelter Betrieb senkt die Geräuschentwicklung daher deutlich.

- **Erhöhte Lebensdauer**

Antriebssysteme im Teillastbetrieb unterliegen einer geringeren Abnutzung, die sich in einer längeren Lebensdauer bemerkbar macht. Vorteilhaft wirkt sich auch der redu-

*Der Betrieb im übersynchronen Bereich ist unbedingt mit dem Motorenhersteller zu klären!*

zierte, optimierte Systemdruck an den Rohrleitungen aus.

- **Nachträglicher Einbau**

Frequenzumrichter lassen sich nachträglich mit wenig Aufwand in bestehende Antriebssysteme integrieren.



# Sind gleiche Wirkungsgrade wirklich gleich?

## Genaueres Hinsehen spart bares Geld

Beim Vergleich von Wirkungsgraden gibt es auf den ersten Blick keine großen Unterschiede zwischen verschiedenen Geräten. Aber ist dem wirklich so? Haben zwei der Leistung und dem Wirkungsgrad nach identische Geräte die gleichen Verluste?

Der Wirkungsgrad von Frequenzumrichtern berechnet sich aus dem Verhältnis von abgegebener zu zugeführter Leistung. Seine Angabe erfolgt üblicherweise in gerundeten Prozentzahlen, also ohne Nachkommastellen. Im schlechtesten Fall unterscheiden sich also die Umrichter mit gleichem Wirkungsgrad um fast 1 %.

Um die Wirkungsgrade verschiedener Umrichter vergleichen zu können, muss dem Anwender bekannt sein, unter welchen Bedingungen sie der Hersteller ermittelt hat. Bei Umrichtern wird üblicherweise zwischen normaler Überlast (110 %) und hoher Überlast (160 %) unterschieden. Außerdem geht der Nennstrom des Geräts in die Betrachtung mit ein, ebenso wie ein Betrieb im Teillastbereich sowie Messtoleranzen bei der Ermittlung der Wirkungsgrade.

Wesentlich greifbarer sind die Angaben zur Verlustleistung eines Geräts. Natürlich gehen auch in sie die Betriebsart und der Nennstrom des Geräts ein. Da aber Betreiber und Anlagenbauer auf ihrer Basis auch den Klimatisierungsbedarf eines Schaltschranks ermitteln, kann sie als vergleichsweise verlässlich gelten.

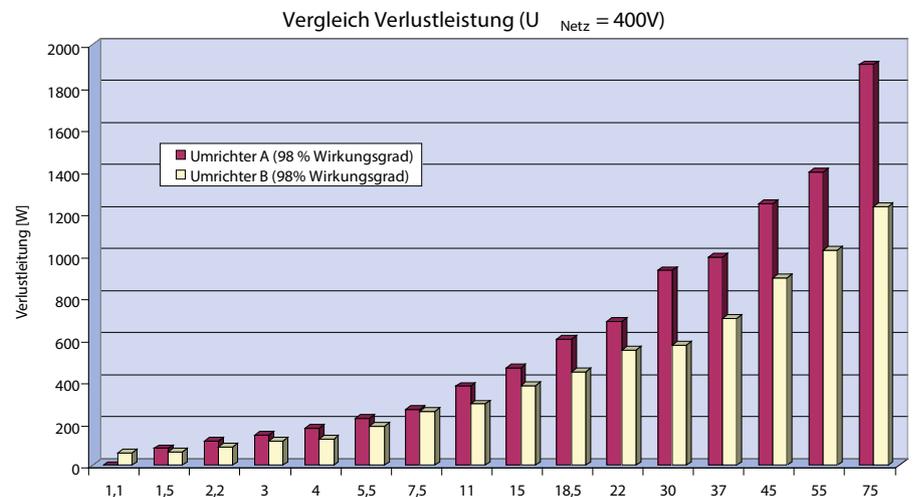


Das folgende Diagramm zeigt den Vergleich der Verlustleistung zweier unterschiedlicher Umrichter. Die Wirkungsgradangaben für die meisten Leistungsgrößen sind dabei identisch.

Was bedeutet dies nun über die gesamte Lebensdauer des Geräts? Geht man von einer Lebensdauer von 60.000 Stunden und einem motorischen Betrieb von 90 % aus, ergibt sich bei den im Diagramm verwendete-

ten 75 kW-Umrichtern eine Gesamtverlustleistung von 124.740 kWh bzw. von 66.528 kWh.

Obwohl beide Geräte den gleichen Wirkungsgrad angeben, hat das eine einen Mehrverbrauch von ca. 58.000 kWh! Dieser Unterschied verringert sich im Teillastbereich. Die Tendenz ist jedoch eindeutig.



Der direkte Vergleich von Frequenzumrichterfabrikaten ist aufgrund unterschiedlicher Rahmendaten wie Nennströme und Überlastfähigkeit sehr schwierig. Die Verlustleistung bietet eine bessere Vergleichsmöglichkeit.

# Filter bei Wirkungsgrad und Effizienz mit berücksichtigen



**Aufgrund ihres Funktionsprinzips erzeugen Frequenzumrichter elektromagnetische Störungen. Zur Begrenzung der Störungen sind für jeden Frequenzumrichter EMV-Filter vorgesehen. Die Filter können bereits im Gerät integriert sein oder extern vor die Geräte geschaltet werden. Auch eine Kombination von internen und externen Filtern ist möglich.**

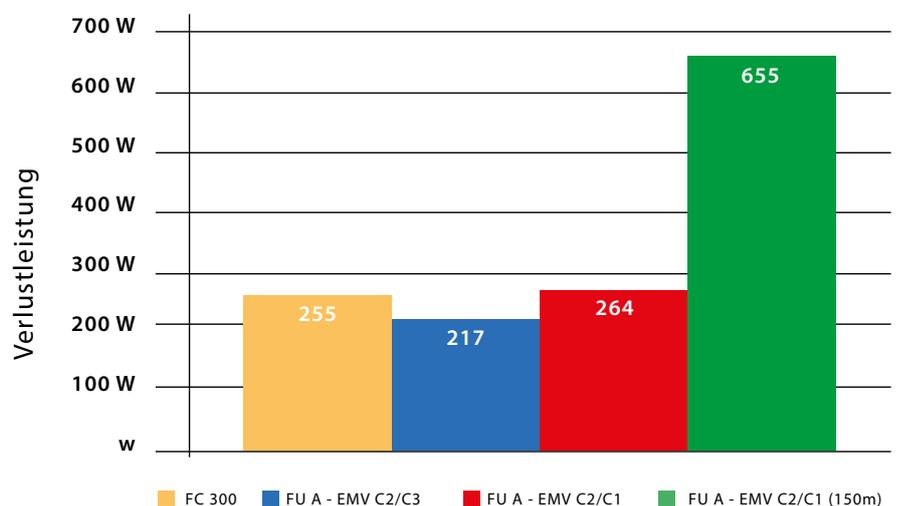
Ein weiterer Punkt sind motorseitige Sinus- oder du/dt-Filter. Frequenzumrichter arbeiten für die Erzeugung der Ausgangsspannung der entsprechenden Frequenz mit einer hohen Taktfrequenz. Dies hat zur Folge, dass die Ausgangsspannung erst einmal nicht mehr sinusförmig ist. Abhängig von der Motorkabellänge und der Motorisolation kann diese Spannung die Isolation schädigen. Problematisch ist dies vor allem bei älteren Motoren. Motorseitige Filter begrenzen die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit an der Motorisolation und die Amplitude der Spannungsspitzen, was die Wicklungen vor Überschlügen schützt.

Der große Vorteil von Frequenzumrichtern mit externem Filter liegt im Preis. Die Geräte sind günstiger und oft kompakter als Geräte mit integrierten Filtern. Nachteilig wirkt sich der zusätzliche Bedarf an Montageplatz aus. Zudem erzeugen alle externen Filter immer zusätzliche Verluste. Dieses gilt für EMV-Filter genauso wie für motorseitige du/dt- oder Sinusfilter. Diese zusätzlichen Verluste gilt es auch bei der Klimatisierung des Schaltschranks zu berücksichtigen. Bei Umrichtern mit integrierten Filtern sind deren Verluste üblicherweise in der angegebenen Verlustleistung bereits enthalten. Daher ist für einen Vergleich der Wirkungsgrade zweier

Frequenzumrichter zu beachten, ob beide die Filter bereits eingebaut haben und ob sie – was die EMV-Filter anbelangt – die gleichen Normen erfüllen. Wenn nicht, so führt dies beim Umrichter ohne Filter zu einer Verschlechterung des Gesamtwirkungsgrads aus Filter und Umrichter, höheren Verlusten und höheren Energiekosten.

Einsparungen auf Kosten von keinen oder schlechteren EMV-Filtern sowie Verzicht auf benötigte Motorfilter, können große Kosten für Nachrüstung, zusätzliche Verluste und Klimatisierung nach sich ziehen.

Verlustleistung 7,5 kW Umrichter



*Externe Filter erzeugen zusätzliche Verluste. Deshalb sollte bei der Projektierung von Frequenzumrichter darauf geachtet werden, dass alle notwendigen Filter bereits im Gerät integriert sind.*

# Drehzahlregelung: großes Potenzial – schnell umgesetzt

Durch die Drehzahlregelung von Lastmaschinen ergeben sich oft energetische Vorteile, die direkt an der Stromrechnung abzulesen sind. Zu den Vorteilen beim Einsatz einer Drehzahlregelung gehören:

## Energieeinsparung

Abhängig vom Drehmomentverhalten der Last ergeben sich unterschiedlich hohe Einsparpotenziale. Bei konstantem Drehmomentverlauf ist die Einsparung maximal proportional zur Reduzierung des Moments und der Drehzahl an der Welle, bei quadratischem Drehmomentverlauf steigen Einsparungen mit der dritten Potenz der Drehzahlreduzierung.

## Anpassung des $\cos \varphi$

Viele Frequenzumrichter korrigieren den  $\cos \varphi$  auf nahezu 1 und reduzieren so die induktive Blindleistungsaufnahme. Damit sinken auch die Verluste auf der Kabelzuleitung.

## Optimierter Betrieb im Teillastbereich

Wirkungsgrade sind meist für Drehstrommotoren nur für den Nennpunkt angegeben. Arbeitet ein Motor direkt

am Netz im Teillastbereich, verschlechtert sich aufgrund konstanter mechanischer und elektromagnetischer Verluste sein Wirkungsgrad erheblich. Der Frequenzumrichterbetrieb sorgt – abhängig von der Qualität des Regelverfahrens - immer für eine optimale Magnetisierung des Motors. Der Wirkungsgrad geht im Teillastbereich deshalb nicht so stark zurück. Spürbare Verbesserungen sind üblicherweise bei Motoren ab 11 kW festzustellen.

## Automatische Energieoptimierung

Bei Anwendungen, bei denen keine schnellen Lastwechsel auftreten, kann der Betreiber die Automatische Energieoptimierung (AEO) verwenden. Der Umrichter fährt dann die Motor magnetisierung auf ein Minimum herunter. Das spart Energie. Bewährt haben sich die Funktionen bei allen langsamen Regelungen, wie sie bei Pumpen und Lüftern üblich sind.

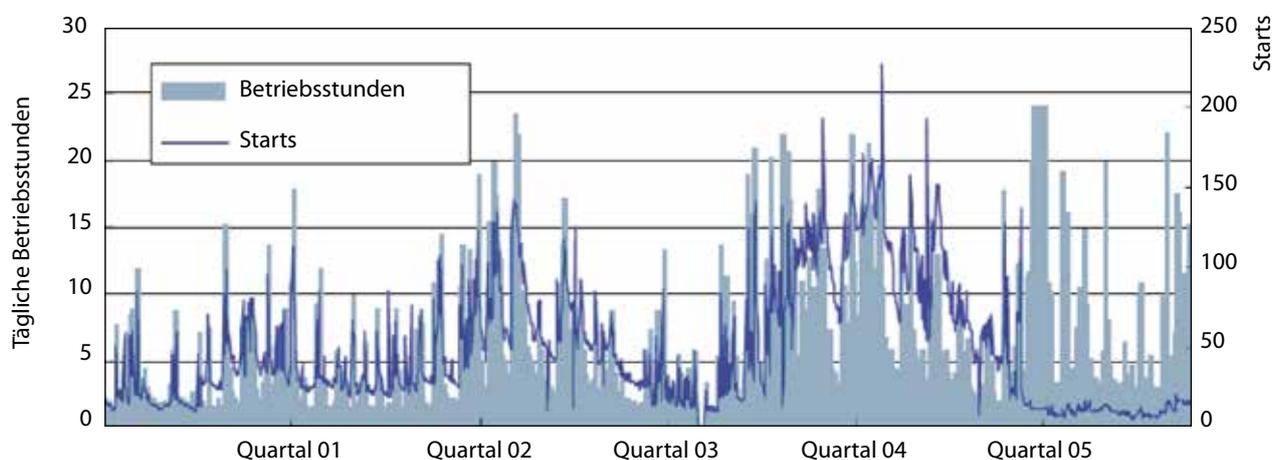
## Reduzierung von Startvorgängen

Eine Drehzahlregelung kann in vielen Anwendungen die Anzahl der Starts reduzieren. Jeder unregelmäßige Start eines Elektromotors benötigt

zusätzliche Energie für den Anlauf des Motors und erneutes Beschleunigen der Lasten. Bei Pumpen beträgt normalerweise der Energieverbrauch für Starts 5-10 % des gesamten Energieverbrauchs, aber es gibt Beispiele dafür, dass bis zu 40 % der Energie für Starts notwendig sind. Zudem reduzieren sich Stromspitzen und mechanische Belastungen durch Stöße beim Anlauf.

Weitere Vorteile ergeben sich durch eine Drehzahlregelung aufgrund der Verminderung mechanischer Belastung von Anlage und Anlagenteilen sowie durch die integrierten Softwarefunktionen, die moderne Frequenzumrichter bereitstellen.

Praxisbeispiel: Mit Einführung der drehzahlgeregelten Antriebe im 4. Quartal hat sich die Anzahl der Starts und somit die mechanische Belastung des Systems im Quartal 05 erheblich reduziert.



# Kostensenkung über gesamten Lebenszyklus

Frequenzumrichter sind inzwischen Stand der Technik und finden immer weitere Verbreitung. Dennoch: Zur Vermeidung unwirtschaftlicher und kontraproduktiver Maßnahmen ist es notwendig, sowohl technische als auch kommerzielle und logistische Aspekte vor einer Investitionsentscheidung zu prüfen. Nach neuesten Untersuchungen machen die Anschaffungskosten in der Betrachtung der gesamten Lebenszykluskosten nur etwa 10 % aus. 90 % der verursachten Kosten gehen zu Lasten der Betriebskosten, beispielsweise Aufwendungen für Energie, Wartung und Service. Daneben schlagen die Anschaffungskosten für Klimatisierung, Netzdrosseln und -filter nicht unerheblich zu Buche.

Bekannte Verfahren zu einer Gesamtbetrachtung aller Kosten sind die LCC (Life Cycle Costs = Kosten innerhalb des Lebenszyklus) bzw. die TCO (Total Cost of Ownership = Gesamtkosten über den Nutzungszeitraum). Sie berücksichtigen nicht nur die Anschaffungskosten, sondern auch Energie-, Reparatur- und Wartungskosten. So kann sich ein in der Anschaffung teureres Gerät über die gesamte Lebensdauer betrachtet als günstiger erweisen, als ein preiswerteres Gerät.

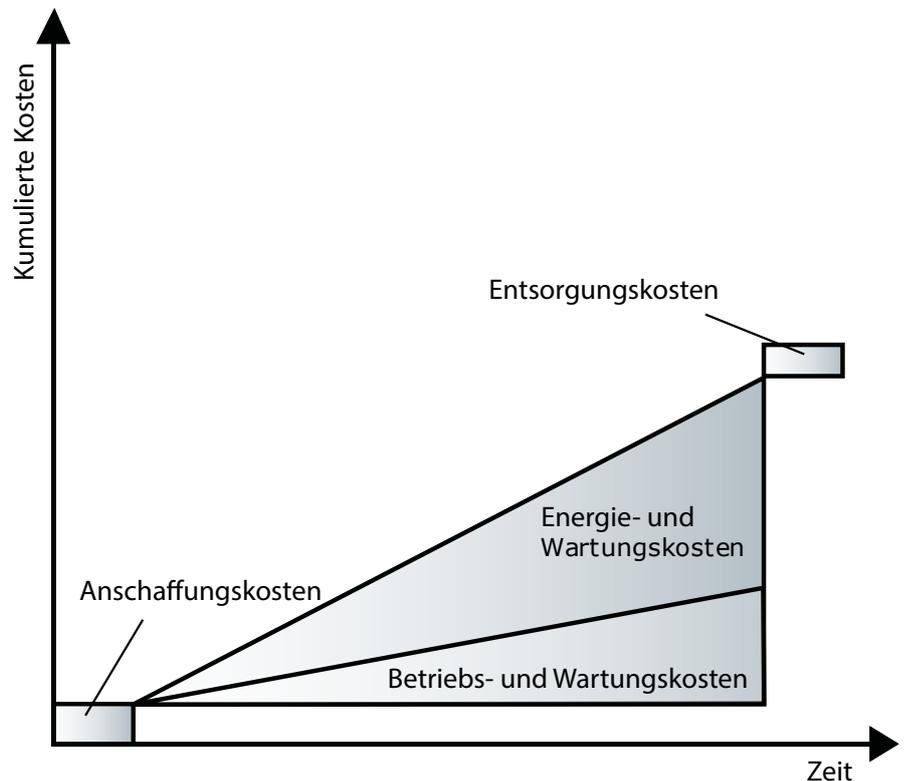
In eine solche Betrachtung kann beispielsweise auch die Verfügbarkeit eines Produkts mit eingehen. Fällt ein eingesetztes Gerät aus, entstehen Kosten z. B. durch Produktionsausfall. Um diesem Fall vorzubeugen, benötigt der Betreiber ein Lager mit einem oder mehreren Ersatzgeräten. Die Größe des Lagers hängt unter anderem davon ab, wie schnell im Bedarfsfall der Hersteller des Produkts neue Geräte nachliefern kann.

## Schonender Anlagenbetrieb

Moderne Frequenzumrichter bieten darüber hinaus eine Vielzahl von Funktionen, die externe Komponenten und deren aufwendige Verkabelung einsparen. Gleichzeitig schont der prinzipbedingt enthaltene Sanftanlauf Motoren und Anlagenteile, erhöht so Standzeiten und senkt Wartungs- und Servicekosten.

## Vorausschauende Wartung für geringere Kosten und höhere Verfügbarkeit

Umfangreiche Schutzfunktionen für Motor und Anlage zeigen jederzeit den aktuellen Status der Antriebe sowie des Systems an. Sie schützen die Komponenten, können die Wartungsintervalle durch frühzeitige Anzeige von Verschleiß verlängern und so die Anlagenverfügbarkeit erhöhen.



*In der Regel beträgt der Anteil der Anschaffungskosten, betrachtet man die Lebenszykluskosten der Anlage lediglich rund 10 %. Höhere Anschaffungskosten eines energiesparenden Geräts amortisieren sich oftmals innerhalb kürzester Zeit.*

# Vorhandenes Einsparpotenzial realisieren



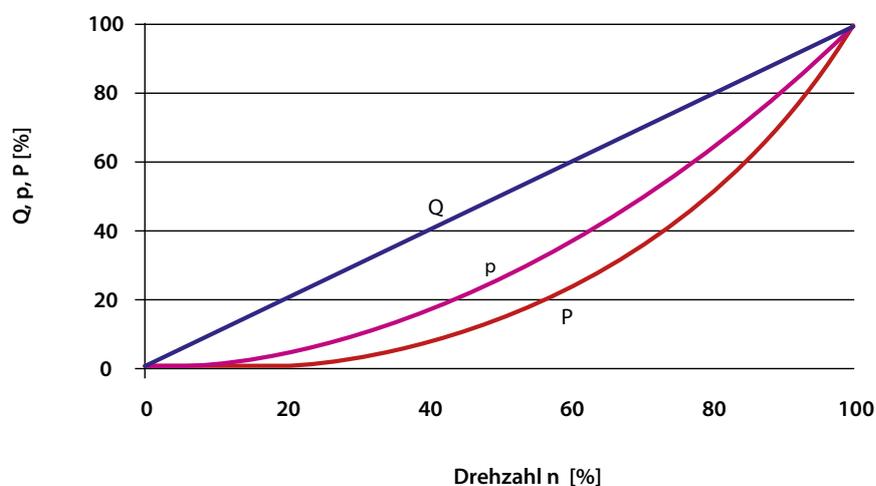
In den bisherigen Ausführungen der Planerfibel Chemie standen vor allem die Grundlagen mit den möglichen Einsparungen in Anlagen der chemischen sowie pharmazeutischen Industrie im Mittelpunkt der Betrachtungen. So haben Sie mehr über die Lebenszykluskosten, die Einsparungen beim Energieverbrauch sowie Wartung- und Servicekosten erfahren. Jetzt gilt es, die aus den Vorteilen resultierenden Einsparungen auch durch eine vernünftige und genaue Planung in die Praxis umzusetzen.

Dazu führt Sie der jetzt folgende Teil in vier Schritten durch die Planung. In den Unterpunkten

- Netzversorgung
- Umgebungs- und Umweltbedingungen
- Motor und Kabel
- Frequenzumrichter

erhalten Sie alle notwendigen Informationen über die Kenngrößen und Daten, die Sie für einen sicheren Betrieb der Anlage, sowie bei Auswahl

und Dimensionierung benötigen. Wo ein tiefergehendes Wissen von Vorteil ist, erhalten Sie neben den Basisinformationen in dieser Fibel auch einen Hinweis auf weiterführende Literatur. Die systematische Beantwortung aller im folgenden aufgeführten Fragen und Aspekte schafft die optimale Voraussetzung für eine energieeffiziente und sichere Anlage.



# Netzversorgung

## Die gegebene Netzform erkennen

Für die Energieversorgung elektrischer Antriebe stehen unterschiedliche Netzformen zur Verfügung. Alle haben auf das EMV-Verhalten einer Anlage einen mehr oder weniger großen Einfluss. Bei dem 5-Leiter Netz TN-S ergibt sich dabei die beste, beim isoliert aufgebauten IT-Netz hingegen die schlechteste Ausgangslage.

### TN-Netze

Innerhalb dieses Netztyps gibt es zwei Ausführungen: TN-S und TN-C.

### TN-S

Dieses System ist ein 5-Leiter Netz, bei dem Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) getrennt ausgeführt sind. Es bietet somit die besten EMV-Eigenschaften und vermeidet Störübertragungen.

### TN-C

Dieses System ist ein 4-Leiter Netz, bei dem in der gesamten Anlage der Neutralleiter und der Schutzleiter zu einem Leiter zusammengefasst sind.

Das TN-C Netz bietet, bedingt durch den gemeinsamen Neutral- und Schutzleiter, keine guten EMV-Eigenschaften.

### TT-Netze

Dieses System ist ein 4-Leiter Netz mit einem geerdeten Neutralleiter – meist in der Nähe der speisenden Stromquelle – und Einzelerdung der Antriebe.

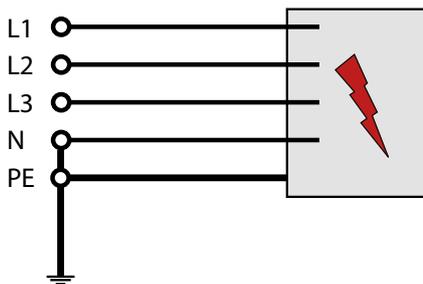
Dieses System bietet gute EMV-Eigenschaften, wenn die Erdungen sauber ausgeführt sind.

### IT-Netze

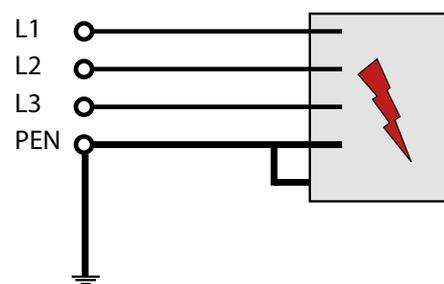
Dieses System ist ein isoliertes 4-Leiter Netz, bei dem der Neutralleiter entweder ungeerdet oder über eine hohe Impedanz geerdet ist.

*Hinweis: In IT-Systemen müssen alle EMV-Maßnahmen der Frequenzumrichter (Filter, etc.) abgeschaltet sein.*

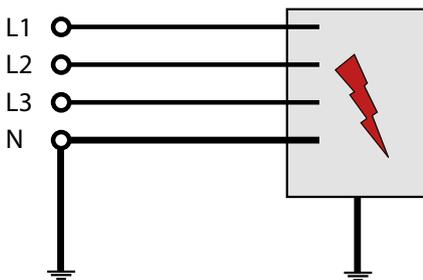
TN-S-System Neutralleiter und Schutzleiter getrennt



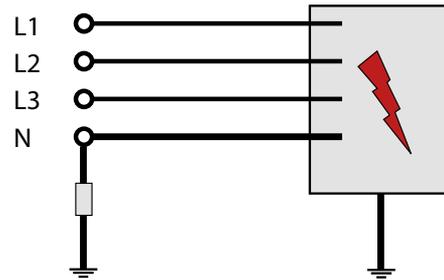
TN-C-System In der gesamten Anlage sind Neutralleiter und Schutzleiter zu einem Leiter zusammengefasst



TT-System Geerdeter Neutralleiter und Einzelerdung der Einrichtungen



IT-System Isoliertes Netz, der Neutralleiter kann über eine Impedanz geerdet oder ungeerdet sein



Netzformen für Stromverteilungsanlagen nach EN 50310 / HD 384.3

# Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Jedes elektrische Gerät beeinflusst seine direkte Umwelt mehr oder weniger durch elektrische und magnetische Felder. Größe und Wirkung dieser Einflüsse sind abhängig von der Leistung und Bauart des Geräts. In elektrischen Maschinen und Anlagen können Wechselwirkungen zwischen elektrischen oder elektronischen Baugruppen eine sichere und störungsfreie Funktion beeinträchtigen oder verhindern. Daher ist es für Betreiber sowie Konstrukteure und Anlagenbauer wichtig, die Mechanismen der Wechselwirkung zu verstehen. Nur so können sie bereits in der Planungsphase angemessene und kostengünstige Gegenmaßnahmen ergreifen. Denn: *Je später reagiert wird, desto teurer werden die Maßnahmen.*

## Elektromagnetische Einflüsse wirken in beide Richtungen

In einer Anlage beeinflussen sich die Komponenten wechselseitig: Jedes Gerät stört nicht nur, sondern wird auch gestört. Kennzeichnend für die jeweilige Baugruppe ist daher neben Art und Umfang ihrer Störaussendung auch ihre Störfestigkeit gegen Einflüsse benachbarter Baugruppen.

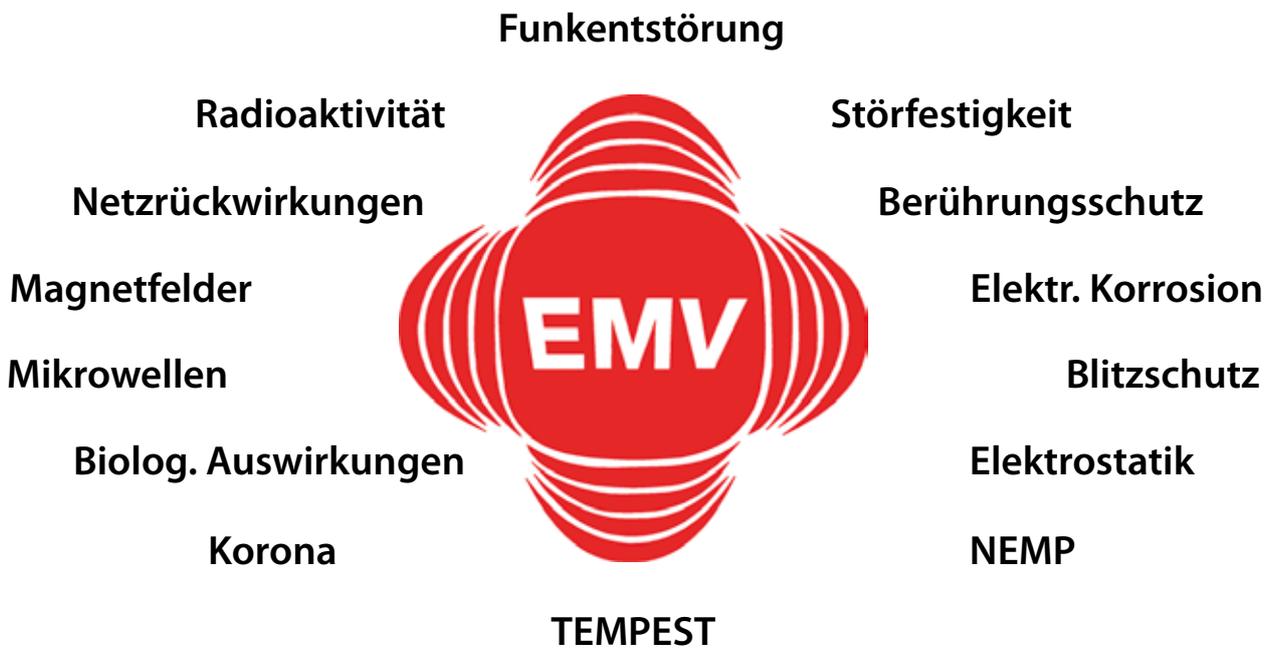
## Die Verantwortung liegt beim Betreiber

Früher musste der Hersteller einer Komponente oder Baugruppe für elektrische Antriebe Gegenmaßnahmen ergreifen, um die gesetzlichen Richtwerte einzuhalten. Mit der Norm EN 61800-3 für die Anwendung drehzahlveränderlicher Antriebe ist diese Verantwortung auf den Endanwender oder Betreiber der Anlage übergegangen.

Hersteller müssen jetzt nur noch Lösungen für den normgerechten Einsatz anbieten. Die Beseitigung eventuell auftretender Störungen – spricht der Einsatz dieser Lösungen – obliegt aber dem Betreiber. Ebenso die daraus entstehenden Kosten.

## Zwei Möglichkeiten der Reduzierung

Zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit können Betreiber oder Anlagenbauer zwei Wege gehen. Zum einen können sie die Quelle entstören, indem sie Störaussendungen minimieren oder beseitigen. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die Störfestigkeit des gestörten Geräts oder Systems zu erhöhen, indem der Empfang von Störgrößen verhindert oder deutlich reduziert wird.



Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) umfasst eine ganze Reihe von Phänomenen. In der Antriebstechnik sind davon vor allem Netzurückwirkungen, Funkentstörung sowie Störfestigkeit von Interesse.

# Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

## Kabelgebundene und Strahlungseinflüsse unterscheiden

Grundsätzlich bestehen immer Wechselwirkungen zwischen mehreren Systemen. Dabei unterscheiden die Fachleute zwischen Störquelle und Störsenke, was sich in der Praxis oft als störendes beziehungsweise gestörtes Gerät darstellt. Dabei können als Störgrößen alle Arten elektrischer und magnetischer Größen auftreten, die eine unerwünschte Beeinflussung hervorrufen. Diese äußern sich beispielsweise als Netzoberschwingungen, in elektrostatischen Entladungen, in schnellen Spannungsänderungen oder in hochfrequenten Störspannungen bzw. Störfeldern. Netzoberschwingungen sind in der Praxis häufig als Netzurückwirkungen, bzw. harmonische Oberschwingungen oder auch nur als Harmonische bekannt.

## Koppelungsmechanismen zwischen Stromkreisen

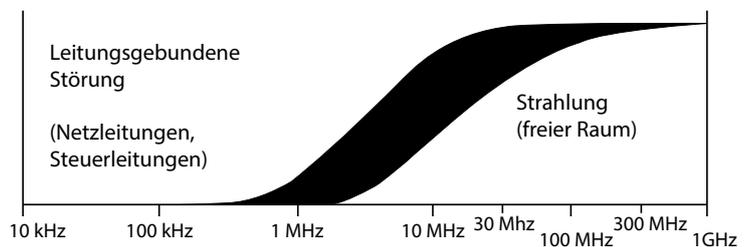
Doch wie erfolgt die Übertragung der Störenergie? Als elektromagnetische Aussendung kann die Übertragung grundsätzlich über Leitungen, elektrische Felder oder elektromagnetische Wellen erfolgen. Fachleute sprechen von galvanischer, kapazitiver und/oder induktiver Kopplung sowie Strahlungskopplung, also eine Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Stromkreisen, bei der elektromagnetische Energie von einem in den anderen Kreis fließt.

- Die galvanische Kopplung tritt auf, wenn zwei oder mehr Stromkreise über eine gemeinsame Leitung miteinander verbunden sind (Beispiel: Potentialausgleichskabel)
- Eine kapazitive Kopplung entsteht durch unterschiedliche Spannungspotentiale zwischen den Kreisen

- Eine induktive Kopplung tritt zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern auf.
- Eine Strahlungskopplung liegt dann vor, wenn sich die Störsenke im Fernfeld eines von einer Störquelle erzeugten Strahlungsfelds befindet.

Der Übergang von der (elektromagnetischen) Betrachtung der leitungsgebundenen Kopplung und Strahlungskopplung liegt nach Norm bei 30 MHz. Dies entspricht einer Wellenlänge von 10 Metern. Darunter breiten sich die elektromagnetischen Störgrößen vorwiegend über Leitungen oder an elektrischen beziehungsweise magnetischen Feldern gekoppelt aus. Jenseits der 30 MHz wirken Leitungen und Kabel als Antennen und strahlen elektromagnetische Wellen ab.

## Ausbreitungswege von Störgrößen



Elektromagnetische Störungen treten im gesamten Frequenzbereich auf. Allerdings unterscheiden sich Art der Ausbreitung und der Ausbreitungsweg.



Überblick über die Kopplungswege elektromagnetischer Störgrößen und typische Beispiele

## EMV im Zusammenhang mit Frequenzumrichtern

- Niederfrequente Einflüsse (leitungsgebunden) → Netzurückwirkungen/Oberschwingungen
- Hochfrequente Einflüsse (strahlungsgebunden) → Funkstörungen (Emission elektromagnetischer Felder)

# Netzqualität

## Niederfrequente Netzurückwirkungen

### Versorgungsnetze in Gefahr

Die von den Energieversorgungsunternehmen (EVU) gelieferte Netzspannung für Haushalt, Gewerbe und Industrie sollte eine gleichförmige Sinusspannung konstanter Amplitude und Frequenz sein. Dieser Idealfall ist heute in öffentlichen Netzen nicht mehr anzutreffen. Die Ursache liegt zum Teil bei Verbrauchern, die einen nichtsinusförmigen Laststrom aus dem Netz aufnehmen bzw. eine nichtlineare Kennlinie haben, beispielsweise PC, Fernsehgeräte, Schaltnetzteile, Energiesparlampen oder auch Frequenzumrichter. Durch den europäischen Energieverbund, höhere Auslastung der Netze und geringere Investitionen wird die Netzspannungsqualität zukünftig weiter abnehmen. Abweichungen von der idealen Sinusform sind also unvermeidlich und in gewissen Grenzen zulässig. Für den Planer und den Betreiber besteht die Verpflichtung, diese Netzbelastung gering zu halten. Doch wo liegen diese Grenzen und wer legt sie fest?

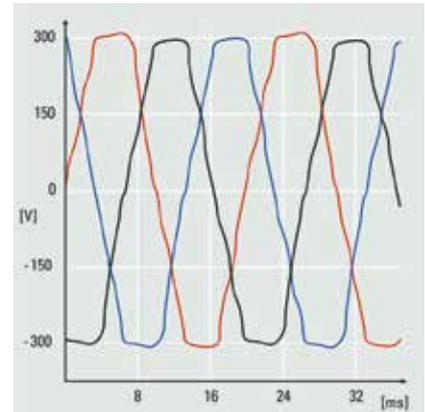
### Wie entstehen die Netzurückwirkungen

Die Verzerrung der Sinuskurvenform des Versorgungsnetzes als Folge pulsierender Stromaufnahme angeschlossener Verbraucher nennen Fachleute niederfrequente Netzurückwirkung oder auch Oberschwingungen. Abgeleitet von der Fourieranalyse sprechen sie auch vom Oberschwingungsgehalt

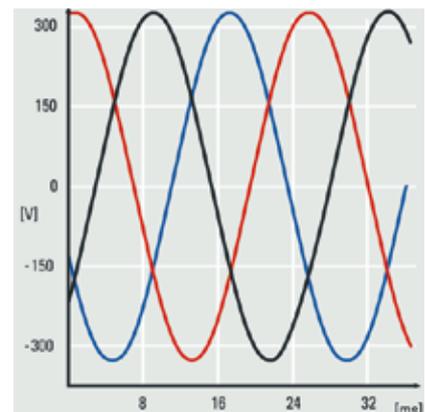
### Gesetzliche Grundlage sichert Qualität

In der Diskussion um eine saubere und qualitativ gute Netzspannung helfen Normen, Richtlinien und Vorschriften. Grundlage für eine objektive Bewertung der Netzspannungsqualität ist das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG). Die Europäischen Normen EN 61000-2-2, EN 61000-2-4 und EN 50160 beschreiben die einzuhaltenden Grenzwerte der Netzspannung in öffentlichen und in Industrienetzen. Die Normen EN 61000-3-2 und EN 61000-3-12 sind Vorschriften bezüglich der Netzurückwirkungen der angeschlossenen Geräte. In der Gesamtbetrachtung sind für Anlagenbetreiber zusätzlich auch die EN 50178 sowie die Anschlussbedingungen des Energieversorgungsunternehmens zu berücksichtigen. Grundsätzlich gilt die Annahme, dass bei Einhaltung dieser Pegel alle Geräte und Systeme in elektrischen Versorgungsnetzen ihre bestimmungsgemäße Funktion störungsfrei erfüllen.

des Netzes und beurteilen diesen bis 2,5 kHz, entsprechend der 50. harmonischen Oberschwingung. Die Eingangsgleichrichter von Frequenzumrichtern erzeugen eine solch typische Oberschwingungsbelastung des Netzes. Bei Frequenzumrichtern in 50 Hz-Netzen betrachtet



Messungen zeigen deutliche Verzerrung der Netzspannung durch die Rückwirkungen nicht-linearer Verbraucher.



In unseren Netzen ist der Idealfall einer sinusförmigen Netzspannung kaum mehr anzutreffen.

man die 3. (150 Hz), 5. (250 Hz) oder 7. (350 Hz) Oberschwingung. Die Auswirkungen sind hier am stärksten. Den Gesamtoberschwingungsgehalt gibt die THD (Total Harmonic Distortion) oder der Klirrfaktor wieder.

# Niederfrequente Netzurückwirkungen

## Auswirkungen von Netzurückwirkungen

Netzurückwirkungen wie harmonische Oberschwingungen und Spannungsschwankungen haben am Entstehungsort ein anderes Erscheinungsbild als an einem anderen beliebigen Anschlusspunkt eines Verbrauchers im Netz. Damit ist die Konstellation von Netzeinspeisung, Netzaufbau und Verbraucher insgesamt bei der Bewertung der Netzurückwirkungen zu berücksichtigen.

Die Auswirkungen eines erhöhten Oberschwingungspegels sind:

### Unterspannungswarnungen

- Auf Grund der Verformung des Netzsinus wird die Spannung nicht richtig gemessen.
- Geringere Leistungsfähigkeit des Versorgungsnetzes

### Erhöhte Verluste

- Oberschwingungen benötigen zusätzlich einen Anteil an Wirkleistung, Scheinleistung und Blindleistung
- Verkürzte Lebensdauer der Geräte und Komponenten z. B. durch zusätzliche Erwärmung aufgrund von Resonanzen.
- Fehlfunktion, Beschädigung von elektrischen und elektronischen Verbrauchern z. B. als akustisches Brummen in anderen Geräten. Im schlimmsten Fall sogar Zerstörung.
- Falsche Messergebnisse, da nur Echt-Effektivwert-Messgeräte und Messsysteme Oberschwingungsanteile berücksichtigen.

### Gibt es netzurückwirkungsfreie Frequenzumrichter?

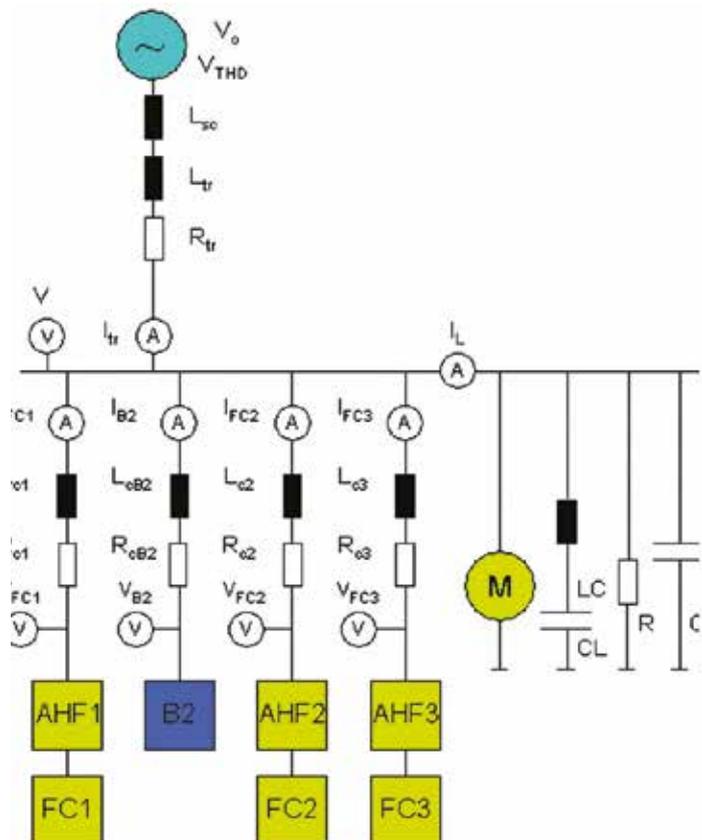
Jeder Frequenzumrichter erzeugt Netzurückwirkungen. Allerdings betrachtet die aktuelle Norm nur den Frequenzbereich bis 2 kHz. Daher verschieben einige Hersteller Netzurückwirkung in den von der Norm nicht definierten Bereich oberhalb von 2 kHz (siehe auch „Schlanker Zwischenkreis“ auf Seite 19, Abschnitt Schlanker Zwischenkreis) und bewerben diese als netzurückwirkungsfreie Geräte. Grenzwerte für diesen Bereich sind momentan in Beratung.

**Hinweis:** Zu hohe Oberschwingungsanteile belasten Blindstrom-Kompensationsanlagen und können zu deren Zerstörung führen. Daher sollten diese als verdrosselte Ausführung zum Einsatz kommen.

## Netzurückwirkungen berechnen

Um die Netzspannungsqualität nicht zu stark zu belasten, sind für Anlagen und Geräte, die Oberschwingungsströme produzieren, verschiedene Verfahren zur Reduzierung, Vermeidung oder Kompensation einzusetzen. Netzrechnungsprogramme, wie z. B. die HCS (Harmonic Calculation Software), ermöglichen ein Berechnen von Anlagen bereits im Planungsstadium. Bereits im Vorfeld kann der Betreiber so gezielt Gegenmaßnahmen testen und berücksichtigen und die Verfügbarkeit der Anlagen sichern.

**Bemerkung:** Danfoss verfügt über sehr hohe EMV-Kompetenz und langjährige Erfahrung in diesem Bereich. Diese Erfahrung geben wir an unsere Kunden in Form von Schulungen, Seminaren, Workshops oder in der täglichen Praxis in Form EMV-Analysen mit detaillierter Auswertung oder Netzberechnungen weiter.



# Reduzierung von Netzurückwirkungen

## Möglichkeiten zur Reduzierung der Netzurückwirkungen

Generell lassen sich Netzurückwirkungen elektronischer Leistungssteuerungen durch eine Amplitudenbegrenzung der Pulsströme reduzieren. Dies hat eine Verbesserung des Leistungsfaktors  $\lambda$  (Lambda) zur Folge. Um die Netzspannungsqualität nicht zu stark zu belasten, lassen sich für Geräte, die Oberschwingungen produzieren, verschiedene Verfahren zur Reduzierung, Vermeidung oder Kompensation einsetzen:

- Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis von Frequenzumrichtern
- Schlanker Zwischenkreis
- 12-, 18- oder 24-pulsige Gleichrichter
- Passive Filter
- Aktive Filter
- Active Front End
- Low Harmonic Drives

### Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis

Bereits einfache Drosseln reduzieren wirkungsvoll Oberschwingungen, die Gleichrichterschaltungen als Netzurückwirkungen ins Versorgungsnetz zurückspeisen. Hersteller von Frequenzumrichtern bieten sie in der Regel als zusätzliche oder nachträgliche Optionen an. Die Drosseln lassen sich vor den Frequenzumrichter, auf der EinspeiseSeite oder in dessen Zwischenkreis, nach dem Gleichrichter, schalten. Da die Induktivität an jeder Stelle die gleiche Wirkung hervorruft, ist die Bedämpfung der Netzurückwirkungen vom Einbauort unabhängig. Beide Varianten bieten Vor- und Nachteile. Netzseitige Drosseln sind teurer, größer und erzeugen höhere Verluste als Gleichstromdrosseln. Ihr Vorteil: Sie schützen den Gleichrichter auch vor Netztransienten. Gleichstromseitige Drosseln befinden sich im Zwischenkreis. Sie sind effektiver, aber meist nachträglich nicht nachzurüsten. Mit solchen Drosseln kann der Oberschwingungsgehalt

eines B6-Gleichrichters von einem unverdrosselten Wert  $THDi = 80\%$  auf einen Wert von ca.  $40\%$  reduziert werden. In der Praxis haben sich für Frequenzumrichter Drosseln mit einem  $U_k$  von  $4\%$  bewährt. Eine weitere Reduzierung kann nur mit speziell angepassten Filtern erfolgen.

### 12-, 18- oder 24-pulsige Gleichrichter

Gleichrichterschaltungen höherer Pulszahl (12, 18 oder 24) erzeugen geringere Oberschwingungen. Sie kamen in der Vergangenheit oft im größeren Leistungsbereich zum Einsatz. Zur Versorgung ist allerdings ein spezieller Transformator erforderlich, der die gesamte benötigte Leistung in unterschiedlichen Sekundärwicklungen

***Bemerkung:** Danfoss VLT®-Frequenzumrichter sind standardmäßig mit einer Zwischenkreisdrossel ausgestattet, die die Netzurückwirkungen auf einen Wert von  $THDi = 40\%$  reduziert.*

phasenversetzt den Gleichrichtergruppen zuführt. Nachteile dieser Technik sind Aufwand und Platzbedarf für den speziellen Transformator sowie die höheren Investitionskosten für den Transformator und die Frequenzumrichter.

### Passive Filter

Bei besonders hohen Anforderungen bzgl. Oberwellenfreiheit stehen optional passive Netzurückwirkfilter zur Verfügung. Diese sind aus passiven Bauelementen wie Spulen und Kondensatoren aufgebaut. Dabei senken parallel zur Last geschaltete, speziell auf die einzelnen Harmonischen abgestimmte LC-Serienschwingkreise den Oberschwingungsgehalt  $THDi$  an der Netzeinspeisung auf Werte von  $10\%$  oder auf  $5\%$ . Ein Filtermodul ist sowohl für einen einzelnen als auch für eine Gruppe von Frequenz-

umrichtern geeignet. Damit der Oberwellenfilter seine optimale Leistung entfalten kann, muss er auf den tatsächlich benötigten Eingangsstrom zum Frequenzumrichter angepasst sein. Passive Oberwellenfilter kommen schaltungstechnisch entweder vor einem Frequenzumrichter oder einer Gruppe von Frequenzumrichtern zum Einsatz.

### Vorteile passiver Filter

Diese Art von Filter bietet ein gutes Preis-/Leistungsverhältnis. Mit relativ geringen Kosten erhält der Betreiber eine Reduzierung der Oberschwingungen, wie sie mit 12- oder 18-pulsigen Gleichrichtern möglich ist, in der Regel eine Reduzierung des Oberwellenstromgehalts auf einen  $THD_i$ -Wert  $= 5\%$ . Zudem erzeugen passive Filter keine Störungen im Frequenzbereich oberhalb von  $2\text{ kHz}$ . Da sie nur aus passiven Komponenten aufgebaut sind, tritt kein Verschleiß auf und es handelt sich um eine gegen elektrische Störungen und mechanische Belastung unempfindliche Lösung.

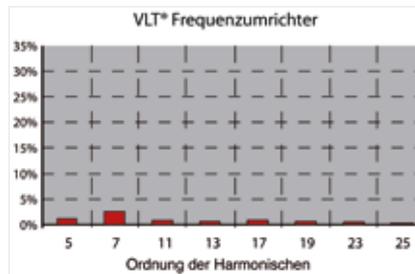
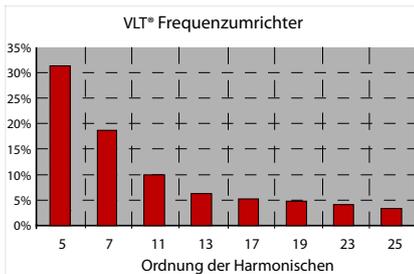
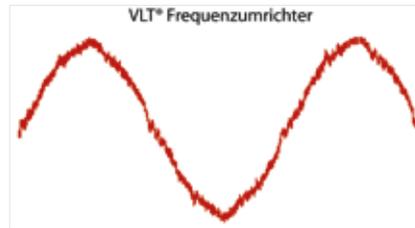
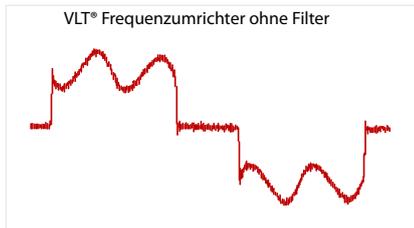
### Nachteile passiver Filter

Passive Filter sind durch ihr Konstruktionsprinzip relativ groß und schwer. Filter dieser Kategorie arbeiten im Lastbereich von  $80\text{--}100\%$  sehr effektiv. Mit abnehmender Last steigt jedoch die kapazitive Blindleistungsaufnahme und es empfiehlt sich, die Kondensatoren des Fil-



Eingebaute Netzdrosseln, wie hier die Zwischenkreisdrosseln reduzieren wirkungsvoll die Oberschwingungen.

# Aktive Filter reduzieren Oberschwingungen



Passive Filter reduzieren die Oberschwingungsstrom-Verzerrung auf < 5 %.

ters im Leerlaufbetrieb abzuschalten.

## Aktive Filter

Sind die Anforderungen bzgl. der Netzurückwirkungen noch höher, kommen aktive elektronische Filter zum Einsatz. Aktive Filter sind elektronische Saugkreise, die Betreiber

parallel zu den Oberschwingungserzeugern anschließen. Sie analysieren den von nichtlinearen Verbrauchern erzeugten Oberschwingungsstrom und liefern einen gegenphasigen Kompensationsstrom. Dies neutralisiert die entsprechenden

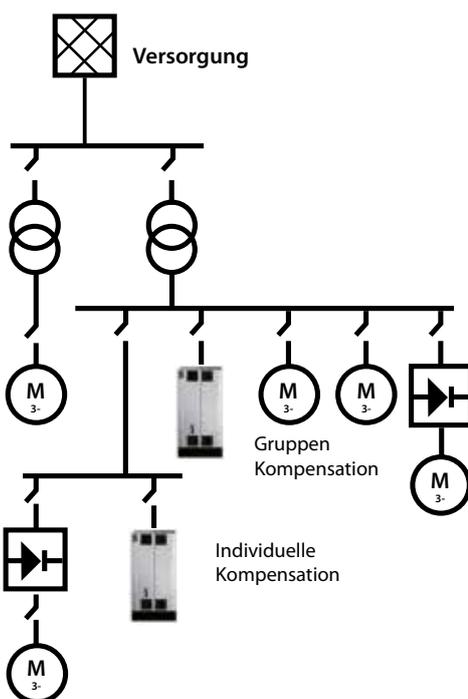
Oberschwingungsströme am Anschlusspunkt vollständig. Der Kompensationsgrad ist einstellbar. So lassen sich nach Wunsch Oberschwingungen fast vollständig kompensieren oder z. B. aus wirtschaftlichen Gründen nur soweit, dass die Anlage die gesetzlichen Grenzwerte einhält. Dabei ist zu beachten, dass diese Filter mit einer Taktfrequenz arbeiten und die Netzspannung im Bereich von 4 bis 10 kHz belasten.

## Vorteile aktiver Filter

Betreiber können aktive Filter als zentrale Maßnahme an einer beliebigen Stelle im Netz einfügen, abhängig davon, ob sie einzelne Antriebe, ganze Gruppen oder gar ganze Netze kompensieren wollen. Es ist nicht für jeden Frequenzumrichter ein eigener Filter erforderlich. Der Oberwellenstromgehalt sinkt auf einen THDi-Wert  $\leq 2\%$ .

## Nachteile aktiver Filter

Ein Nachteil sind die relativ hohen Investitionskosten. Zudem haben diese Filter ab der 25. harmonischen Oberschwingung keine Wirkung mehr. Zu berücksichtigen sind bei der aktiven Filtertechnik außerdem die Auswirkungen oberhalb von 2 kHz, die diese Filter selbst erzeugen. Sie erfordern weitere Maßnahmen, um das Netz sauber zu halten.



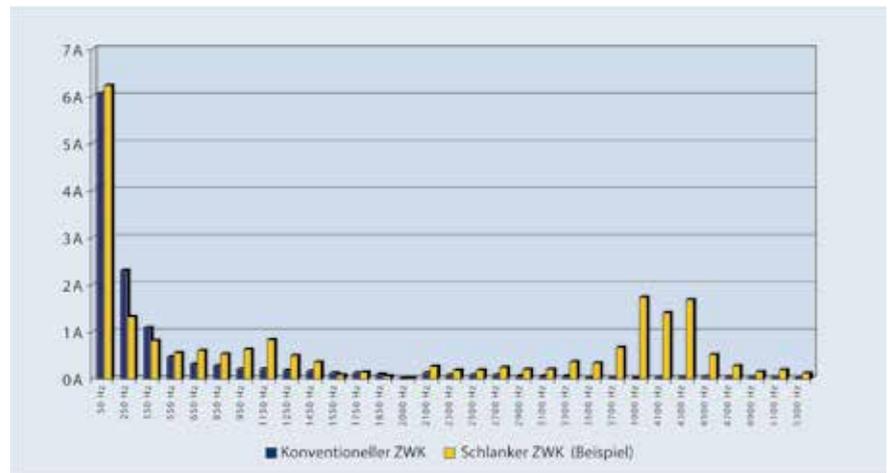
Aktive Filter lassen sich an beliebigen Stellen im Netz einfügen, abhängig davon, ob sie einzelne Antriebe, ganze Gruppen oder gar ganze Netze kompensieren sollen.

# Vor- und Nachteile der Lösungen

## Schlanker Zwischenkreis

In den letzten Jahren kamen verstärkt Frequenzumrichter mit einem sogenannten „schlanken Zwischenkreis“ auf den Markt. Bei diesem Verfahren setzen die Hersteller die Kapazität der Zwischenkreiskondensatoren stark herab. Dies begrenzt auch ohne Drossel die 5. Harmonische des Stromes auf einen Wert  $THD_i < 40\%$ . Allerdings entstehen im oberen Frequenzspektrum Oberschwingungen, die sonst nicht auftreten. Durch das breite Frequenzspektrum von Geräten mit schlankem Zwischenkreis steigt die Gefahr von Resonanzen mit anderen Bauteilen im Netz, beispielsweise von Leuchtstofflampen oder Trafos. Die Auslegung geeigneter Maßnahmen gestaltet sich dementsprechend zeitintensiv und sehr schwierig.

Zusätzlich weisen Umrichter mit schlankem Zwischenkreis Schwächen auf der Lastseite auf. Bei diesen Umrichtern treten bei Laständerungen wesentlich höhere Spannungsänderungen auf. Daher neigen sie bei Lastwechsel an der Motorwelle eher zum Schwingen. Auch Lastabwürfe sind problematisch. Bei Lastabwürfen erzeugt der Motor generatorische Energie mit hohen Spannungsspitzen. Um sich gegen eine Zerstörung durch Überlastung bzw. Überspannung zu schützen, reagieren Geräte mit schlankem Zwischenkreis hier schneller als konventionelle Geräte mit einer Abschaltung.



Bei Umrichtern mit schlankem Zwischenkreis treten insbesondere in den höheren Frequenzbereichen erhöhte Oberschwingungen auf.

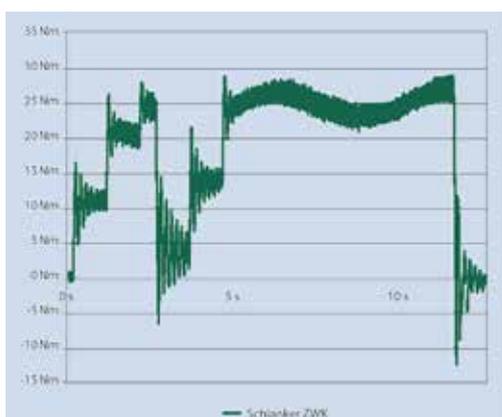
Aufgrund der kleinen oder fehlenden Kondensatoren können Umrichter mit schlankem Zwischenkreis Netzeinbrüche nur schlecht überbrücken. Als Faustformel hat ein schlanker Zwischenkreis ca. 10x weniger Kapazität als ein konventioneller Zwischenkreis.

Neben den Netzzrückwirkungen durch die Stromaufnahme belasten Umrichter mit schlankem Zwischenkreis das Netz auch mit der Taktfrequenz des motorseitigen Wechselrichters. Aufgrund der fehlenden bzw. geringen Kapazitäten im Zwischenkreis ist diese auf der Netzseite deutlich sichtbar.

## Active Front End und Low Harmonic Drive

Active Front End (AFE) und Low Harmonic Drive (LHD) bei Frequenzumrichtern oder Power Factor Correction (PFC) bei Netzteilen sind elektronische Eingangsschaltungen, die den herkömmlichen Gleichrichter ersetzen. Diese Schaltungen erzwingen mit sehr schnell schaltenden Halbleitern einen annähernd sinusförmigen Strom und sind ebenfalls sehr effizient in der Bedämpfung niederfrequenter Netzzrückwirkungen. Sie produzieren wie auch Frequenzumrichter mit schlankem Zwischenkreis Netzzrückwirkungen im oberen Frequenzspektrum.

Ein Active-Front-End-Gerät ist die teuerste Maßnahme zur Reduktion von Netzzrückwirkungen, da es sich hierbei um einen zusätzlichen vollwertigen Frequenzumrichter handelt, der die Möglichkeit besitzt, Energie ins Versorgungsnetz zurückzuspeisen. Der Low Harmonic Drive bietet diese Möglichkeit nicht und ist aus diesem Grund etwas günstiger.



Bei Geräten mit schlankem Zwischenkreis steigt die Neigung zum „Schwingen“ bei größeren Lastwechseln.

# Vor- und Nachteile der Lösungen

## Vorteile AFE / LHD

Der Oberwellenstromgehalt sinkt auf einen THDi-Wert von fast 0 % im Bereich der 3. bis 50. Harmonischen. Mit AFE-Geräten (nicht bei LHD) ist ein 4-Quadranten-Betrieb möglich, das heißt, sie können Bremsenergie vom Motor zurück ins Versorgungsnetz speisen.

## Nachteile AFE / LHD

Der technische Aufwand in den Geräten ist sehr groß und führt zu sehr hohen Investitionskosten. Im Prinzip bestehen konventionelle AFE-Geräte aus 2 Frequenzumrichtern, wobei der eine zum Motor und der andere zum Netz hin arbeitet. Durch den zusätzlichen Schaltaufwand sinkt im motorischen Betrieb der Wirkungsgrad des Frequenzumrichters. Die Verlustleistung kann 40-50 % größer sein als bei Frequenzumrichtern mit ungesteuerten Gleichrichtern. Für den einwandfreien Betrieb benötigt ein AFE immer eine erhöhte Zwischenkreisspannung. Oft wird diese höhere Spannung direkt an den Motor weitergegeben, was eine höhere Belastung der Motorisolation bedeutet. Sind die Zwischenkreise der

AFE-Geräte nicht getrennt, bedeutet der Ausfall des Filters auch den Ausfall des gesamten Geräts. Ein weiterer Nachteil ist die Taktfrequenz, mit der die Geräte die Korrektur des Eingangstromes vornehmen. Sie liegt zwischen 4-20 kHz. Gute, technisch aufwändigere Geräte filtern diese Taktfrequenz vor der Einspeisung ins Netz wieder heraus. Die derzeit gültigen Normen und Gesetze decken diesen Frequenzbereich bislang nicht ab. Aktuelle Netzanalysatoren erfassen üblicherweise diesen Frequenzbereich nicht und somit lassen sich die Auswirkungen messtechnisch nicht erfassen. Sie sind aber an allen in diesem Netz arbeitenden Geräten festzustellen, durch beispielsweise erhöhte Stromaufnahme in Netzteilen. Die Auswirkungen werden erst in den nächsten Jahren zu spüren sein. Daher sollte der Anwender im Interesse der eigenen Betriebssicherheit seiner Anlage hier den Hersteller gezielt nach Emissionswerten und Gegenmaßnahmen fragen.

**Hinweis:** Es ist nicht festgelegt, dass Geräte die Grenzwerte gemäß EN 61000-3-12 serienmäßig erreichen müssen. Es kann durchaus sein, dass ein Umrichter den Grenzwert nur zusammen mit einem zusätzlichen Filter einhält.

## Danfoss VLT® Low Harmonic Drive

In seinen Low Harmonic Drives kombiniert Danfoss einen Frequenzumrichter mit einem komplett separaten aktiven Filter, das als AFE dient.

- Weniger Verluste, da der Filter nur auf den zu kompensierenden Strom ausgelegt wird
- Bei Ausfall des Filters arbeitet der Umrichterteil weiter
- Höhere Zwischenkreisspannung wird nicht an den Motor weitergegeben.

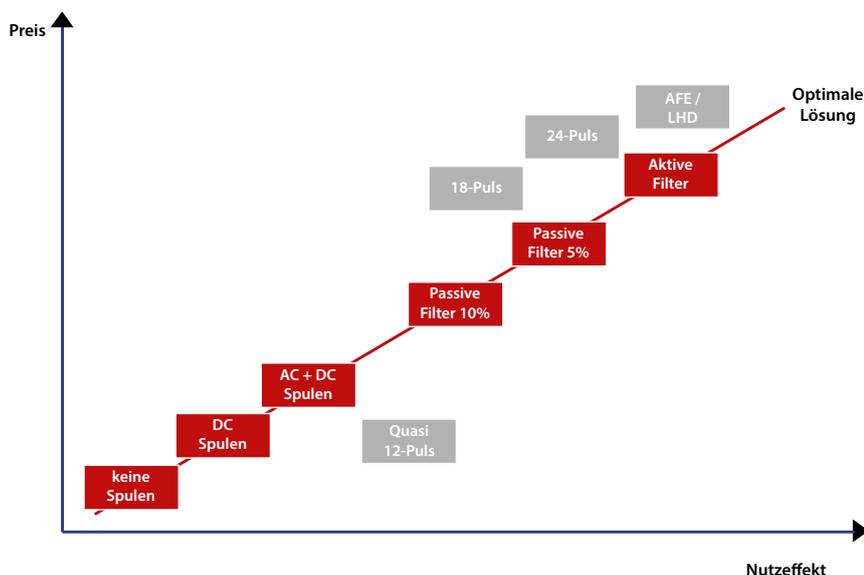
## Er stellt die optimale Lösung dar für:

- Erfüllung aller Oberwellenanforderungen und -standards
- Netze mit Generatorantrieb
- Weiche Netze
- Umrichterinstallationen in Netzen mit begrenzter Kurzschlussleistung

## Die Geräte sind verfügbar im Spannungsbereich:

- 380 – 460 V AC 50 – 60 Hz und im Leistungsbereich
- 132 - 630 kW hohe Überlast/
- 160 - 710 kW normale Überlast Schutzart
- IP 21 / NEMA 1, IP 54 Hybrid

Übersicht über die Maßnahmen zur Reduzierung von Oberschwingungen.



# Hochfrequente Funkstörungen

## Funkstörungen

Frequenzumrichter erzeugen variable Drehfeldfrequenzen bei entsprechenden Motorspannungen durch rechteckige Spannungspulse mit verschiedener Breite. In den steilen Spannungsflanken sind hochfrequente Anteile enthalten. Motorkabel und Frequenzumrichter strahlen sie ab und leiten sie auch über die Leitung zum Netz hin. Zur Reduzierung derartiger Störgrößen auf die Netzeinspeisung nutzen die Hersteller Funkentstörfilter (auch RFI-Filter, Netzfilter oder EMV-Filter genannt). Sie dienen einerseits dem Schutz der Geräte vor hochfrequenten leitungsgebundenen Störgrößen (Störfestigkeit), andererseits der Reduzierung der hochfrequenten Störgrößen eines Geräts, die es über das Netzkabel oder die Abstrahlung des Netzkabels aussendet. Die Filter sollen diese Störaussendungen auf ein vorgeschriebenes gesetzliches Maß begrenzen, dementsprechend sollten sie möglichst von Anfang an in den Geräten eingebaut sein. Wie bei Netzdrosseln ist auch bei Funkentstörfiltern die Qualität des einzusetzenden Filters klar zu definieren. In der Produktnorm EN 61800-3 und Fachgrundnorm EN 55011, sind konkrete Grenzwerte für Störpegel definiert.

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	2. Umgebung
Spannung/ Strom	< 1000 V			>1000 V I <sub>n</sub> >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

Klassifikation der neuen Kategorien C1 bis C4 der Produktnorm EN 61800-3

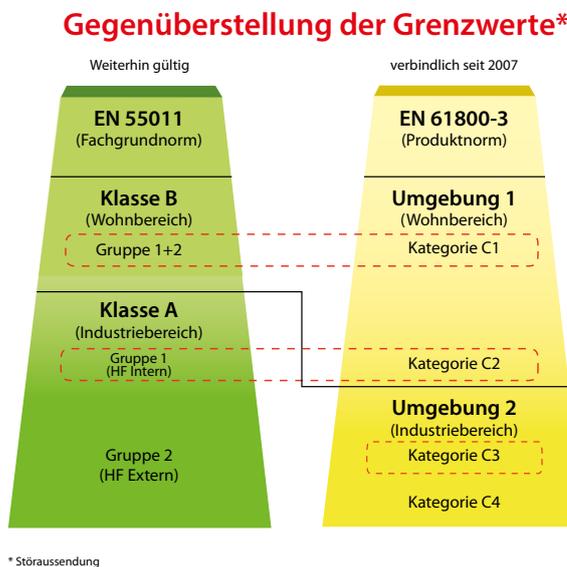
### Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte

Für eine umfassende Beurteilung hochfrequenter Funkstörungen sind zwei Normen zu beachten. Zum einen definiert die Umgebungsnorm EN 55011 die Grenzwerte in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Umgebungen Industrie mit den Klassen A1/A2 oder Wohnbereich der Klasse B. Daneben definiert die Produktnorm EN 61800-3 für elektrische Antriebssysteme, die seit Juni 2007 gültig ist, neue Kategorien C1

bis C4 für den Einsatzbereich der Geräte. Diese sind zwar bezüglich der Grenzwerte mit den bisherigen Klassen vergleichbar, lassen jedoch innerhalb der Produktnorm eine erweiterte Anwendung zu.

#### Hinweis:

EN 55011: Muss der Anlagenbetreiber bei Problemen einhalten.  
EN 61800-3: Muss der Hersteller des Umrichters beachten.



\*Gegenüberstellung der neuen Kategorien C1 bis C4 gemäß Produktnorm EN 61800-3 und der Klassen A und B der Umgebungsnorm EN 55011.

# Der Einsatzort entscheidet - 1. und 2. Umgebung

Die Grenzwerte für die jeweilige Umgebung sind durch die entsprechenden Normen vorgegeben. Doch wie erfolgt die Einteilung in die verschiedenen Umgebungstypen? Auch hier geben die Normen EN 55011 und EN 61800-3 für den Bereich der elektrischen Antriebssysteme und Komponenten Auskunft:

## 1. Umgebung / Klasse B: Wohnbereich

Als Wohn- bzw. Geschäfts- und Gewerbebereich sowie Kleinbetrieb gelten alle Einsatzorte, die direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen sind. Sie besitzen keine eigenen Hoch- oder Mittelspannungs-Verteil-Transformatoren zur separaten Versorgung.

Die Umgebungsbereiche gelten sowohl innerhalb als auch außerhalb der Gebäude. Beispiele hierfür sind: Geschäftsräume, Wohngebäude/ Wohnflächen, Gastronomie- und Unterhaltungsbetriebe, Parkplätze, Vergnügungsanlagen oder Sportanlagen.

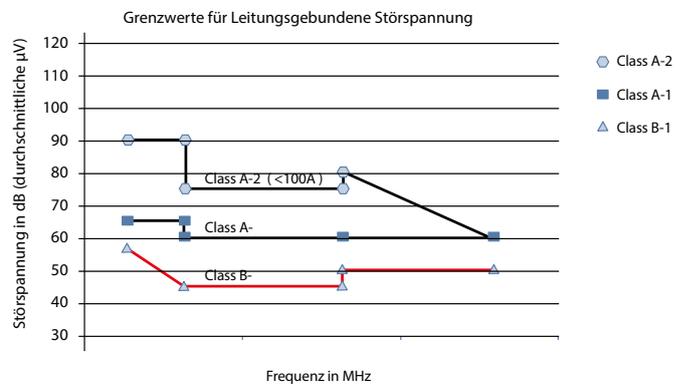
## 2. Umgebung / Klasse A: Industriebereiche

Industriebereiche sind Einsatzorte, die nicht direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen sind, sondern eigene Hoch- oder Mittelspannungs-Verteil-Transformatoren besitzen. Zudem sind sie im Grundbuch als solche definiert und durch besondere elektromagnetische Gegebenheiten gekennzeichnet:

- Vorhandensein wissenschaftlicher, medizinischer und industrieller Geräte
- Schalten großer induktiver und kapazitiver Lasten
- Auftreten hoher magnetischer Felder (z. B. wegen hohen Stromstärken)

Die Umgebungsbereiche gelten sowohl innerhalb als auch außerhalb der Gebäude.

Grenzwerte für leitungsgebundene Störspannung gemäß EN 55011



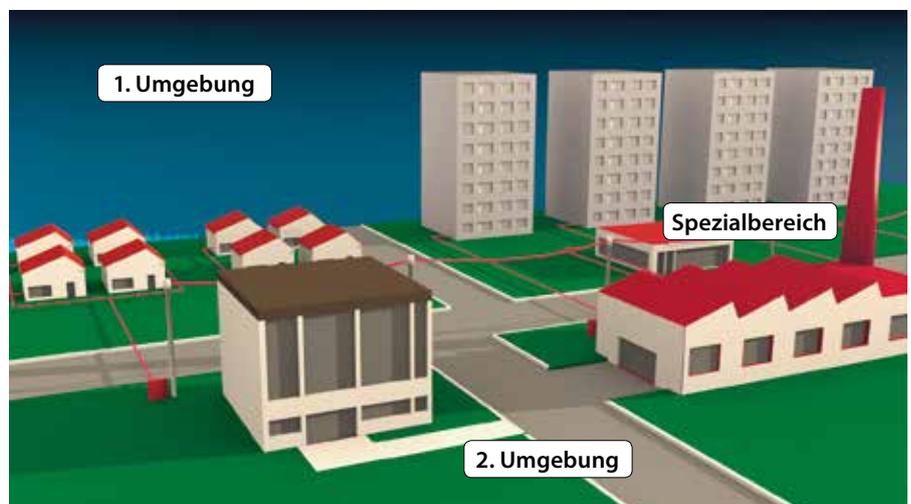
### Spezialbereiche

Hier entscheidet der Anwender, welchem Umgebungsbereich er seine Anlage zuordnen möchte. Voraussetzung ist ein eigener Mittelspannungs-Transformator und eine eindeutige Abgrenzung zu anderen Bereichen. Innerhalb seines Bereichs muss er eigenverantwortlich die notwendige elektromagnetische Verträglichkeit sicherstellen, die allen Geräten unter bestimmten Bedingungen ein fehlerfreies Funktionieren gewährleistet. Beispiele hierfür sind technische Bereiche von Einkaufszentren, Supermärkten, Tankstellen, Bürogebäuden oder Lagern.

### Keine Kompromisse

Werden Frequenzrichter verwendet, die nicht der Kategorie C1 entsprechen, dann müssen die Geräte mit einem Warnhinweis versehen werden. Diese Aufgabe obliegt dem Anwender/Betreiber.

Im Falle einer Störung legen Sachverständige in jedem Fall zur Störungsbeseitigung die Grenzwerte A1/2 und B der Fachgrundnorm EN 55011 entsprechend der Einsatzumgebung zugrunde. Die Kosten für die Beseitigung der EMV-Störungen trägt der Betreiber. Für die passende Zuordnung der Klassen in diesen beiden Normen ist letztendlich der Anwender selbst verantwortlich.



Einteilung der Einsatzbereiche in 1. und 2. Umgebung sowie Spezialbereiche, in denen der Betreiber die Wahl hat.

# Maßnahmen zum Schutz des Netzes

## Blindstromkompensation

Blindstromkompensationsanlagen dienen der Kompensation des Phasenverschiebungswinkels  $\varphi$  zwischen Spannung und Strom sowie der Verschiebung des Leistungsfaktors  $\cos \varphi$  in Richtung 1. Dies ist erforderlich, wenn viele induktive Verbraucher (Motoren, Vorschaltgeräte für Lampen, etc.) in einem Versorgungsnetz zum Einsatz kommen. Frequenzumrichter nehmen je nach Ausführung des Zwischenkreises keinen Blindstrom aus dem Versorgungsnetz auf und erzeugen keine

Phasenverschiebung. Der  $\cos \varphi$  ist etwa 1. Aus diesem Grunde brauchen Anwender drehzahlgeregelte Motoren bei der Dimensionierung einer eventuellen Blindstromkompensationsanlage nicht zu berücksichtigen. Da Frequenzumrichter aber Oberschwingungen erzeugen, steigt der Aufnahme­strom der Blindstromkompensationsanlage an. Die Belastung der Kondensatoren wächst mit der Anzahl der Oberschwingungserzeuger und sie erwärmen sich stärker. Aus diesem Grunde muss der

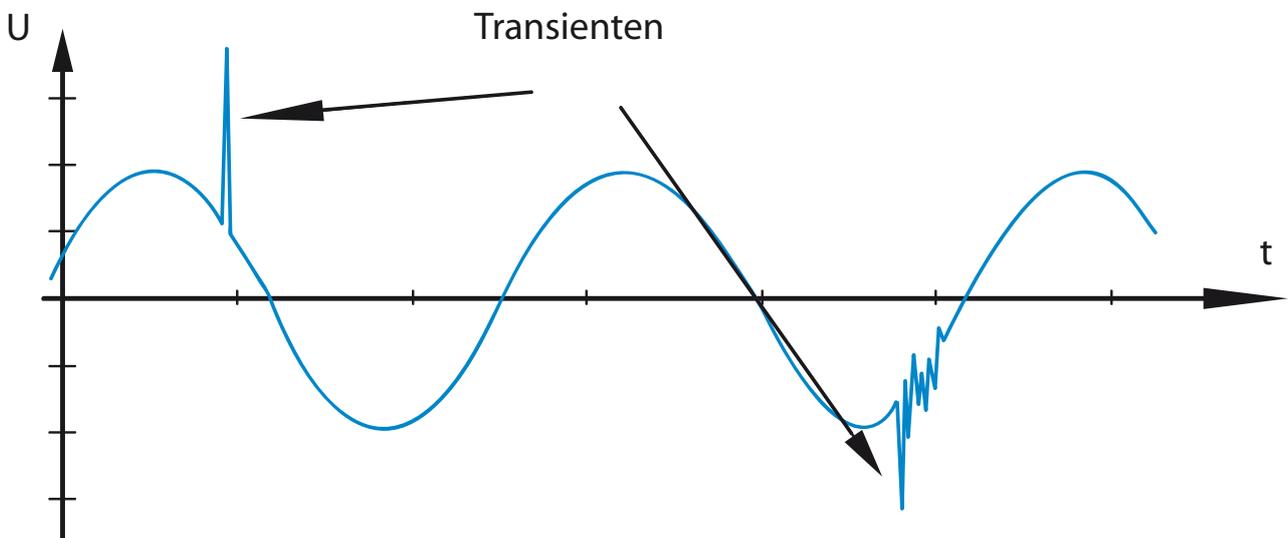
Betreiber seine Blindstromkompensationsanlagen verdrosselt ausführen. Zudem verhindert die Verdrosselung, dass Resonanzen zwischen den Induktivitäten der Verbraucher und der Kapazität der Kompensationsanlage entstehen. Ebenso erfordern Umrichter mit  $\cos \varphi < 1$  eine Verdrosselung der Kompensationsanlage. Zusätzlich muss der Anwender den höheren Blindstrom bei der Kabelauslegung beachten.

## Netztransienten

Transienten sind kurzzeitige Überspannungsspitzen im Bereich von einigen 1000 V. Auftreten können sie in allen Versorgungsnetzen, sei es in der Industrie oder auch in Wohnbereichen. Eine häufige Ursache von Transienten sind Blitzeinschläge. Sie entstehen aber auch dadurch, dass große Verbraucher im Versorgungsnetz ein- und ausgeschaltet werden oder z. B.

Blindstromkompensationsanlagen schalten. Kurzschlüsse, das Auslösen von Sicherungen in Versorgungsnetzen und magnetisch induktive Kopplung in parallel verlaufenden Kabeln können ebenfalls Transienten verursachen. Die Norm EN 61000-4-1 stellt dar, welche Formen diese Transienten haben und welche Energie in ihnen enthalten ist. Ihre schädigenden

Auswirkungen lassen sich mit verschiedenen Methoden begrenzen. Für energiereiche Transienten kommen als Grobschutz Gasableiter oder Funkenstrecken zum Einsatz. Elektronische Geräte nutzen zur Bedämpfung als Feinschutz meist spannungsabhängige Widerstände (Varistoren). Frequenzumrichter greifen ebenso auf diese Lösung zurück.



Blitzeinschläge gehören zu den häufigsten Verursachern von Netztransienten in HLK- und Klimaanlageanlagen.

# Betrieb am Transformator oder Generator

## Maximale Transformatorauslastung

Betreiber können in Niederspannungsnetzen (400 V, 500 V, 690 V) drehzahlgeregelte Antriebe bis ca. 1 MW einsetzen. Die notwendige Spannung setzt ein Transformator aus dem Mittelspannungsnetz um. Im öffentlichen Versorgungsnetz (1. Umgebung: Wohnbereich) übernimmt diese Aufgabe das Energieversorgungsunternehmen (EVU). In Industrienetzen (2. Umgebung: Industriebereich; meist 500 V, 690 V) steht dieser Transformator beim Endverbraucher, der auch für die Einspeisung in seine Anlage selbst verantwortlich ist.

### Belastung des Transformators

Bei Trafos, die Frequenzumrichter mit Spannung versorgen, ist zu beachten, dass durch den Einsatz von Frequenzumrichtern und anderen Gleichrichterlasten Oberschwingungen entstehen, die den Transformator zusätzlich mit Blindleistung belasten. Daraus resultieren höhere Verluste und eine zusätzliche Erwärmung. Im schlimmsten Fall kann es zu einer Zerstörung des Trafos kommen. Intelligente Schaltgruppen (Zusammenschalten mehrerer Trafos) löschen Oberschwingungen gegebenenfalls aus.

### Spannungsqualität

Für die Sicherstellung der Qualität der Netzspannung nach den gültigen Normen stellt sich die Frage: *Wie viel Frequenzumrichterlast verträgt der Transformator?*

Netzberechnungsprogramme, wie beispielsweise die HCS-Software [www.danfoss.de/software](http://www.danfoss.de/software) geben eine genaue Aussage darüber, wieviel Frequenzumrichterlast in einer vorgegebenen Anlage ein Transformator versorgen kann.

**Bemerkung:** Frequenzumrichter der Serie VLT® AutomationDrive verfügen alle über eine standardmäßig integrierte Netzurückwirkdrossel.

## Betrieb am Notstromgenerator

Betreiber setzen immer dann Netzersatzanlagen ein, wenn sie wie z. B. in der Prozesstechnik Verbraucher auch bei Ausfall der Netzspannung weiter betreiben müssen. Zudem kommen sie auch dann zum Einsatz, wenn der vorhandene Netzanschluss nicht die benötigte Leistung zur Verfügung stellt. Der Betrieb parallel zum öffentlichen Netz ist ebenfalls möglich, um eine höhere Netzleistung zu erreichen. Dies wird gern bei gleichzeitigem Bedarf von Wärmeleistung praktiziert, die in Blockheizkraftwerken anfällt. Sie nutzen den dabei erzielbaren hohen Wirkungsgrad dieser Energieumwandlung.

Bei einer Netzersatzschaltung mittels Generator ist die Netzimpedanz meist höher, als bei einem Betrieb am öffentlichen Netz. Dies führt zu ansteigenden Oberschwingungsgehalten. Bei richtiger Auslegung können Generatoren in einem Netz mit Oberschwingungserzeugern arbeiten. Das bedeutet für die Praxis:

- Beim Umschalten von Netzbetrieb auf Generatorspeisung ist üblicherweise mit einem Anstieg der Oberschwingungsbelastung zu

rechnen

- Planer und Betreiber sollten den Anstieg der Oberschwingungsbelastung berechnen oder messen, um eine vorschriftsmäßige Spannung zu garantieren und damit Störungen und Ausfällen vorzubeugen.
- Eine unsymmetrische Belastung des Generators ist zu vermeiden, da erhöhte Verluste auftreten und der Oberschwingungsgehalt ansteigen kann.
- Eine 5/6-Sehnung der Generatorwicklung bedämpft die 5. und 7. Oberschwingung, lässt dabei aber die 3. ansteigen. Ein 2/3-Sehnung reduziert die 3. Oberschwingung.
- Anlagen zur Blindstromkompensation sollte der Betreiber nach Möglichkeit abschalten, da Resonanzen

im Netz auftreten können.

- Drosseln oder aktive Saugfilter können Oberschwingungen bedämpfen. Parallel betriebene ohmsche Verbraucher wirken ebenfalls dämpfend, während parallel betriebene Kondensatoren für eine zusätzliche Belastung durch unkalulierbare Resonanzeffekte sorgen.

Bei Berücksichtigung dieser Verhaltensweisen, kann ein Netz bei Generatorspeisung einen gewissen Anteil an Frequenzumrichtern verkraften und dennoch die vorgeschriebene Netzqualität halten. Eine genauere Kalkulation ist beispielsweise mit der Netzberechnungssoftware HCS (Harmonic Calculation Software) möglich. [www.danfoss.de/software](http://www.danfoss.de/software)

Beim Betrieb von Oberschwingungserzeugern gelten die Grenzen wie folgt:

B2- und B6-Gleichrichter	→	max. 20 % Belastung des Generators
verdrosselter B6-Gleichrichter	→	max. 20-35 % Belastung des Generators abhängig von der Beschaffung
gesteuerte B6-Brücken	→	max. 10 % Belastung des Generators

Die o.g. Daten zur maximalen Belastung sind empfohlene Richtwerte, mit denen die Anlage erfahrungsgemäß störungsfrei funktioniert.

# Umgebungs- und Umweltbedingungen

## Der richtige Einbauort

Eine hohe Verfügbarkeit und Standzeit im Einsatz befindlicher Frequenzumrichter ist nur bei richtiger Kühlung und sauberer Luft ge-

geben. Daher beeinflusst die Wahl des Einbauortes und der Einbauverhältnisse maßgeblich die Lebensdauer dieser Geräte.

## Schaltschrank- oder Wandmontage?

Die Frage, ob Frequenzumrichter besser zentral in einem Schaltschrank oder dezentral an einer Wand zu montieren sind, ist nicht mit richtig oder falsch zu beantworten. Denn beide Varianten bieten sowohl Vor- als auch Nachteile.

Die Schaltschrankvariante bietet den Vorteil, alle elektrischen und elektronischen Komponenten dicht beisammen und geschützt in einem Gehäuse, dem Schaltschrank, unterzubringen. Der Schaltschrank kommt dabei fertig bestückt als komplette Einheit zum Einbau in die Anlage. Nachteilig ist, dass sich Komponenten durch die räumliche Baudichte innerhalb des Schanks gegenseitig beeinflussen können und daher dem EMV-konformen Aufbau des Schaltschranks besondere Bedeutung zukommt. Außerdem steigen die Investitionskosten für geschirmte Motorkabel, da Schaltschrank und

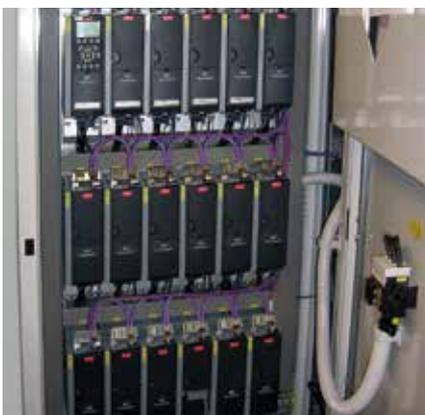
Antrieb in der Regel deutlich weiter voneinander getrennt stehen, als bei der dezentralen Lösung.

Die Wandmontage ist aufgrund der räumlichen Nähe zwischen Frequenzumrichter und Antrieb aus EMV-Sicht einfacher zu handhaben und kommt deswegen auch mit deutlich geringeren Kosten für geschirmte Motorkabel aus. Der geringe Mehrpreis für einen Frequenzumrichter in Schutzart IP54 fällt kaum ins Gewicht.

### **Bemerkung:**

*Danfoss Frequenzumrichter stehen in drei Schutzarten zur Verfügung:*

- Schutzart IP00/20 für den Einbau in Schaltschränke
- Schutzart IP54/55 für dezentrale Montage
- Schutzart IP66 für kritische Umgebungsbedingungen, wie extrem hohe (Luft-) Feuchtigkeit oder starke Verschmutzung durch Staub oder aggressive Gase.



*Frequenzumrichter lassen sich zentral, in Schaltschränke oder dezentral in der Nähe des Antriebs installieren. Beide Konzepte haben Vor- und Nachteile.*

# IP-Schutzklassen

## Struktur der IP-Schutzklassen nach IEC 60529

		Gegen Eindringen von festen Fremdkörpern	Gegen Zugang zu gefährlichen Teilen mit
Erste Kennziffer	0	(nicht geschützt)	(nicht geschützt)
	1	≥ 50 mm Durchmesser	Handrücken
	2	12,5 mm Durchmesser	Finger
	3	2,5 mm Durchmesser	Werkzeug
	4	≥ 1,0 mm Durchmesser	Draht
	5	Staubgeschützt	Draht
	6	Staubdicht	Draht

		Gegen Eindringen von Wasser mit schädlicher Wirkung	
Zweite Kennziffer	0	(nicht geschützt)	
	1	senkrechtes Tropfen	
	2	Tropfen (15° Neigung)	
	3	Sprühwasser	
	4	Spritzwasser	
	5	Strahlwasser	
	6	starkes Strahlwasser	
	7	zeitweiliges Untertauchen	
	8	dauerndes Untertauchen	

		Ergänzende Information speziell für	
Erste Kennziffer	A		Handrücken
	B		Finger
	C		Werkzeug
	D		Draht

		Ergänzende Information speziell für	
Ergänzender Buchstabe	H	Hochspannungsgeräte	
	M	Bewegung während Wasserprüfung	
	S	Stillstand während Wasserprüfung	
	W	Wetterbedingungen	

Fehlende Kennziffern werden durch ein >X< ersetzt.

Berührungssichere Umrichter in den Schutzarten IP20 und 21 (Bild rechts) sind für die Montage in Schaltschränken vorgesehen. Spritzwasser geschützte Umrichter in den Schutzarten IP 54 und 55 (Bild links) sind für die Montage an Wänden oder auf Rahmen konzipiert.



# Kühlkonzept

**Die äußeren klimatischen Bedingungen und Umgebungsvariablen haben auf die Kühlung aller elektrischen und elektronischen Komponenten eines Schaltbaus/Schalt-schranks einen entscheidenden Einfluss.**

## Umgebungstemperaturen einhalten

Für alle Frequenzumrichter sind Temperaturgrenzen für die minimale und maximale Umgebungstemperatur angegeben. Meist sind diese Grenzen durch die eingesetzten elektronischen Komponenten vorgegeben. So darf beispielsweise die Umgebungstemperatur für die im Zwischenkreis eingebauten Elektrolytkondensatoren aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Kapazität eine gewisse Grenze nicht unterschreiten. Obwohl Frequenzumrichter noch bis  $-10\text{ °C}$  funktionieren, garantieren Hersteller den Betrieb bei Bemessungsleistung erst ab  $0\text{ °C}$ . Vermeiden Sie daher den Einsatz in frostgefährdeten Bereichen (z. B. nicht isolierten Betriebsräumen).

Doch auch die Maximaltemperatur sollten Sie nicht überschreiten. Elektronische Komponenten sind empfindlich gegen Wärme. Nach dem Arrhenius-Gesetz halbiert sich die Lebensdauer eines elektronischen Bauteils pro  $10\text{ °C}$ , die Sie über seiner Auslegungstemperatur betreiben. Dies gilt nicht nur für Geräte, die in Schaltschränken eingebaut sind. Auch bei Einsatz von Geräten der Schutzklassen IP54, IP55 und IP66 darf die Umgebungstemperatur die in den Handbüchern geforderten Werte nicht über- oder unterschreiten. Dies macht eventuell die Klimatisierung von Montageräumen oder Schaltschränken notwendig. Die Vermeidung extremer Umgebungstemperaturen erhöht die Lebensdauer von Frequenzumrichtern und damit die gesamte Anlagenverfügbarkeit.

## Kühlung

Frequenzumrichter geben Verlustleistung in Form von Wärme ab. Die Größe der Verlustleistung in Watt ist in den technischen Daten der Frequenzumrichter angegeben. Betreiber sollten geeignete Maßnahmen ergreifen, die entstehenden Wärmeverluste der Frequenzumrichter aus dem Schaltschrank abzuführen, beispielsweise durch Schaltschranklüfter. Die erforderlichen Luftmengen sind in den Herstellerunterlagen angegeben. Frequenzumrichter sind so zu montieren, dass der Kühlluftstrom ungehindert durch die Kühlrippen des Geräts strömen kann. Besonders bei IP20 Geräten im Schaltschrank besteht somit die Gefahr, dass durch zu enge Montage der Komponenten der Luftstrom nicht frei zirkulieren kann und Wärmester entstehen. Die richtigen, unbedingt einzuhaltenden Montageabstände finden Sie in den Handbüchern.

## Luftfeuchtigkeit

Obwohl Frequenzumrichter zum Teil noch bei relativ hoher Luftfeuchtigkeit funktionieren (bei Danfoss bis zu 95 % Luftfeuchtigkeit), muss eine Betauung ausgeschlossen sein. Diese Gefahr besteht besonders dann, wenn

der Frequenzumrichter oder Teile von ihm kälter sind, als die mit hoher Feuchtigkeit beladene Umgebungsluft. Die Luftfeuchtigkeit kann dann auf der Elektronik kondensieren. Beim Wiedereinschalten können die Wassertröpfchen in diesem Fall zu einem Kurzschluss in der Elektronik führen. Normalerweise tritt dies nur bei vom Netz getrennten Frequenzumrichtern auf. Daher empfiehlt sich dort, wo aufgrund der Umgebungsbedingungen eine Betauung nicht auszuschließen ist, eine Schaltschrankheizung vorzusehen. Alternativ hilft auch ein Standby-Betrieb des Frequenzumrichters (FU ständig am Netz), um die Gefahr der Betauung zu verringern. Prüfen Sie, ob die Verlustleistung in Form von Verlustwärme ausreichend ist, um die Elektronik im Frequenzumrichter trocken zu halten.

**Hinweis:** Beachten Sie, dass einige Hersteller von Frequenzumrichtern neben Mindestabständen ober- und unterhalb der Geräte, auch seitliche Abstände zum nächsten Gerät vorschreiben.



Das intelligente Kühlkonzept der VLT® Frequenzumrichter führt bis zu 85% der Verlustwärme aus dem Gerätegehäuse über Kühlkanäle ab.

# Besondere Anforderungen

## Aggressive Luft oder Gase

In Industrieanlagen treten häufig aggressive Gase, wie beispielsweise Schwefelwasserstoff, Chlor oder Ammoniak auf. Eine Kontamination der Kühlluft kann langfristig zur Zersetzung von Elektronikbauteilen und Leiterbahnen in Frequenzumrichtern führen. Betroffen sind davon alle elektronischen Geräte in der Elektroinstallation bzw. im Schaltschrank. Liegt eine solche Kontamination der Umgebungsluft vor, sollten Betreiber/ Anlagenbauer die Frequenzumrichter entweder an Orten einbauen, an denen eine Kontamination mit Sicherheit ausgeschlossen ist (beispielsweise anderes Gebäude, gekapselter Schaltschrank mit Wärmetauscher, etc.) oder sie sollten Geräte bestellen, deren Platinen mit einem speziellen Schutzlack beschichtet sind, der den aggressiven Bestandteilen in den Gasen wider-

steht. Ein deutliches Zeichen für aggressive Umgebungsluft ist die Korrosion von Kupfer. Wenn sich dieses innerhalb kurzer Zeit schwarz färbt, Blasen wirft oder sich sogar zersetzt, sollten Platinen/Geräte mit einer zusätzlichen Lackierung zum Einsatz kommen. Gegen welche Medien in bestimmter Konzentration eine Beschichtung widersteht, ist in der internationalen Norm IEC 60721-3-3 beschrieben.

**Hinweis:** Überlegen Sie bereits in der Planungs- und Projektierungsphase woher die Luft zur Kühlung von Elektroinstallationen kommt.

**Bemerkung:** Der VLT® AutomationDrive verfügt serienmäßig über eine Beschichtung der Klasse 3C2. Auf Wunsch ist auch eine Beschichtung nach Klasse 3C3 erhältlich.

Klassifikation gemäß IEC 60721-3-3 "Durchschnittswerte" sind zu erwartende Langzeitwerte  
"Max. Werte" sind vorübergehende Spitzenwerte die pro Tag nicht länger als 30 Minuten auftreten.

Umgebungsparameter	Einheit	Klasse					
		3C1	3C2		3C3		
			Durchschnittswert	Max. Wert	Durchschnittswert	Max. Wert	
Meersalz	mg/m <sup>3</sup>	Nein	Salznebel		Salznebel		
Schwefeloxid	mg/ m <sup>3</sup>	0,1	0,3	1,0	5,0	10	
Schwefelwasserstoff	mg/ m <sup>3</sup>	0,01	0,1	0,5	3,0	10	
Chlor	mg/ m <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,3	0,3	1,0	
Chlorwasserstoff	mg/ m <sup>3</sup>	0,01	0,1	0,5	1,0	5,0	
Fluorwasserstoff	mg/ m <sup>3</sup>	0,003	0,01	0,3	0,1	3,0	
Ammoniak	mg/ m <sup>3</sup>	0,3	1,0	3,0	10	35	
Ozon	mg/ m <sup>3</sup>	0,01	0,05	0,1	0,1	0,3	
Stickstoff	mg/ m <sup>3</sup>	0,1	0,5	1,0	3,0	9,0	

## Staubbelastung

Der Einbau von Frequenzumrichtern in Umgebungen mit hoher Staubbelastung lässt sich in der Praxis oft nicht vermeiden. Dieser Staub dringt auch in jede noch so kleine Ritze und setzt sich überall ab. Betroffen sind dabei nicht nur dezentral an Wänden und Rahmen montierte Frequenzumrichter in den Schutzarten IP55 oder IP66, sondern auch Geräte in Schutzart IP20, IP21, die im Schaltschrank montiert sind. Kommen Frequenzumrichter in solchen Umgebungen zum Einsatz, müssen Sie drei Dinge beachten:

- **Verminderte Kühlung**

Staub setzt sich auf der Oberfläche der Geräte und auch im Inneren der Geräte auf den Platinen sowie den elektronischen Komponenten ab. Er wirkt dann wie eine Isolationschicht. Die Komponenten können Wärme schlechter an die umgebende Luft abgeben. Dies reduziert die Kühlleistung. Die Komponenten erwärmen sich stärker. Eine schnellere Alterung der elektronischen Komponenten ist die Folge, und die Lebensdauer der betroffenen Frequenzumrichter sinkt. Das gleiche geschieht, wenn sich der Kühlkörper an der Rückseite von Frequenzumrichtern mit Staub zusetzt.

- **Kühllüfter**

Den Luftstrom zur Kühlung von Frequenzumrichtern erzeugen Kühllüfter, die meist an der Rückseite der Geräte sitzen. Die Rotoren in den Lüftern haben kleine Lager, in die der Staub eindringt und dort wie ein Schleifmittel wirkt. Die Folge sind Ausfälle von Lüftern wegen Lagerschäden.

- **Filtermatten**

Vor allem Frequenzumrichter im höheren Leistungsbereich verfügen über Kühllüfter, die die warme Luft aus dem Geräteinneren nach außen fördern. Diese Lüfter haben ab einer bestimmten Größe Filtermatten, die das Eindringen von Staub ins Gerät verhindern. Beim Einsatz in sehr staubigen Umgebungen setzen sich diese Filtermatten sehr schnell zu, was ebenfalls eine verminderte Kühlung zur Folge hat. Die Lüfter können die Komponenten im Frequenzumrichter nicht mehr richtig kühlen.

*Hinweis: Es ist ratsam, unter den oben genannten Gegebenheiten in regelmäßigen Wartungsintervallen die Frequenzumrichter zu reinigen: Blasen Sie Staub aus dem Kühlkörper und säubern Sie die Filtermatten regelmäßig.*



# Ex-Bereich

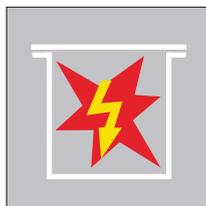
## Ex-gefährdete Bereiche

Antriebssysteme arbeiten häufig in explosionsgefährdeten Bereichen. Kommen dort zur Drehzahlregelung dieser Motoren und Pumpen Frequenzumrichter zum Einsatz, müssen Anlagen besondere Bestimmungen erfüllen. Die Grundlage bildet hier die EU-Richtlinie 94/9/EG, die sogenannte ATEX-Richtlinie. Sie beschreibt den Einsatz und Betrieb von Ausrüstung und Schutzeinrichtungen in explosionsgefährdeter Umgebung. Die Richtlinie vereinheitlicht EU-weit die Regeln und Anforderungen für den Betrieb elektrischer und elektronischer Geräte in potentiell gefährlicher Umgebung, beispielsweise hervorgerufen durch Stäube oder Gase. Außerdem sollte sich der Anwender bei der Installation von Frequenzumrichtern an die NAMUR-Empfehlung NE 38 halten.

Regeln Frequenzumrichter Motoren in Ex-gefährdeten Bereichen, müssen diese Motoren unter anderem mit einer Temperaturüberwachung durch Kaltleitertemperaturfühler ausgestattet sein. Zur Auswahl stehen Motoren der Zündschutzart „d“ und auch „e“. Der Unterschied zwischen den Zündschutzarten besteht in der Art und Weise, mit der das Zünden eines explosiven Mediums unterbunden wird. In der Praxis kamen an Frequenzumrichtern sehr selten Motoren mit der Schutzart „e“ zum Einsatz. Eine solche Kombination musste zusammen als eine Einheit mit einer aufwendigen und teuren Baumusterprüfung abgenommen werden. Als Alternative hat die PTB in Braunschweig ein neues Zulassungsverfahren entwickelt, das zukünftig den Einsatz von Drehzahlregelungen an Ex-e-Motoren deutlich einfacher macht.

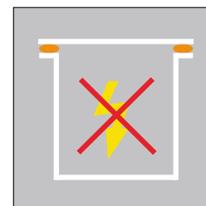
Motoren der Schutzart Ex-d, müssen für den Umrichterbetrieb zugelassen sein. Diese Motoren erhalten dann ein zweites Typenschild mit den Daten für den Umrichterbetrieb.

### Druckfeste Kapselung „d“ nach EN 60079-1, ISA 60079-1, IEC 60079-1



Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, sind in ein Gehäuse eingeschlossen, das bei der Explosion eines explosionsfähigen Gemischs im Innern deren Druck aushält und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebene Atmosphäre verhindert (Quelle Norm EN 60079-1)

### Erhöhte Sicherheit „e“ gemäß EN 60079-7; ISA 60079-7, IEC 60079-7



Hier sind zusätzliche Maßnahmen getroffen, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit die Möglichkeit unzulässig hoher Temperaturen und das Entstehen von Funken und Lichtbögen im Innern oder an äußeren Teilen elektrischer Betriebsmittel, bei denen diese im normalen Betrieb nicht auftreten, zu verhindern.

Eine separate Abnahme des Systems aus Umrichter und für den Umrichterbetrieb zugelassenen druckfesten Motore ist dann nicht mehr erforderlich.

Die meiste Verbreitung haben „de“-Motoren. Der Motor selbst hat dabei die Zündschutzart „d“, während der Anschlussraum nach Zündschutzart „e“ ausgeführt ist. Die Einschränkung des „e“-Anschlussraums liegt in der maximalen Spannungshöhe. Durch die Modulation der Ausgangsspannung können am Umrichterausgang Spannungsspitzen entstehen, die die zulässigen Grenzen im Ex-e-Anschlussraum überschreiten. In der Praxis hat sich der Einsatz von Sinusfiltern am Ausgang von Frequenzumrichtern bewährt, der unter anderem die hohen Spannungsspitzen bedämpft.

**Hinweis:** Installieren Sie Frequenzumrichter nie direkt im Ex-gefährdeten Bereich. Die Installation muss außerhalb dieser Zone im Schaltschrank erfolgen. Ebenso ist der Einsatz von Sinusfiltern am Ausgang der Frequenzumrichter zu empfehlen. Denn sie bedämpfen die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit  $du/dt$  und die Spannungsspitzen  $U_{peak}$ . Die Länge des angeschlossenen Motorkabels ist auf Grund des Spannungsabfalls am Kabel möglichst kurz zu halten.

**Bemerkung:** Die Frequenzumrichter Serie VLT® AutomationDrive verfügen mit der MCB 112 über eine PTB-zertifizierte Motorkaltleiterauswertung für Ex-gefährdete Bereiche. Beim Einsatz von VLT® Frequenzumrichtern mit nachgeschaltetem Sinusfilter sind keine geschirmten Motorkabel erforderlich.

## Zoneneinteilung

Gas	Zone 0*	ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
	Zone 1*	ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.
	Zone 2*	ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährlich explosionsfähigen Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.
Staub	Zone 20*	ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
	Zone 21*	ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub bilden kann.
	Zone 22*	ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

\*Definitionen aus Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)

Die obenstehende Tabelle beschreibt in einfacher Form, wie die Zoneneinteilungen definiert sind. Die Zonen geben Auskunft darüber, mit welcher Häufigkeit und welcher Zeitdauer mit dem Auftreten einer explosionsgefährlichen Atmosphäre zu rechnen ist. Zu beachten gilt, dass bei der Auswahl der im Ex-Bereich eingesetzte

Komponenten, diese in ihrer Kategorie mindestens der vorherrschenden Zone entsprechen müssen. Weitere Kriterien sind die Temperaturklassen, sowie die Explosionsgruppen. So ist der Einsatz eines Elektromotors in Zone 0 generell nicht möglich. Unbedingt erforderlich ist, dass die bestimmungsgemäße Zulassung eines

eingesetzten Gerätes der Art der explosionsfähigen Atmosphäre gerecht werden muss: Staub (Kennzeichen D) oder Gas (Kennzeichen G). Darüber hinaus gelten weitere Vorgaben z. B. im Bereich des Bergbaus zum Schlagwitterschutz.

# Sicherheitsfunktionen in Antrieben

Drehzahlgeregelte Antriebe sind in der chemischen Industrie in stark wachsender Zahl anzutreffen. Mit steigendem Kostendruck suchen Betreiber dann neue Lösungswege, Kosten zu sparen, die Verfügbarkeit in Anlagen zu erhöhen und die Sicherheit zu verbessern. Eine Möglichkeit ist dabei, Sicherheitsfunktionen, die bisher mit diskreten Komponenten aufgebaut waren, in Antriebe zu verlagern. Dies senkt die Kosten bei den Raumkosten ebenso wie bei Installation und Verdrahtung, aber auch bei Fehlersuche und Wartungseinsätzen. Moderne Frequenzumrichter bieten dafür eine Vielzahl von Möglichkeiten

## Motor-Alleinschutz

Eine Antriebslösung, die die erforderlichen Bauteile, Verdrahtung, Schnittstellen, Planungsaufwand und Montagezeiten für den Motor-Alleinschutz reduziert, bietet erhebliche Einsparmöglichkeiten.

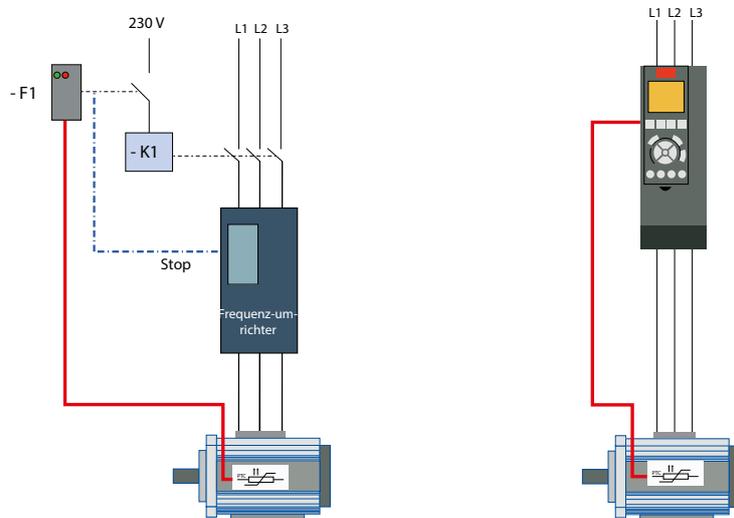
Neben der Aufgabe, die Motordrehzahl anzupassen, können Frequenzumrichter die für den Explosionsschutz relevanten Funktionen integrieren. Durch eine ATEX-zertifizierte PTC-Auswerteelektronik in Verbindung mit einer ebenfalls zertifizierten und sicheren Möglichkeit, die Energie zum Motor abzuschalten, ist die Grundfunktion der Motorüberwachung im explosionsgefährdeten Bereich gesichert. Kommt zu dieser Funktionalität die Profibusanbindung hinzu, und steht die PTC-Auswertung als internes, auswertbares Signal des Frequenzumrichters zur Verfügung, verringert sich der Aufwand an Signalleitungen, Montage und Schnittstellenplanung merklich. Eine solche Lösung bietet beispielsweise Danfoss mit seinem VLT® AutomationDrive mit Profibus- und PTC-Modul an. Auf Grund der sichergestellten Unterbrechung der Energiezufuhr zum Motor durch geräteinternes redundantes Abschalten der IGBT-Zündstufenversorgung und gleichzeitiger Zündimpulssperre, ist die Verwendung eines

Hauptschützes, eines eventuell benötigten Koppelrelais und der erforderlichen Steuerspannungssicherung im Einspeisefeld überflüssig.

Die in der Chemie verbreitete Profibusanwendung eröffnet weiteres Einsparpotenzial. Der VLT® AutomationDrive mit Profibus und PTC Modul hilft dies zu nutzen, und reduziert Planungs und Montageaufwand ebenso, wie Baugruppenbedarf im Prozessleitsystem. Im Fehlerfall vereinfacht sich eine Fehlersuche und -behebung stark, Ausfall- und Reparaturzeiten werden auf ein Minimum reduziert.

## Explosionsschutzkonzept für drehzahlvariable Antriebe der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“

Das bisherige Zulassungsverfahren für umrichter gespeiste Motoren der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“ (kurz Ex e) war sehr unflexibel und aufwendig. Betreiber wichen daher bei Anwendungen in explosionsgefährdeten Bereichen häufig auf die deutlich teureren Motoren mit druckfester Kapselung (Ex d) aus. Mittlerweile hat die PTB jedoch ein neues Zulassungsverfahren entwickelt, das zukünftig den Einsatz von Drehzahlregelungen an Ex-e-Motoren deutlich attraktiver macht.



Die PTC Thermistor Card MCB112 kann, wie jede andere Option des VLT® AutomationDrive FC 302 auch, vor Ort schnell und kostengünstig per „Plug & Play“ nachgerüstet werden.

Das neue Konzept sieht nur die Abnahme des Motors selbst vor, der jedoch in seiner EG-Baumusterprüfbescheinigung spezielle Anforderungen für die thermische Überwachung definiert. So wird neben der üblichen zertifizierten Kaltleiterauswertung zusätzlich eine drehzahlabhängige Strombegrenzung gefordert, um der reduzierten Kühlung von eigenbelüfteten Motoren bei Drehzahlregelung Rechnung zu tragen.

## Vorteile des neuen Konzepts:

### Kostengünstige und flexible Alternative

Das neue Verfahren eröffnet zukünftig interessante Energieeinsparpotenziale durch den günstigeren Einsatz einer Drehzahlregelung - insbesondere bei Pumpen und Lüfterantrieben, bei denen aufgrund hoher Umrüstkosten keine Umstellung erfolgte.

### Unkompliziert

Flexibler Einsatz von Drehzahlregelung bei Motoren mit Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“.

### Kompakt

Deutlich geringere Baugröße, Gewicht und Kosten im Vergleich zur Drehzahlregelung von Motoren mit druckfester Kapselung.

### Flexibel

Leichte Kombinierbarkeit und dadurch geringere Lagerhaltung von Motoren und Umrichter.

### Sicher

Zukunftssicherer Betrieb des Ex e - Motors (kombinierbar auch mit Nachfolgerien).

### Günstig

Reduzierte Investitionskosten ermöglichen frühere Amortisation bei Einsatz der Drehzahlregelung zur Energiekosteneinsparung.

### Universell

Durchgängige Lösung im Leistungsbereich ab 0,4 kW, für 400/500/690 V.

## Sonderfunktionen für Chemieanwendungen

### Optionale Sicherheitsfunktionen für VLT® AutomationDrive

Gemeinsam mit der Firma Zieh Industrielektronik hat Danfoss ein PTB-zertifiziertes Modul entwickelt für den Alleinschutz eines Frequenzumrichter geeigneten explosionsgeschützten Motors. Dies spart externe Komponenten, teuren Schaltschrankplatz sowie Verdrahtungsaufwand. Das Modul ist geeignet, PTC nach DIN 44081 und DIN 44082 anzuschließen und zu überwachen. Die Überwachung des Fühlerkreises auf Kurzschluss und Leitungsbruch ist selbstverständlich integriert.

Durch Nutzung der serienmäßig im FC 302 integrierten „Safe Stop“-Funktion nach Performance Level d nach EN ISO 13849-1 bzw Sil 2 nach EN 61508, kann auf eine Netztrennung mittels Schütz verzichtet werden.

### ATEX Zertifizierung für Ex-e-Motore

Ebenso können Frequenzumrichter vom Typ VLT® AutomationDrive zur Steuerung von ATEX zertifizierten Motoren für den FU-Betrieb beliebiger Hersteller in den Zonen 1 und 2 (Gas) sowie den Zonen 21 und 22 (Staub) verwendet werden. Mit der MCB 112 PTC-Option können Anwender die erforderliche ATEX-

zertifizierte Temperaturüberwachung nun direkt im Frequenzumrichter realisieren.

### Auswertefunktion für Ex-e-Motoren

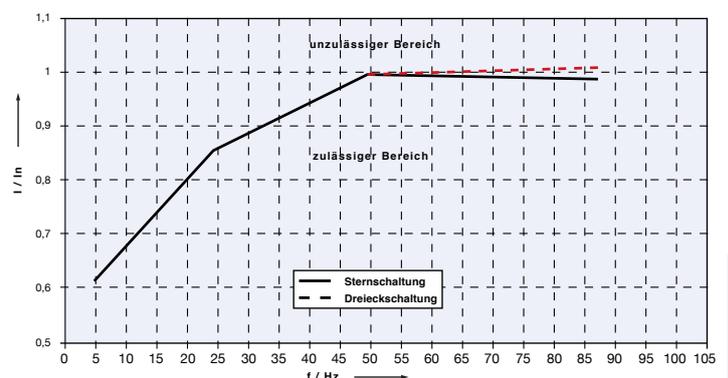
Zusätzlich bieten die VLT® AutomationDrive eine spezielle Auswertefunktion, die den Betrieb von Frequenzumrichter - geeigneten ATEX - zertifizierten Ex-e-Motoren ermöglicht. Die für die Auswertefunktion benötigten Angaben sind auf dem Motortypenschild entsprechend abgenommener Ex-e-Motoren vorhanden und Anwender können sie während der Inbetriebnahme über das Bedienteil oder die MCT 10 Programmiersoftware einfach eingeben.

### Klemmenbezeichnung nach NAMUR NE 37

In Verbindung mit dem Erweiterungsmodul MCB 113 kann im VLT® AutomationDrive FC 302 die Funktionalität der Steuerklemmenleiste nach NAMUR-Empfehlung NE37 ohne zusätzliche externe Peripherie bereitgestellt werden. Damit gelingt es, mit minimalem Platzbedarf hohe Funktionalität und Sicherheit in die Anlage zu integrieren.



Die drehzahlabhängigen Daten für die Auswertefunktion sind auf dem Typenschild (links) enthalten und können bei der Inbetriebnahme eingegeben werden. Anschließend überwacht die Auswertefunktion (rechte Grafik) den eigenbelüfteten Motor gemäß den Vorgaben während der Drehzahlregelung.



CE		VEM motors GmbH		Ex e II		Th.KI./Th.ol. 155 [F/B]				
0637		D 38855 Wernigerode		II 2G T3		IP 55 53 kg				
3 ~ Mot. Nr./N° 161507/0001		K11R 132 S4		Exe II T3 TWS		VIK HW				
Y				Δ						
Hz	Nm	kW	min-1/r.p.m	V	A	Nm	kW	min-1/r.p.m	V	A
5	15	0,186	118	40	5,7	15	0,186	118	23	9,9
25	25	1,855	707	200	8,1	25	1,855	707	115	14
50	30	4,551	1444	400	9,4	30	4,551	1444	230	16,3
87	17	4,46	2493	400	9,3	30	8,016	2554	400	16,5
Prüf./Test		19.03.2008		Beschein./Certif.		PTB08ATEX3001X/01				
IM B3						DIN EN 60034-1				
Fett/Grease										
DE 6208 ZZ C3 DIN 625		cm³		h		NAT 130 °C				
NE 6207 ZZ C3 DIN 625		cm³								

# Motoreignung für FU-Betrieb

## Auswahlkriterien

Im Zusammenhang mit Frequenzumrichter-geregelten Motoren, gibt es folgende Punkte zu beachten:

- Isolationsbeanspruchung
- Lagerbeanspruchung
- Thermische Beanspruchung

### Isolationsbeanspruchung

Der Betrieb eines Motors mit Frequenzregelung belastet die Motorwicklung stärker, als bei reinem Netzbetrieb. Dazu tragen vor allem die hohe Spannungsanstiegsgeschwindigkeit  $du/dt$  sowie das Motorkabel in Abhängigkeit von Länge, Typ, Verlegung, etc. bei.

Die hohe Spannungsanstiegsgeschwindigkeit verursachen die schnell schaltenden Halbleiter im Wechselrichter der Frequenzumrichter. Diese takten mit einer hohen Frequenz im Bereich von 2-20 kHz und sehr kurzen Schaltzeiten, um einen sinusförmigen Stromverlauf nachzubilden.

Am Motor ist die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit in Verbindung mit dem Motorkabel für folgende Dinge verantwortlich:

- Hohe Impulsspannungen  $\hat{U}_{LL}$  an den Motorklemmen belasten die Phasenisolierung stärker.
- Höhere Impulsspannungen zwischen Wicklung und Blechpaket  $\hat{U}_{LE}$  beanspruchen die Nutisolation stärker.
- Die höhere Spannungsbelastung zwischen den Windungen  $\hat{U}_{Wdg}$  beansprucht die Drahtisolation wesentlich stärker.

### Lagerbeanspruchung

Unter ungünstigen Umständen kann es vorkommen, dass frequenzgeregelter Motoren mit Lagerschäden durch Lagerströme ausfallen. Ein Lagerstrom fließt dann, wenn am Lager-schmierspalt eine Spannung anliegt, die hoch genug ist, die Isolierung des Schmiermittels zu durchschlagen. Tritt dieser Fall ein, so kündigen steigende Lagergeräusche den bevorstehenden Ausfall an. Zu den Arten von Lagerströmen zählen hochfrequente Zirkularströme, Erdströme und EMD-Ströme (Funkenerosion). Welche dieser Ströme zu Lagerschäden führen, ist von folgenden Einflussfaktoren abhängig:

- Netzspannung am Eingang des Frequenzumrichters
- Spannungsanstiegsgeschwindigkeit  $du/dt$
- Art des Motorkabels
- Elektrische Schirmung
- Erdung der Anlage
- Baugröße des Motors
- Erdungssystem von Motorgehäuse und Motorwelle

Lagerströme lassen sich durch folgende Maßnahmen reduzieren:

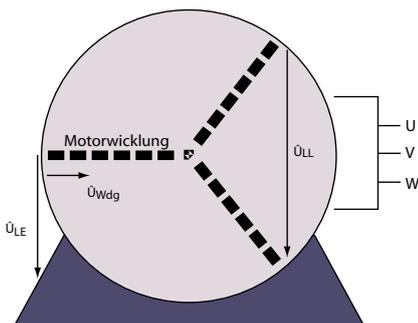
- Einsatz von Ausgangsfiltern (Ausgangsdrosseln;  $du/dt$ -Filter; Sinusfilter und Common Mode Filter);
- Einsatz von isolierten Lagern
- Gute Erdverbindung mit niedriger Impedanz aller metallenen Anlagenteile
- Geschirmte Motorkabel
- Einsatz eines Gleichspannungsunterdrückungsfilters

**Hinweis:** Lassen Sie sich vom Motorhersteller bestätigen, dass der Motor für den Betrieb an einem Frequenzumrichter ausgelegt ist und in welchem Drehzahlbereich Sie ihn betreiben dürfen (min/max Drehzahl).

**Hinweis:** Lagerströme entstehen aus dem Gesamtsystem aus Frequenzumrichter, Motor, Kabel und Erdung. Die IEC 60034-17 empfiehlt, Maßnahmen ab einer Achshöhe von 315 mm (ca. 132 kW) zu treffen.

### Thermische Beanspruchung

Ist der Umrichter nicht in der Lage, die volle Netzspannung bei Netznennfrequenz zu erzeugen, empfiehlt sich die Ausführung der Motorisolation in der Wärmeklasse F. Die Motortemperatur erhöht sich bei niedrigerer Motorspannung im Vergleich zum reinen Netzbetrieb um bis zu 10 K. Die sogenannte Übermodulation kann die maximale Ausgangsspannung des Frequenzumrichters erhöhen, um z. B. Spannungsabfälle aufgrund eingesetzter Sinusfilter auszugleichen oder das Drehmoment des Motors oberhalb der Nenndrehzahl zu erhöhen. Die Motorerwärmung liegt dann bei Normmotoren (bis Baugröße 315) im Bereich der Zusatzerwärmung durch Netztoleranzen und ist somit zu vernachlässigen. Bei Transnormmotoren (ab Baugröße 355) schreiben Hersteller allerdings teilweise eine Leistungsreduzierung vor. Übermodulation führt zu kleinen Momentenrippeln an der Motorwelle. Diese können zu ungewollten mechanischen Vibrationen führen. In Lüftungsanlagen können beispielsweise systembedingt mechanische Resonanzen auftreten. Anwender sollten das System bei der Inbetriebnahme daraufhin überprüfen. Gerade bei kritischen Anwendungen sollten Sie vor einer dauerhaften Aktivierung Rücksprache mit den Herstellern halten.



Im Motor treten Impulsspannungen an den Motorklemmen  $\hat{U}_{LL}$  und zwischen Wicklung und Blechpaket  $\hat{U}_{LE}$  auf. Zudem existiert eine Spannungsbelastung zwischen den Windungen  $\hat{U}_{Wdg}$  der Motorwicklung

# Ausgangsfiler

## Sinus- oder du/dt-Filter

Zur Gruppe der Ausgangsfiler gehören Sinus- und du/dt-Filter. Im Unterschied zu Sinusfiltern haben du/dt-Filter lediglich die Aufgabe, die Spannungsanstiegsgeschwindigkeiten zu reduzieren. Sie sind einfacher konstruiert als Sinusfilter (Werte für L und C sind geringer) und sind dadurch im Preis günstiger.

Sinusfilter, auch Motorfilter oder LC-Filter genannt, arbeiten optional auf der Ausgangsseite von Frequenzumrichtern. Sie glätten die rechteckförmigen Spannungspulse am Ausgang zu einer nahezu sinusförmigen Ausgangsspannung.

### Funktionen und Aufgaben von Sinusfiltern

Sinusfilter sind nur für niedrige Frequenzen passierbar. Hohe Frequenzen werden somit herausgefiltert und Strom und Spannung werden nahezu sinusförmig. Durch den sinusförmigen Verlauf von Spannung und Strom entfällt der Einsatz spezieller Frequenzumrichter motoren mit verstärkter Isolierung. Die Motorstörgeräusche werden ebenfalls gedämpft. Der Sinusfilter senkt die Belastung der Motorisolation und Lagerströme im Motor. Dies verlängert die Motorlebensdauer und Wartungsintervalle. Sinusfilter ermöglichen den Anschluss langer Motorkabel in Anwendungen, bei denen der Motor in größerer Entfernung vom Frequenzumrichter installiert ist. Da der Filter nicht zwischen Motorphasen und Masse wirkt, reduziert er die Ableitströme in den Kabeln nicht. Daher ist die Motorkabellänge begrenzt.

- Reduziert Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt an den Motorklemmen.
- Reduzieren die Spannungsspitzen  $\dot{U}_{LL}$ .
- Reduzieren Motorgeräusche.
- Verringert Verluste im Motor.
- Geringere Halbleiterausfälle im Frequenzumrichter bei längeren Motorkabeln.

- Verringert elektromagnetische Ausstrahlungen von Motorkabeln durch Beseitigung von hochfrequentem Überspringen im Kabel.
- Reduzieren elektromagnetische Störungen von nicht abgeschirmten Motorkabeln und erlauben bei Danfoss-Frequenzumrichtern auch den Betrieb mit ungeschirmten Motorkabeln gemäß Funkentstörklasse C2 nach EN 61800-3.

### Sinusfilter kommen bei folgenden Anwendungen zum Einsatz:

- Anwendungen, in denen Taktfrequenzgeräusche vom Motor beseitigt werden müssen.
- Nachmontage in Anlagen mit alten Motoren mit mangelhafter Isolation.
- Die Ursachen für Lagerströme sind vielfältig, wirksame Gegenmaßnahmen sind Sinusfilter, die Kreisströme reduzieren oder eliminieren.
- Anwendungen, in denen der Motor unter aggressiven Umgebungsbedingungen aufgestellt ist oder mit hohen Temperaturen läuft.
- Anwendungen mit Motorkabeln bis 150 Metern (mit abgeschirmten Kabeln) und bis zu 300 Metern (mit nicht abgeschirmten Kabeln). Die Verwendung von längeren Motorkabeln als 300 Meter hängt von der jeweiligen Anwendung ab.
- Anwendungen, in denen das Wartungsintervall des Motors verlängert werden muss.
- Immer dann, wenn kein Normmotor eingesetzt wird (Motorhersteller fragen).

### Nachträglicher Einbau/Retrofit

Stellt ein Betreiber in Anlagen ältere Motoren, die bisher direkt am Netz liefen, auf Drehzahlregelung um und rüstet sie mit einem Frequenzumrichter nach, empfiehlt sich grundsätzlich der Einsatz eines Sinusfilters, wenn nicht aus dem Motordatenblatt sicher hervorgeht, dass die Wicklung für Frequenzumrichterbetrieb ausgelegt ist.

Im Rahmen von Umbaumaßnahmen ist oft ein Austausch von alten Motoren mit schlechtem Wirkungsgrad gegen neue, energieeffiziente Frequenzumrichter-taugliche Motoren sinnvoll. In diesen Fällen entfällt ein zusätzlicher Sinusfilter. Der neue Motor amortisiert sich allein durch die geringeren Energiekosten meist in kürzester Zeit.

### Reduzierung von Lagerströmen

Lagerströme verringern die Lebensdauer von Motorlagern. Um die Lagerströme zu reduzieren, empfiehlt die IEC 60034-17 Maßnahmen ab einer Achshöhe von 315 mm, was einer Motorleistung von etwa 132 kW und darüber entspricht. Sinusfilter reduzieren die Kreisströme (Lager-Lager-Ströme), Common Mode Filter reduzieren hochfrequente Gleichtaktstörungen gegen Erde.

Kreisströme (Lager-Lager-Ströme) werden durch du/dt-Filter leicht reduziert, hochfrequente Gleichtaktstörungen gegen Erde können durch Common Mode Filter eliminiert werden. Neben einer Verwendung der genannten Filter ist eine einwandfreie EMV-Installation unbedingt erforderlich.



Ausgangsfilter IP20 (links) oder IP00 (rechts) reduzieren die Spannungsspitzen  $U_{peak}$  und die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt moderner Frequenzumrichter und schonen damit die Isolation des Motors.

# du/dt-Filter

## du/dt-Filter – einfacher und kostengünstig

Wie bereits erwähnt, haben du/dt-Filter niedrigere L- und C-Werte und sind damit kostengünstiger und kleiner als Sinusfilter. Bei einem du/dt-Filter ist der Spannungsverlauf noch immer pulsformig, der Strom ist jedoch sinusförmig. du/dt-Filter reduzieren die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit der Impulse an den Motorklemmen, typisch auf ca. 500 V/μs. Die maximal anschließbare Kabellänge liegt bei 150 Metern. Um die Funkentstörklasse C2 nach EN 61800-3 einzuhalten sind geschirmte Motorleitungen erforderlich.

### Danfoss empfiehlt die Verwendung von du/dt-Filtern in den folgenden Anwendungen:

- Anwendungen mit häufigem regenerativem Bremsen.
- Motoren, die nicht für Frequenzumrichterbetrieb ausgelegt sind und die IEC 60034-25 nicht einhalten.

- Motoren, die unter aggressiven Umgebungsbedingungen aufgestellt sind oder bei hohen Temperaturen betrieben werden.
- Anwendungen mit Überschlagrisiko.
- Anlagen mit alten Motoren (Nachmontage) oder Universalmotoren, die IEC 60034-17 nicht erfüllen.
- Anwendungen mit kurzen Motorkabeln (unter 15m), da dann die Anstiegszeit kurz ist, wodurch hohe du/dt-Werte entstehen. Diese können eine schädlich hohe Potentialdifferenz zwischen den Wicklungen im Motor hervorrufen, die zu Isolationsdurchschlag und -überschlag führen kann.
- 690-V-Anwendungen.



Common Mode Filter

	dU/dt-Filter	Sinusfilter	Common Mode Filter
Belastung der Motorisolation	Reduziert - Betrieb langer Motorkabel möglich	Reduziert - Betrieb langer Motorkabel möglich	Keine Reduzierung
Belastung der Motorlager	Leicht Reduziert	Reduziert Kreisströme, aber keine Gleichtaktströme	Reduziert Gleichtaktströme
Elektromagnetische Verträglichkeit	Beseitigt Überschwinger in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse	Beseitigt Überschwinger in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse	Reduziert hochfrequente Emissionen (über 1 MHz). Keine Änderung der EMV-Klasse.
Max. Motorkabellänge EMV konform	Herstellerabhängig. FC 302: max. 150m geschirmt	Herstellerabhängig. FC 302: max. 150m geschirmt bzw. max. 300m ungeschirmt	Herstellerabhängig. FC 302: max. 150m geschirmt
Max. Motorkabellänge EMV Nicht konform	Herstellerabhängig. FC 302: max. 150m ungeschirmt	Herstellerabhängig. FC 302: max. 500m ungeschirmt	Herstellerabhängig. FC 302: max. 300m ungeschirmt
Taktfrequenzgeräusche am Motor	Kein Einfluss	Reduziert	Kein Einfluss
Relative Größe (zum Umrichter)	15-50% (Leistungsabhängig)	100%	5-15%
Spannungsabfall	0,5%	4-10%	Keiner

# Motor und Verkabelung

## Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) von Motoren

### Verbindliche Mindestwirkungsgrade

Für eine höhere Energieeffizienz in Anlagen hat die EU eine Reihe von neuen Regularien entwickelt, die sich auch auf die Wirkungsgrade eingesetzter Motorentechnik erstreckt.

Seit Sommer 2011 gelten in der EU verbindliche Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) für Drehstromasynchronmotoren. Die Regelung der EU sieht bis 2017 eine schrittweise Erhöhung der Anforderungen an die Motorwirkungsgrade vor. Grundlage für die auch Minimum Efficiency Performance Standards (MEPS) genannten Mindestwirkungsgradklassen bilden die in der IEC 60034-30 definierten und international anerkannten IE-Wirkungsgradklassen (IE = International Efficiency). Die Grenzwerte der Klassen sind teilweise mit den in Europa verbreiteten eff-Klassen vergleichbar.

### Betroffene Drehstrommotoren

Die Einhaltung der MEPS ist verpflichtend für folgende Drehstromasynchronmotoren:

- Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) bzw. S3 (Aussetzbetrieb) mit einer Einschaltdauer (ED) > 80 %.
- Polzahl 2 bis 6.
- Leistungsbereich von 0,75 – 375 kW.
- Bemessungsspannung bis 1000 V.

Die Einführung der MEPS soll zur Energieeinsparung beitragen. Allerdings kann in seltenen Fällen die Lösung auch mehr Energie verbrauchen. Deshalb sind in der EU-Verordnung Nr. 640/2009 technisch sinnvolle Ausnahmen für verschiedene Anwendungsbereiche beschrieben. Hierzu gehören u. a.:

- Motoren in explosionsgeschützten Bereichen (im Sinne der Richtlinie 94/9/EG) und Bremsmotore.
- Sondermotoren, die für eine der folgenden Betriebsbedingungen bestimmt sind:
  - Umgebungstemperaturen über 40 °C.
  - Umgebungstemperaturen unter 15 °C (Luftgekühlte Motoren 0 °C).
  - Betriebstemperatur über 400 °C.
  - Kühlwassertemperatur ist kleiner 5° C oder größer als 25° C.
  - Betrieb über 1000m über Meereshöhe.
- Motoren die vollständig in einem Produkt wie z. B. Getriebe, Pumpen, Lüfter integriert sind oder die, wie z. B. Tauchpumpen, komplett in einem flüssigen Medium betrieben werden.

Bei Getriebemotoren gilt in Europa der Motor nicht als integraler Bestandteil und wird separat gemessen. Ähnlich ist die Vorgehensweise bei Sondermotoren. Es wird der Basismotor gemessen und die Wirkungsgradklasse auf Varianten des Motors übertragen.

### Alternativen zu den geforderten IE3-Motoren

Als Alternative zu den geplanten IE3-Klassen können Anwender auch umrichter gespeiste IE2-Motoren einsetzen. Die Einhaltung der Klasse IE3 oder der Alternative IE2 mit Umrichter muss der Anwender am „point of putting into service“ sicherstellen.

### Motorkompatibilität

Die neuen hohen Wirkungsgradklassen können bei IE2- und IE3-Motoren zu einer größeren Bauform führen. Dies kann vor allem beim Austausch älterer Motoren ein Problem darstellen, wenn nicht genügend Raum bereitsteht, um bestehende Montagepunkte zu nutzen.

### Getriebemotoren

Der Einsatz energieeffizienter Elektromotore zum Betrieb von Getrieben ist heute Standard. Herstellerabhängig kann der Anwender zwischen verschiedenen Effizienzklassen wählen, die sein Antriebsmotor haben soll. Die Effizienzkategorie des Motors bezieht sich allerdings nur auf den Motor und nicht auf die Kombination aus Getriebe und Motor.

Erhebliches Potenzial bietet die Wahl der Getriebeart. Stirnrad- und Kegelradgetriebe haben in der Regel deutlich bessere Wirkungsgrade, als Schneckengetriebe. Verwendet der Betreiber anstelle von Schneckengetrieben alternativ die ebenfalls kompakt bauenden Kegelradgetriebe, entstehen zunächst höhere Investitionskosten. Durch den besseren Wirkungsgrad und geringeren Flankenverschleiß amortisieren sich diese Kosten aber meistens in kurzer Zeit.

Gerade Getriebemotoren sind prädestiniert für den Betrieb an Frequenzumrichter. Zum einen optimiert der Umrichter den Betrieb des Elektromotors, zum anderen kann der Betreiber durch sie auf mechanische Verstellgetriebe verzichten.

IEC 60034-30	eff-Klassen
IE1 (Standard Efficiency)	vergleichbar eff2
IE2 (High Efficiency)	vergleichbar eff1
IE3 (Premium Efficiency)	ca. 15-20 % besser als IE2

Die IE- Wirkungsgradklassen IE1 - IE3 sind in der internationalen Norm IEC 60034-30 definiert. Die eff-Klassen beruhen auf einer freiwilligen Vereinbarung (1998) der EU mit der CEMEP.

# IE-Klassifizierung von Motoren

## Vorteil PM-Motoren – mehr Energieeffizienz

Da das Erreichen immer höherer Wirkungsgrade bei Drehstromasynchronmotoren immer schwieriger wird, gewinnen zukünftig permanent erregte Synchronmotoren (PM-Motoren) an Bedeutung.

PM-Motoren sind Synchronmotoren mit meist am Rotor angebrachten Permanentmagneten. Solche Motoren kommen schon seit geraumer Zeit im Maschinenbau vor allem bei hochdynamischen Anwendungen in Form von Servoantrieben zum Einsatz. Im Vergleich zu Asynchronmotoren mit ähnlichen Wirkungsgraden (z.B. IE 3) bauen PM-Motoren oft kompakter. Fallende Preise für die verwendeten Dauermagneten machen PM-Motoren auch für Anwendungen mit weniger dynamischen Anforderungen attraktiv.

Bei den jetzt aufkommenden PM-Motoren für Anwendungen in der Industrie steht aber ein anderer Aspekt im Vordergrund – die Energieeinsparung. Durch ihren im Vergleich zu Asynchronmotoren höheren Wirkungsgrad sorgen sie für mehr Energieeffizienz in der Anlage. Daneben bieten sie einige Vorteile wie zum Beispiel eine häufig geringere Baugröße bei gleicher Leistung, geringere Verluste, kleinere Massenträgheitsmomente, einen großen Drehmomentbereich und Drehzahlstellbereich.

Um diesen hohen Wirkungsgrad und die Energieeffizienz auch bei weniger dynamischen Anwendungen wie Lüftern oder Pumpen nutzen zu können, drängen jetzt PM-Motoren in IEC Normbaugrößen auf den Markt. Sie sind nicht auf hohe Dynamik, sondern auf Energieeinsparung hin optimiert und erlauben neben einer einfachen Integration in Neuanlagen ohne aufwändige Neukonstruktionen in vielen Fällen auch die Nachrüstung bestehender Anlagen.

Ob sich der Austausch von Drehstromasynchronmotoren gegen PM-Motoren wirtschaftlich rechnet, hängt von vielen Faktoren ab. Bei entsprechenden Untersuchungen sollte der Betreiber neben den Anschaffungs-, Umbau- und Energiekosten selbstverständlich auch Wartungs- und Ersatzmotorkonzepte betrachten.

**Hinweis:** Die komplette EU-Verordnung Nr. 640/2009 kann kostenlos von der Webseite [www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu) geladen werden.

## VLT® AutomationDrive:

### PM-Motoren optimal steuern

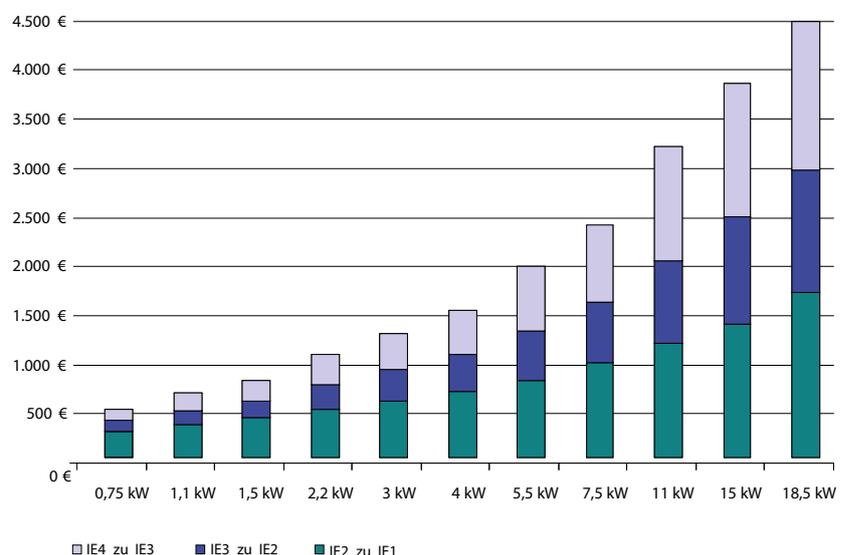
Danfoss liefert jetzt eine verbesserte Version seiner bewährten feldorientierte VVC+ Steuerung; VVC+ PM. Diese umfasst neue Regelalgorithmen, da die Steuerung der PM-Motoren die Winkelposition des Rotors erfordert. Dafür hat Danfoss beispielsweise eine Open-Loop-Lösung entwickelt, die bei Initialisierung die Winkelposition des Rotors ermittelt. Insgesamt ist damit die Inbetriebnahme einer PM-Motors nicht aufwendiger, als das bestens bekannte Verfahren für Asynchronmotoren.

	Leistung	MEPS	MEPS Alternative
Ab 16.06.2011	0,75 – 375 kW	IE2	-
Ab 01.01.2015	0,75 – 7,5 kW	IE2	-
	7,5 – 375 kW	IE3	IE2 + Umrichter
Ab 01.01.2017	0,75 – 375 kW	IE3	IE2 + Umrichter

Nach den Stichtagen dürfen keine neuen Drehstrommotore in der EU ohne die entsprechende IE-Klassifizierung in Europa in Verkehr gebracht werden.

	Motor		
	IE1	IE2	IE3
Achshöhe (EN 50347)	Ja	Ja	meist größer
Fußmaße (EN 50347)	Ja	Ja	meist größer
Motorlänge	Ja	ggfs. länger	ggfs. länger

Drehstromasynchronmotoren mit der Klasse IE2 und IE3 können gegebenenfalls die in der EN 50347 definierten Anschlussmaße nicht einhalten.



Energiekostenvorteil IE-Motor zur nächst besseren IE-Klasse

# Praxis - Motorkabel

## Nennspannungsklasse

Im Motorkabel treten Spannungsspitzen bis zum 3-fachen der DC-Zwischenkreisspannung des Frequenzumrichters auf. Diese belasten das Motorkabel und die Isolation des Motors stark. Die Belastung ist größer, wenn keine du/dt- oder Sinusfilter am Ausgang des Frequenzumrichters installiert sind.

Aus diesem Grunde sollten Motorkabel eine Nennspannungsklasse von mindestens  $U_0/U = 0,6/1$  kV aufweisen. Kabel dieser Klasse werden in der Regel mit einer Hochspannungsprüfung von mindestens 3500 V AC, meist 4000 V AC geprüft und haben sich in der Praxis als durchschlagfest erwiesen.

## Kabeldimensionierung

Der notwendige Querschnitt der Motorkabel ergibt sich aus dem Ausgangsstrom des Frequenzumrichters, der Umgebungstemperatur und der Art der Kabelverlegung. Eine Überdimensionierung des Kabelquerschnitts aufgrund von Oberschwingungen ist nicht notwendig.

Zur Auswahl und Dimensionierung von Kabeln und Leitungen liefert die EN 60204-1 / VDE 0113-1 Strombelastbarkeitskriterien zu Kabelquerschnitten bis zu max. 120 mm<sup>2</sup>. Sind größere Kabelquerschnitte erforderlich, so finden sich nützliche Information in der VDE 0298-4.

## Länge des Motorkabels

Lange Motorkabel sind in Chemieanlagen häufig anzutreffen. Oft sind Pumpen und Frequenzumrichter mehr als 100 m von einander entfernt installiert. Bei der Projektierung ist hier der Spannungsabfall über die Kabellänge zu berücksichtigen. Planen Sie die Anlage so, dass auch bei langen Motorkabeln die volle Ausgangsspannung am Motor ankommt. Die durchschnittliche Länge des an marktübliche Frequenzumrichter anschließbaren Motorkabels liegt zwischen 50 bis 100 m. Und selbst bei diesen Kabellängen steht bei einigen Herstellern nicht mehr die volle Ausgangsspannung zur Verfügung. Benötigen Anwender Kabellängen von mehr als 100 m, so gibt es wenige Hersteller, die diese Anforderung serienmäßig erfüllen. Falls dies nicht der Fall ist, müssen Sie zusätzliche Motordrosseln oder Ausgangsfilter vorsehen, die auch wieder einen zusätzlichen Spannungsabfall verursachen.

## Energiesparen

Der Spannungsabfall und die (Wärme-) Verlustleistung eines Kabels ist annähernd proportional zu seiner Länge und zudem frequenzabhängig. Halten Sie deshalb die Kabelwege so kurz wie möglich und dimensionieren Sie die Kabelquerschnitte nicht größer als elektrisch notwendig.

## Kabel mit geeigneter Schirmung

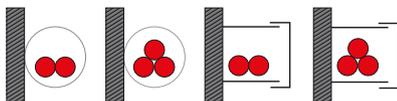
Geschirmte Kabel sollten mindestens eine Schirmabdeckung von 80 % haben. Geeignete Kabeltypen sind zum Beispiel:

- Lapp Ölflex 100-CY
- Helu Y-CY-JB
- Helu Topflex-EMV-UV-2YSLCYK-J

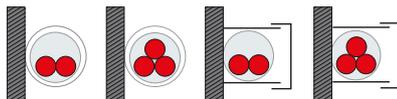
**Hinweis:** Fragen Sie den Hersteller nach der am Frequenzumrichter anschließbaren Kabellänge und dem zu erwartenden Spannungsabfall.

**Bemerkung:** An Frequenzumrichter der Serie VLT® AutomationDrive können Sie serienmäßig geschirmte Kabel bis 150 m und ungeschirmte Kabel bis 300 m anschließen, bei voller Spannung am Motor!

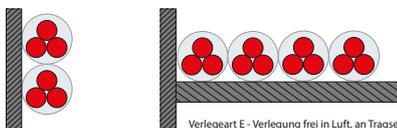
Verlegeart B1 - Aderleitungen im Elektro-Installationsrohr oder geschlossenen Elektro-Installationskanälen



Verlegeart B2 - mehradrige Kabel oder mehradrige Mantelleitung im Elektro-Installationsrohr oder geschlossenen Elektro-Installationskanälen



Verlegeart C - Direkte Verlegung auf oder in Wänden/Decken oder in Kabelwannen



Verlegeart E - Verlegung frei in Luft, an Tragseilen sowie auf Kabelpfeifen und -konsolen

Strombelastbarkeit [A] für T<sub>Amb</sub> 40°C

Verlegeart	B1	B2	C	E
mm <sup>2</sup>				
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0

Auszug aus der EN 60204-1 Strombelastbarkeit von Kabelquerschnitten.

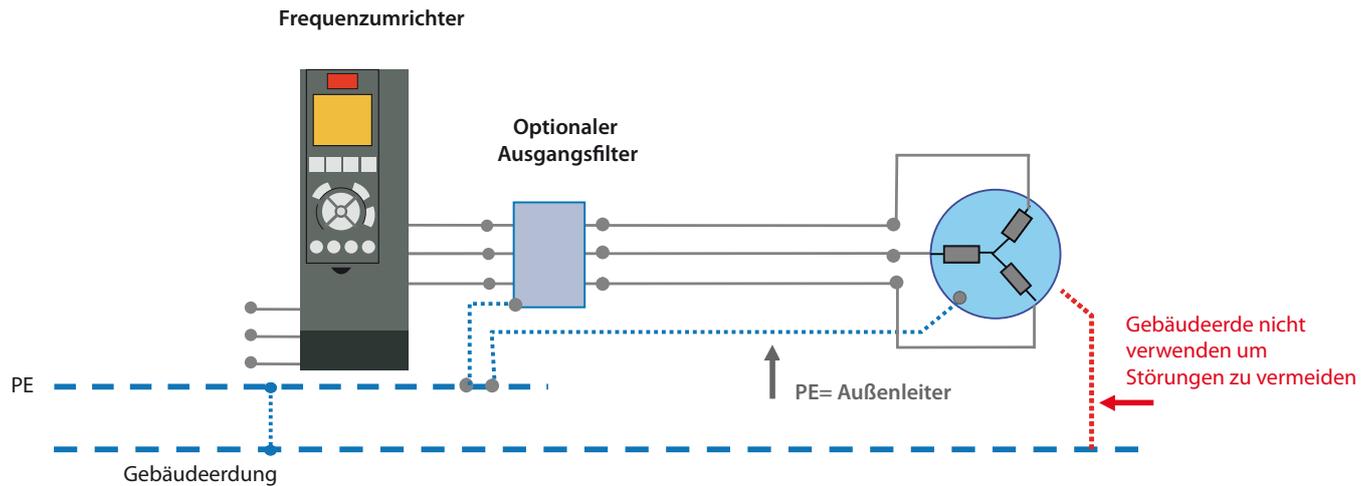
# Praxis - Erdungsmaßnahmen

## Bedeutung von Erdungsmaßnahmen

Erdungsmaßnahmen sind generell zwingend erforderlich, um die gesetzlichen Vorschriften der EMV- und Niederspannungsrichtlinie zu erfüllen. Sie sind Voraussetzung für den wir-

kungsvollen Einsatz weiterer Maßnahmen wie Schirmung oder Filter. Ohne gute Erdungsmaßnahmen erübrigen sich weitere Schritte. Daher ist auch bei der Nachrüstung von Schirmen

und Filtern sowie bei der Fehlersuche zuerst die EMV-gerechte Erdung zu prüfen und sicherzustellen.



Grundsätzlich sollte für jede Anlage ein Erdungsplan erstellt werden.

### Leitfähige Materialien

Betreiber müssen darauf achten, metallische Flächen niederimpedant mit Masse zu verbinden. Für EMV-Maßnahmen ist dabei nicht der Querschnitt der Leitung maßgebend, sondern bedingt durch den Skin-Effekt die Oberfläche, auf der hochfrequente Ströme abfließen. Denn die Stelle mit der geringsten Leiteroberfläche begrenzt das Ableitvermögen. Geerdete Flächen wirken als Schirmmaßnahmen und reduzieren im Umfeld elektromagnetische Felder.

### Sternförmiges Erdungssystem

Alle geerdeten Punkte und Komponenten sind möglichst auf direktem Weg mit dem zentralen Erdungspunkt, beispielsweise einer Potentialausgleichsschiene, zu verbinden. Es entsteht dadurch ein Erdungssystem, das alle Anschlussstellen sternförmig mit dem Erdungspunkt verbindet. Dieser zentrale Erdungspunkt ist eindeutig zu definieren.

### Kontaktstellen

Kontaktstellen sind, von Farbe und Korrosion befreit, großflächig anzuschließen. Kratzscheiben sind dabei besser geeignet, als Unterlegscheiben. Die Verwendung von verzinn-ten, verzinkten oder kadmierten Elementen ist lackierten Bauteilen vorzuziehen. In Steckern sind mehrere Kontakte für die Schirmverbindung vorzusehen.

### Leiteroberfläche

Große Leiteroberflächen zum Ableiten von hochfrequenten Strömen können durch eine feindrahtige Leitung, beispielsweise eine hochflexible Messleitung oder durch spezielle Erdungsbänder oder -kabel, erreicht werden. In der Praxis kommen heute häufig geflochtene Erdungsbänder zum Einsatz, die die starren Leitungen von früher ersetzen. Diese Bänder haben bei selbem Querschnitt eine wesentlich größere Oberfläche.

**Hinweis:** Auf den reibungslosen und störungsfreien Betrieb einer Anlage hat die Erdung des Systems einen wesentlichen Einfluss. Potentialverschleifungen sind zu vermeiden. Ein guter Potentialausgleich ist eine unabdingbare Voraussetzung. Erstellen Sie bereits während der Planungs- und Projektierungsphase einen geeigneten Erdungsplan.

**Bemerkung:** Zusätzliche Informationen finden Sie in unserer Broschüre EMV-Installationsmaßnahmen für Frequenzumrichter.

### Ausführung

Zu Sicherstellung einer ausreichenden Erdung sind die auf Seite 50 beschriebenen Erdungsmaßnahmen in der Praxis beachten.

# Schirmungsmaßnahmen

## Bedeutung von Schirmungsmaßnahmen

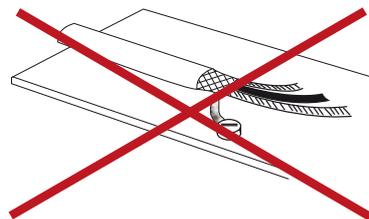
Maßnahmen zur Abschirmung dienen der Reduzierung der abgestrahlten Störenergie (Beeinflussung benachbarter Anlagen und Komponenten) sowie der Verbesserung der Störfestigkeit eines Geräts selbst (Störfestigkeit gegenüber Beeinflussungen von außen). Nachträglich sind sie nur mit erhöhtem Kostenaufwand (z. B. Kabelaustausch, zusätzliche Gehäuse) umzusetzen. Zur Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte geben in der Regel bereits die Hersteller von Frequenzumrichtern entsprechende Informationen aus, die auch Angaben über zusätzlich notwendige Maßnahmen (z. B. geschirmte Leitungen) beinhalten. Frequenzumrichter erzeugen an ihrem Ausgang Impulse mit großer Flankensteilheit. Diese enthalten hochfrequente Anteile (bis in den GHz-Bereich), die zu einer unerwünschten Abstrahlung über die Motorleitung führen. Deshalb sind als Motorleitung geschirmte Kabel einzusetzen. Der Schirm hat die Aufgabe, die hochfrequenten HF-Anteile

»einzufangen« und zur Störquelle, in diesem Fall zum Frequenzumrichter, zurückzuführen.

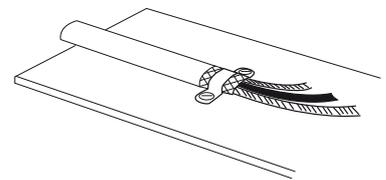
### Geschirmte Kabel und Leitungen

Auch eine gute Schirmung, die die Grenzwerte einhält, eliminiert die Abstrahlung nicht völlig. Im Nahbereich ist mit elektromagnetischen

feldern zu rechnen, die in der Umgebung platzierten Komponenten und Anlagenteile ohne Beeinträchtigung ihrer Funktion aushalten müssen. Die Norm verlangt hierbei die Einhaltung der Grenzwerte in einer vorgegebenen Entfernung (z. B. Klasse B entsprechend 30 dB in 10 m Entfernung). Bei der Höhe der erlaubten Grenzwerte unterscheidet die Norm zwischen einem Einsatz in der 1. (Wohnbereich) und 2. Umgebung (Industriebereich). Für Details lesen Sie bitte den Abschnitt Grenzwerte abhängig vom Einsatzort auf Seite 22 dieser Broschüre.



falsch



richtig

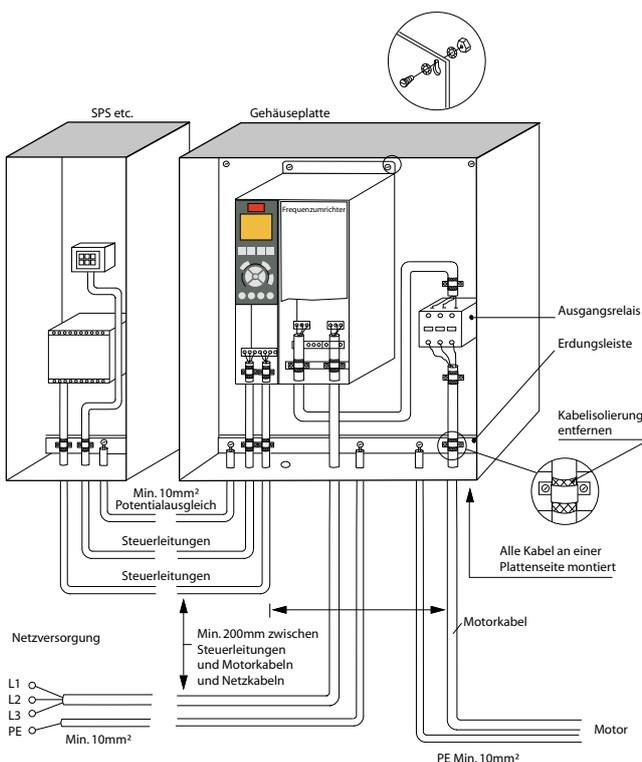
Feldern zu rechnen, die in der Umgebung platzierten Komponenten und Anlagenteile ohne Beeinträchtigung ihrer Funktion aushalten müssen. Die Norm verlangt hierbei die Einhaltung der Grenzwerte in einer vorgegebenen Entfernung (z. B. Klasse B entspre-

### Schirmanschluss

Eine wirksame Kabelschirmung lässt sich nur mit Rundumkontaktierung des Schirms erreichen. Dazu werden EMV- oder Erdungsverschraubungen sowie Erdungsschellen verwendet, die den Schirm ganz umfassen und großflächig mit Masse verbinden. Der Schirm selbst muss zum Erdungspunkt geführt und großflächig untergeklemt sein, an den Leitungsenden ist er möglichst kurz zu halten. Alle anderen Kontaktierungsmaßnahmen führen zu einer Verschlechterung der Wirksamkeit des Schirms. Häufig drehen Anwender die Kabelschirme am Ende zusammen (Pigtails) und verbinden sie über Klemmen mit Masse. Diese Art der Verbindung stellt für die hochfrequenten Anteile einen hohen Übergangswiderstand dar und führt Störungen nicht nur schlechter zur Quelle zurück, sondern strahlt sie vom Schirm wieder ab. Die Schirmwirkung wird dadurch um bis zu 90 % verringert!

### Schirmunterbrechungen

Schirmunterbrechungen z. B. bei Klemmen, Schaltern oder Schützen, sind möglichst niederimpedant und großflächig zu überbrücken.



Erd- und Massekabel sollten aus EMV-Sicht mit möglichst großen Querschnitten, besser noch mit Masselitzen oder feindrahtigem Kabel hergestellt werden.

# Schirmungsmaßnahmen

## Masseverbindung

Die Masseverbindung einer Schirmung hat einen wesentlichen Einfluss auf deren Wirkung. Daher sind bei der Montage von Gehäusen unter den Schrauben Kratzscheiben oder Federlinge zu verwenden und lackierte Flächen freizukratzen, um einen niederimpedanten Übergang zu erreichen. Eloxierte Aluminiumgehäuse z. B. erreichen bei Verwendung von Unterlegscheiben unter den Befestigungsschrauben nur eine ungenügende Masseverbindung. Erd- und Massekabel sollten Sie mit möglichst großen Querschnitten, besser noch mit Masselfitzen oder feindrahtigem Kabel herstellen. Kommen bei niedrigen Motorleistungen Kabelquerschnitte  $< 10 \text{ mm}^2$  zum Einsatz, ist ein separater PE-Leiter mit mindestens  $10 \text{ mm}^2$  vom Umrichter zum Motor zu führen.

## Motorzuleitung

Um die Funkstörgrenzwerte einzuhalten, sind Leitungen zwischen Frequenzumrichter und Motor je nach Herstellerangabe geschirmt zu verlegen und der Schirm **beidseitig** aufzulegen.

## Signalleitung

Der Abstand Motorleitung zu Signalleitung sollte mehr als 20 cm betragen. Netz- und Motorleitung sollten möglichst nicht parallel verlegt sein. Mit zunehmenden Abständen verringert sich die Störbeeinflussung deutlich. Bei kleineren Abständen sind zusätzliche Maßnahmen unbedingt erforderlich (z. B. Trennstege). Es können sonst Störungen eingekoppelt oder übertragen werden. Steuerkabel sollten Sie wie die Motorleitung beidseitig auflegen. In der Praxis könne Sie in Ausnahmefällen eine einseitige Auflage in Betracht ziehen. Sie ist aber nicht zu empfehlen.

## Schirmarten

Für die Schirmung der Leitung zwischen Frequenzumrichter und Motor empfehlen Hersteller von Frequenzumrichtern geschirmte Kabel. Für die

Auswahl sind zwei Kriterien wichtig: Die Schirmabdeckung und die Art der Abschirmung.

Die Schirmabdeckung, d.h. die durch den Schirm abgedeckte Fläche des Kabels, sollte mind. 80 % betragen. Als Art der Abschirmung hat sich ein einlagiges Kupfergeflecht als äußerst wirksam herausgestellt. Wichtig dabei ist, dass der Schirm geflochten ausgeführt ist. Ein Schirm aus gewundenem Kupferdraht dagegen (z. B. Typ NY-CWY) lässt lange Schlitzlängen unbedeckt, aus denen HF-Anteile ungehindert entweichen können. Außerdem ist die Oberfläche für den Ableitstrom deutlich geringer.

Für eine Nachrüstung gibt es Schirmgeflecht als Meterware, das dann – über das Kabel gezogen – die Schirmung übernimmt. Für kurze Verbindungen dienen alternativ Metallschläuche oder -rohre. Kabelkanäle können nur unter bestimmten Bedingungen eine Schirmung ersetzen (strahlungsdichter Kanal, gute Verbindung der Deckel und der Kanalteile zur Masse).

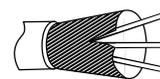
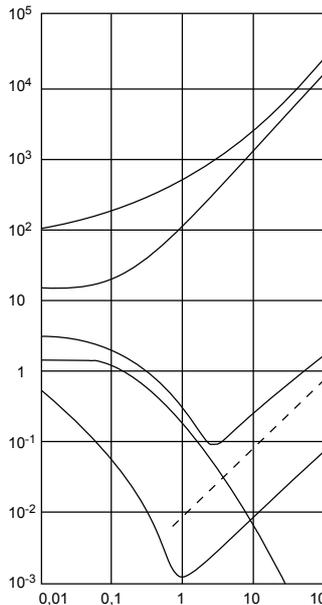
Kabel mit Doppelschirmung verbessern die Bedämpfung der Störaussendung und der Störeinstrahlung weiter. Der Anschluss erfolgt beim inneren Schirm einseitig und beim äußeren zweiseitig. Verdrillte Leitungen reduzieren magnetische Felder.

Signalleitungen lassen sich mit Doppelschirm und verdrillt einsetzen. Die Dämpfung steigt dabei bei magnetischen Feldern von etwa 30 dB bei Einfachschirmung auf 60 dB bei Doppelschirmung und auf ca. 75 dB bei zusätzlichem Verdrillen.

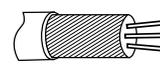
## Schirm als Masseleiter?

Bei der Nutzung eines Schirms als Masseleiter, verliert er seine Schirmwirkung. Bei EMV-Problemen kann der Umrichterhersteller deshalb auf mangelnde Schirmung hinweisen.

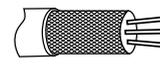
Übertragungsimpedanz,  $Z_t$   
m $\Omega$ /m



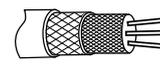
Alu-umantelt mit Kupferdraht



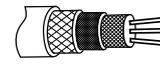
Gewundener Kupferdraht oder bewehrtes Stahlkabel



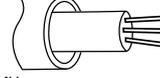
Kupferdraht einlagig, geflochten mit prozentual unterschiedlicher Schirmabdeckung



Kupferdraht zweilagig, geflochten.



Kupferdraht zweilagig, geflochten mit magnetisch abgeschirmter Zwischenlage.



In Kupfer- oder Stahlrohr geführtes Kabel.

Es gibt viele Arten geschirmter Kabel. Nicht alle sind für den Betrieb an Frequenzumrichtern geeignet.

# Auslegung der Frequenzumrichter

## Basisauslegung

In der Praxis legen Planer und Betreiber Frequenzumrichter immer wieder ausschließlich nach der Leistung in kW aus. Grundsätzlich muss die Auswahl aber aufgrund des jeweiligen Motornennstroms  $I_{\text{Nenn}}$  bei höchster Belastung der Anlage erfolgen. Dieses Auswahlkriterium ist sicherer, da sich die Motorleistung nicht auf die elektrische Anschlussleistung, sondern auf die mechanische Wellenleistung bezieht. Der Motorwirkungsgrad bleibt dabei also unberücksichtigt. Die kW-Angabe zu einem Frequenzumrichter dagegen bezieht sich auf die Motornennleistung  $P_{\text{Nenn}}$  von 4-poligen Motoren.

Weiterhin haben Motoren, abhängig vom Motorenhersteller und der Effizienzklasse, für ein und dieselbe Leistungsklasse unterschiedliche Nennströme. Diese reichen beispielsweise für einen 11 kW Motor von 19,8 bis 22,5 A.

**Bemerkung:** Ein 11 kW Frequenzumrichter der VLT® AutomationDrive-Serie hat einen Nennstrom von 24 A bei normaler Überlast-Einstellung. Damit steht genügend Stromreserve zur Verfügung, um einen Motor mit einer Leistung von 11 kW anzutreiben.

Der Nennstrom allein ist allerdings nicht ausreichend, um die entsprechende elektrische Anschlussleistung zu erreichen. Hierzu muss der Frequenzumrichter auch eine ausreichende Motorspannung zur Verfügung stellen. Im 400 V Spannungsnetz sind das volle 400 V bei 50 Hz am Motorklemmbrett. Es gibt immer noch Frequenzumrichter auf dem Markt, die dazu nicht in der Lage sind (siehe auch S. 34). Wegen des Spannungsabfalls an Filtern, Drosseln und beim Motorkabel reduziert sich dort die Ausgangsspannung, z. B. auf 390 V. Hier benötigt der Motor einen höheren Strom, um die geforderte Leistung zu erreichen. Mit dem Strom nehmen die Wärmeverluste quadra-

tisch zu, der Motor erwärmt sich stärker, seine Lebensdauer sinkt. Dazu muss der Anwender auch den höheren Strombedarf bei der Auslegung berücksichtigen.

**Bemerkung:** Beim VLT® AutomationDrive sorgt ein spezielles Modulationsverfahren für die volle Motorspannung. Sogar mit bis zu 10 % Unterspannung am Netz werden Motornennspannung und Motornennmoment aufrecht erhalten.

### Konstantes oder quadratisches Drehmoment

Für die Auswahl des richtigen Frequenzumrichters ist die vom Motor angetriebene Last maßgeblich. Zu unterscheiden sind Lasten mit quadratisch zur Drehzahl ansteigender Drehmomentkennlinie und solche, die über den gesamten Arbeitsbereich, also auch schon bei niedrigen Drehzahlen, dem Motor ein hohes Drehmoment abfordern können.

Zu Anwendungen mit **konstantem Moment** gehören solche, bei denen sich die Last nicht groß mit der Drehzahl verändert. Hierzu zählen unter anderem Fließbänder, Hubwerke oder Mischer. Die Leistung, die ein solches System benötigt, ist proportional zum benötigten Drehmoment und zur Drehzahl des Motors. Ist es möglich, die Drehzahl bei einer konstanten Last zu reduzieren, ergeben sich direkt auch energetische Einsparungen. Ist eine Anpassung der Geschwindigkeit nicht möglich oder nicht erwünscht, ergeben sich bei den meisten Frequenzumrichtern dennoch energetische Einsparungen. Sie regeln abhängig von der Last die Ausgangsspannung des Motors. Die Güte einer solchen Regelung wird von der Qualität des Umrichters bestimmt.

Bei Anwendungen mit **quadratischem Moment** handelt es sich häufig um Pumpen und Ventilatoren, also Strömungsmaschinen. Bei diesen

Maschinen nimmt durch eine Reduzierung der Drehzahl die benötigte Energie kubisch ab. Um Überraschungen bei der Drehzahlregelung von Pumpen und Lüftern zu vermeiden, sollte der Betreiber in der Projektierungsphase beachten, dass sich mit Änderung der Drehzahl auch der Arbeitspunkt und somit der Wirkungsgrad der Strömungsmaschine ändert.

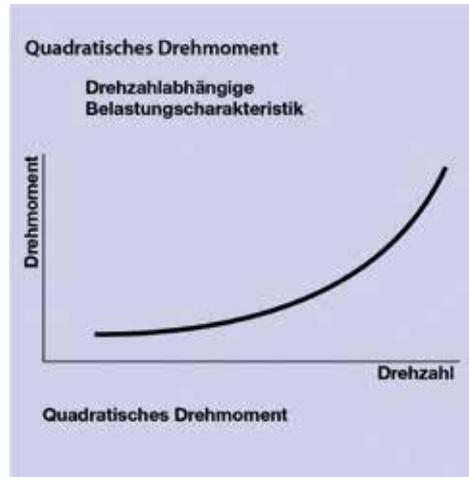
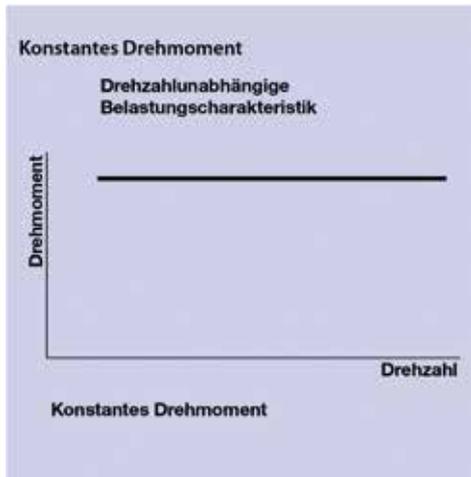
Im Zusammenspiel aus Strömungsmaschine und Umrichter ergibt sich ein Drehzahlbereich, in dem das System Energie spart. In diesem Bereich sollte die Maschine die meiste Zeit laufen. Ist der Unterschied zwischen der maximal benötigten Leistung und dem durchschnittlichen Teillastbetrieb zu groß, ist es sinnvoll, eine Kaskadierung der Anlage vorzunehmen. Dabei deckt eine drehzahlgeregelte Pumpe die Grundlast ab. Steigt der Verbrauch, schaltet der Frequenzumrichter weitere Pumpen nacheinander zu. Die Pumpen arbeiten so möglichst in ihrem Wirkungsgradoptimum. Die Regelung einer Pumpe sorgt immer für die energetisch beste Ausnutzung des Systems. Das gleiche System kann analog auch bei Lüftern angewendet werden.

Oft rechnen sich auch bei einem Umbau der bestehenden Anlage die Investitionen nach kurzer Zeit.

**Hinweis:** Verdrängerpumpen, Drehkolbengebläse und Verdichter zählen nicht zu den Strömungsmaschinen. Aufgrund des Funktionsprinzips sind hier Frequenzumrichter auf konstantes Drehmoment auszulegen.

# Lastkennlinien verschiedener Anwendungen

## Zuordnung: Kennlinie zur Applikation



### Anwendungen mit konstantem Drehmoment (hohes Anlaufmoment)

- Axialkolbenverdichter
- Drehkolbenverdichter
- Exenterschnepumpen (Anlaufmoment beachten!)
- Kolbenpumpen
- Rührwerke
- Schlammwässerungspresen
- Verdichter (außer Turboverdichter)
- Verdrängerpumpen
- Zahnradpumpen
- Zahnradschleusen
- Kompressoren
- Förderbänder
- Zentrifugen

### Anwendungen mit quadratischem Drehmoment

- Kreiselpumpen
- Brunnenpumpen
- Druckerhöhungspumpen
- Filterbeschickungspumpen
- Grundwasserpumpen
- Heisswasserpumpen
- Heizungspumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)
- Kanalradpumpen (feste Stoffe)
- Kühlwasserpumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)
- Regenbeckenentleerungspumpen
- Rücklaufschlammumpen
- Tauchmotorpumpen
- Turboverdichter
- Unterwasserpumpen
- Überschussschlammumpen
- Ventilatoren

**Hinweis:** Fragen Sie beim Pumpen-/Motorenhersteller nach der Drehmomentkennlinie.

# Sonderfall Mehrmotorenbetrieb

## Auslegung

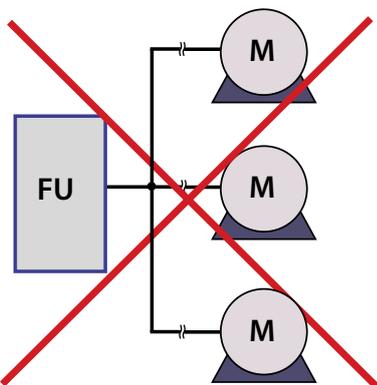
Ist es das Ziel des Betreibers, mehrere Motoren an einem Frequenzumrichter gleichzeitig parallel zu betreiben, so gilt für die Auslegung folgendes:

- Es sind jeweils die Nennströme und die Leistungen der Motoren zu addieren.
- Die Auswahl des geeigneten Frequenzumrichters erfolgt auf Grundlage der beiden summierten Leistungen und Ströme.
- Für den Motorschutz muss der Betreiber die Kaltleiter der Motoren durchschleifen und der Frequenzumrichter wertet dann dieses durchgeschleifte Signal aus.
- Die angeschlossenen Motoren arbeiten, bezogen auf ihre Nenn-drehzahl, gleich. Das heißt, der Frequenzumrichter steuert sie alle mit derselben Frequenz und derselben Spannung an.

**Hinweis:** Wegen sich addierender Kaltwiderstände der in Reihe zu schaltenden Wicklungskaltleiter ist es nicht sinnvoll, die Kaltleiterauswertung des Frequenzumrichters als Motorschutzfunktion für mehr als zwei parallel betriebene Motoren zu nutzen! Beachten Sie auch die Hinweise zum Motorschutz auf der Seite 50.

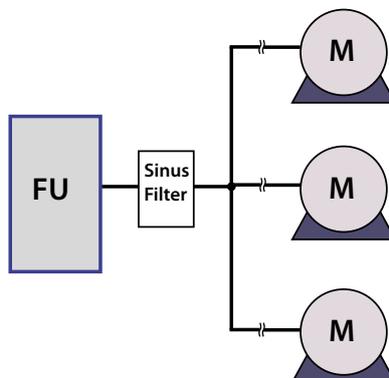
## Kabelführung

zu vermeiden



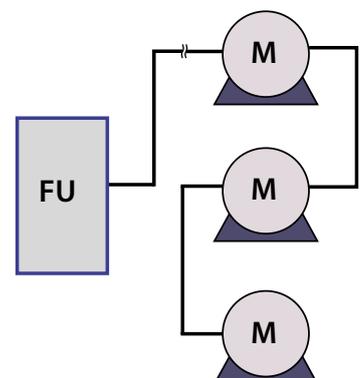
Bei Mehrmotorenbetrieb zu vermeiden: Parallele Leitungen erzeugen zusätzliche Kapazitäten. Daher sollte der Anwender auf jeden Fall auf diese Art des Anschlusses verzichten.

Empfehlung



Aufgrund der mit einem LC-Filter herausgefilterten Taktfrequenzen sinken die Ableitströme. Dies erlaubt einen Parallelanschluss von Motoren. Notfalls auch mit längerem parallel geführtem Motorkabel.

Empfehlung



Bei Mehrmotorenbetrieb empfohlen: Schleifen Sie die Motorleitung von Motor zu Motor durch.

# EMV-Maßnahmen umsetzen

## Von der Theorie zur Praxis

Alle Frequenzumrichter sind sogenannte Breitbandstörer, d. h., sie senden Störsignale über einen breiten Frequenzbereich aus. Anlagenbetreiber können die Störabstrahlung von Frequenzumrichtern durch geeignete Maßnahmen reduzieren. So können sie einen störungsfreien Betrieb in der Anlage gewährleisten, indem sie Funkentstörfilter und Netzdröseln einsetzen. Bei eini-

gen Fabrikaten sind diese bereits im Frequenzumrichter eingebaut. Bei anderen muss der Anlagenbauer dafür zusätzlichen, knappen und wertvollen Platz im Schaltschrank vorsehen. Allgemeine Erläuterungen zu den Themen EMV, niederfrequente Netzrückwirkungen und hochfrequente Funkstörungen finden Sie in dieser Broschüre.

**Hinweis:** Hochwertige Frequenzumrichter verfügen standardmäßig über qualitativ gute Maßnahmen zur Funkentstörung und Reduktion von Netzrückwirkungen. Diese Maßnahmen machen rund 15 bis 20 % des Preises für einen Frequenzumrichter aus.

## Funkstörungen

### Empfehlungen für die Praxis

In der Praxis geht es um stabil laufende Anlagen, bei denen sich die verwendeten Komponenten nicht gegenseitig stören. Dennoch kommt es immer wieder vor, dass nach Umbauarbeiten und dem Einsatz neuer Komponenten sensible Messungen nicht mehr störungsfrei möglich und/oder Messsignale verfälscht sind. Genau diese Fälle gilt es zu vermeiden. Um ein hohes Maß an Störsicherheit zu erreichen, empfiehlt es sich daher, Frequenzumrichter mit einem hochwertigen Funkentstörfilter einzusetzen. Dieser sollte die Kategorie C1 nach der Produktnorm EN 61800-3 erfüllen und damit die Grenzwerte der Fachgrundnorm EN 55011 nach Klasse B berücksichtigen. Kommen Funkentstörfilter zum Einsatz, die nicht der Kategorie C1 entsprechen, sondern nur den Kategorien C2 /C3/C4, so sind zusätzlich Warnhinweise auf den Frequenzumrichtern anzubringen. Die Verantwortung dafür liegt letztendlich dann beim Betreiber. Das Prüfungsinstitut legt bei einer Störung in jedem Fall zur Störungsbehebung die Grenzwerte A1/2 und B der Fachgrundnorm EN55011 entsprechend der Einsatzumgebung zugrunde. Die Kosten für die Beseitigung der EMV-Störungen trägt der Betreiber. Für die passende Zuordnung der Klassen in diesen beiden

Normen ist letztendlich der Betreiber selbst verantwortlich. Bedingt durch den Übertragungsweg Kabel, können sich leitungsgebundene Störungen bei unzureichenden Maßnahmen schnell in verschiedene Bereiche einer Installation ausbreiten. EMV-Störungen die vom Gerät und Kabel selber über die Luft abgestrahlt werden sind dagegen räumlich gebunden. Mit jedem cm weiteren Abstand von der Störquelle nimmt ihre Intensität ab. Deshalb ist z. B. die EMV-gerechte Installation eines Umrichters in einem geeigneten Schaltschrank zur Begrenzung der luftgebundenen Störungen meist ausreichend. Für die leitungsgebundenen Störungen sollte der Betreiber aber immer einen geeigneten Filter vorsehen. Für Funkentstörfilter gibt es in der Praxis zwei Lösungen. Es gibt Hersteller, die Funkentstörfilter bereits serienmäßig in die Geräte einbauen und Hersteller, die Filter als Option mit anbieten. Eingebaute Filter sparen nicht nur viel Platz im Schaltschrank, es entfallen zusätzliche Kosten für Montage, Verdrahtung und Material. Der wichtigste Vorteil ist aber die perfekte EMV-Abstimmung und Verkabelung integrierter Filter. Vor den Frequenzumrichter als Option installierte, externe EMV-Filter weisen einen zusätzlichen Spannungsverlust auf. In der Praxis bedeutet das, dass am Frequenzumrichter nicht mehr die

volle Netzspannung anliegt und eventuell eine Überdimensionierung erforderlich ist. Kosten entstehen für die Montage, Verkabelung und das Material. Die EMV-Abstimmung ist nicht getestet, die Verantwortung trägt der Errichter. Wichtig ist auch die maximal anschließbare Motorkabellänge, bei der der Frequenzumrichter die EMV-Grenzwerte noch einhält. Hier gibt es in der Praxis Unterschiede von 1 m bis zu 50 m. Steigende Motorkabellängen setzen bessere Funkentstörfilter voraus.

**Hinweis:** Für einen störsicheren Betrieb des Antriebssystems gilt grundsätzlich die Empfehlung Frequenzumrichter mit einem Funkentstörfilter nach Kategorie C1 einzusetzen.

**Bemerkung:** Die Serie VLT® AutomationDrive wird mit einem standardmäßig eingebauten Funkentstörfilter geliefert, der bei 400 V Netzen und Motorleistungen bis 90 kW der Kategorie C1 (EN 61800-3) und von 110 bis 630 kW der Kategorie C2 entspricht.

VLT® AutomationDrive hält C1 (leistungsgebunden) bis max. 50 m und C2 bis max. 150 m geschirmtes Motorkabel ein.

# Netzurückwirkungen

## Zwischenkreis beeinflusst Netzurückwirkungen

Der zunehmende Einsatz von nicht-linearen Verbrauchern verschärft das Auftreten von Netzurückwirkungen. Diese nehmen einen nicht sinusförmigen Strom aus dem Netz auf. Netzurückwirkungen bei Frequenzumrichtern entstehen vorwiegend durch die Zwischenkreiskondensatoren, hervorgerufen durch die Stromnachladung. Dabei fließt der Strom immer nur kurzzeitig in der Nähe des Netzspannungsscheitelpunkts. Durch die hohe Stromstärke bricht die Netzspannung kurzfristig etwas zusammen, die Sinusform der Netzspannung geht verloren. Um das Versorgungsnetz sauber zu halten ist es heute erforderlich, die 5. Harmonische des Stromes auf einen Wert von ca. 40 % THDi zu begrenzen. Die Anforderungen sind in der Netznorm EN 61000-3-12 beschrieben.

In Anwendungsfällen, in denen der Betreiber die Netzurückwirkungen auf THDi-Werte  $< 10\%$  oder  $< 5\%$  reduzieren muss, bieten optionale Filter und aktive Maßnahmen Möglichkeiten, um die Netzurückwirkungen fast vollständig zu bedämpfen.

## Reduzierungsmaßnahmen

Um die Netzurückwirkungen zu begrenzen, stehen dem Betreiber der Anlagen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Sie lassen sich in passive und aktive Maßnahmen untergliedern und unterscheiden sich unter anderem insbesondere in der Projektierung.

## Netzdrosseln

Das übliche und kostengünstigste Verfahren, um die Netzurückwirkungen zu reduzieren, ist der zusätzliche Einbau von Drosseln, entweder im Zwischenkreis oder am Eingang von Frequenzumrichtern.

Der Einsatz einer Netzdrossel im Frequenzumrichter verlängert den Stromfluss zur Aufladung der Zwischenkreiskondensatoren, setzt die Stromstärke (Amplitude) herab und reduziert die Verzerrungen der Netzspannung deutlich (weniger Netzurückwirkungen). Die Stärke der Verzerrungen der Netzspannung hängt auch von der Güte des Netzes (Trafoimpedanz, Leitungsimpedanzen) ab. Als Faustformel für die angeschlossene Frequenzumrichterlast (bzw. andere 3-phasige Gleichrichterlasten) im Verhältnis zur Speisetrafoleistung gelten die Werte in der Tabelle unten. Bei Überschreitung der Maximalwerte sollten Sie Rücksprache mit dem Hersteller des Frequenzumrichters halten. Neben der Reduktion der Netzurückwirkungen erhöht die Netzdrossel die Lebensdauer der Zwischenkreiskondensatoren, da sich diese durch das Kappen der Stromspitzen schonender aufladen. Zusätzlich verbessern Netzdrosseln die Spannungsfestigkeit der Frequenzumrichter bei Netztransienten. Aufgrund des geringeren Eingangsstroms fallen die Kabelquerschnitte und Netzsicherungen kleiner aus. Die Drossel kostet jedoch zusätzlich Geld und beansprucht Platz.

**Bemerkung:** Bei Frequenzumrichtern der Serie VLT® AutomationDrive ist die Netzdrossel als Zwischenkreisdrossel ausgeführt und immer im Gerät integriert. Diese senkt den THDi von 80 % auf 40 % und erfüllt damit die Anforderung der EN 61000-3-12. Die Wirkung ist dabei mit einer externen 3-Phasen-Netzdrossel (UK 4%) vergleichbar. Der an der Zwischenkreisdrossel auftretende Spannungsabfall wird vom Frequenzumrichter kompensiert. Dem Motor steht damit die volle Spannung (400 V) zur Verfügung (siehe auch S. 34).

Maximal 20 % Frequenzumrichter-Last am Transformator  
→ bei FUs ohne Maßnahmen zur Netzurückwirkung, das bedeutet unverdrosselt oder gering verdrosselt (z. B. mit UK 2 %)

Maximal 40 % Frequenzumrichter-Last am Transformator  
→ bei FU mit Maßnahmen zur Netzurückwirkung, das bedeutet verdrosselt mit mindestens UK 4 %

Die o.g. Daten zur maximalen Last sind empfohlene Richtwerte, mit denen die Anlage erfahrungsgemäß störungsfrei funktioniert.

# EMV-Maßnahmen umsetzen

## Passive Filter

Universell einsetzbar sind passive Oberschwingungsfilter, die aus einer LC-Beschaltung bestehen. Ihr Wirkungsgrad ist hoch, typischerweise bei ~ 98,5 % und höher. Die Technik ist sehr robust und bis auf ggf. vorhandene Kühlluftgebläse in der Regel wartungsfrei. Folgendes ist bei passiven Filtern zu beachten: Werden sie im Leerlauf betrieben, wirken sie aufgrund von filterbedingten Kreisströmen als kapazitive Blindleistungsquelle. Je nach Anwendungsfall ist eine Gruppierung der Filter und ggf. selektives Zu- und Abschalten sinnvoll.

## Aktive Filter, Active Front End und Low Harmonic Drives

Ein neuer Weg ist der Einsatz von aktiven elektronischen Filtersystemen. Diese basieren auf verbesserten Halbleitern und moderner Mikroprozessortechnik, messen permanent die Netzqualität und speisen

mittels einer aktiven Stromquelle gezielt einen Komplementärstrom ins Netz ein. Das Ergebnis ist in Summe wieder ein sinusförmiger Strom. Der Aufbau dieser neuen Filtergeneration ist im Vergleich zu den bisher genannten Filtermaßnahmen vergleichsweise aufwändig und teuer, da eine hoch auflösende und schnelle Datenerfassung und hohe Rechnerleistung erforderlich sind.

## 12-, 18-, 24- pulsige Gleichrichter

Frequenzumrichter mit Gleichrichterschaltungen höherer Pulszahl sind in der Praxis eher im größeren Leistungsbereich anzutreffen. Zum Betrieb ist ein spezieller Transformator erforderlich.

## Empfehlung

Eine grundsätzliche Empfehlung für eine der genannten Maßnahmen zur Reduktion von Netzurückwirkungen gibt es nicht. Wichtig ist, bereits während der Planungs- und

Projektierungsphase die Weichen für ein Antriebssystem mit hoher Verfügbarkeit und geringen Netzurückwirkungen und Funkstörungen richtig zu stellen. Prinzipiell gilt:

Vor der Entscheidung, welche der genannten Reduktionsmaßnahmen zum Einsatz kommt, müssen folgende Faktoren sorgsam analysiert, werden:

- Netzanalyse
- genaue Übersicht über die Netztopologie
- Platzverhältnisse in den zur Verfügung stehenden elektrischen Betriebsräumen
- Möglichkeiten der Haupt- bzw. Unterverteilungen



Low Harmonic Drive Frequenzumrichter sind eine Kombination aus Frequenzumrichter mit eingebautem, zum Netz hin wirkendem, aktiven Filter

# FI-Schutzschalter

## Allstromsensitive Schutzeinrichtung

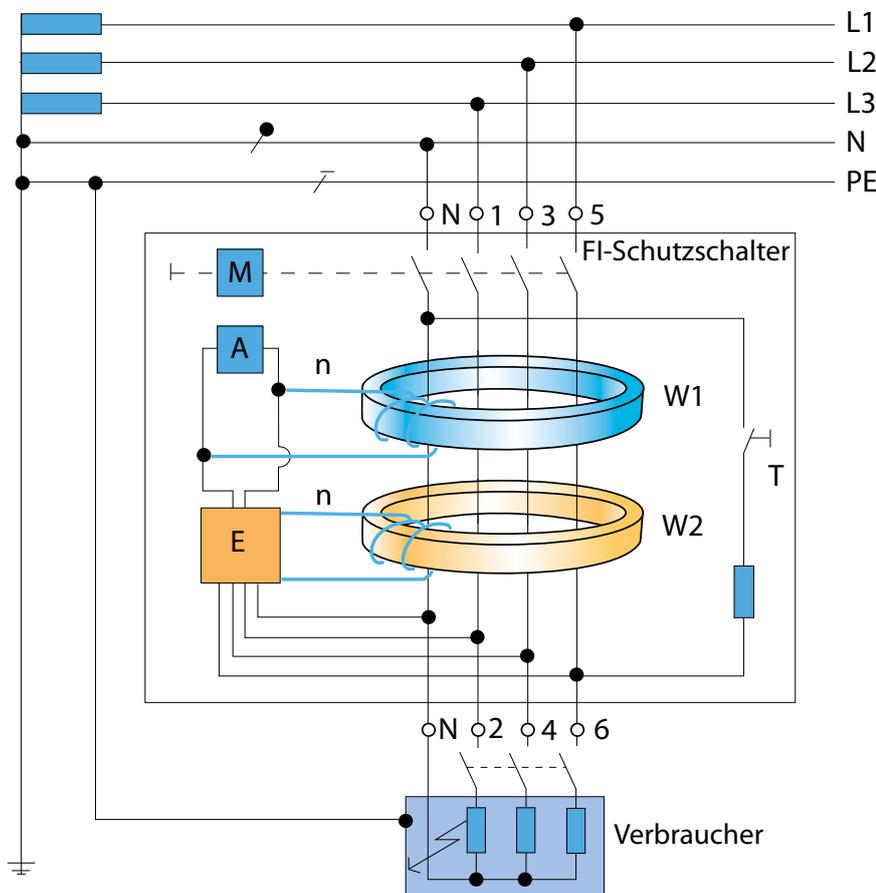
Der Begriff FI-Schutzschalter für spannungsunabhängige Geräte und Differenzstrom-Schutzschalter für spannungsabhängige Geräte wurde bisher im deutschsprachigen Raum verwendet. International werden diese Geräte als Residual Current operated Circuit-Breaker (RCCB) bezeichnet. Der übergeordnete Begriff lautet Residual Current operated Device (RCD) nach EN 61008-1.

Sie müssen FI-Schutzeinrichtungen in allstromsensitiver Ausführung verwenden, falls Sie im abzusichernden Bereich Geräte einsetzen, die im Fehlerfall einen glatten Gleichstrom erzeugen können. Dies trifft auf alle elektrischen Betriebsmittel zu, die eine B6-Gleichrichterbrücke (z. B. Frequenzumrichter) am Drehstromnetz nutzen.

Dieser allstromsensitive FI-Schutzschalter trägt gemäß IEC 60755 die Bezeichnung „Typ B“. Frequenzumrichter verursachen prinzipbedingt Erdableitströme, die die Anlagenbauer und/oder Betreiber bei der Wahl des Bemessungsfehlerstromes berücksichtigen müssen. Fragen Sie Ihren Hersteller des Frequenzumrichters nach einem für Ihre Anwendung geeigneten FI-Schutzschaltertyp. Der Einbauort für den FI-Schalter muss direkt zwischen speisendem Netz und Umrichter liegen. Die Einbindung in einen hierarchischen Aufbau mit anderen FI-Schutzschaltern ist nicht zulässig.

### Höhe des Ableitstromes

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Höhe des auftretenden Ableitstromes. Generell gilt: je größer die eingesetzte Leistung, desto höher die Ableitströme, die im Frequenzumrichter und Motor auftreten. Ein Frequenzumrichter ohne Funkentstörmaßnahmen und mit kurzer Leitungslänge (ca. 2 m) zum Motor wird in der Leistungsklasse 1,5 kVA einen Ableitstrom von ca. 4 mA erzeugen. Wird Funkentstörgrad B gefordert, steigt der Ableitstrom bei gleicher Konstellation auf ca. 22 mA an. Ein 20 kVA Frequenzumrichter wird mit Funkentstörgrad B und kurzer geschirmter Motorleitung einen Ableitstrom von ca. 70 mA erzeugen. Für das Motorkabel kann der Anwender mit Arbeitsströmen von 0,5 bis 2 mA/m Motorkabel rechnen. Symmetrische Kabel erreichen dabei geringere Werte als Einzeladerverlegung.



Allstromsensitive FI-Schutzschalter verfügen über zwei getrennte Überwachungskreise, einen für reinen Gleichstrom und einen für Fehlerströme mit Wechselstromanteil.

# Erdung und Motorschutz

## Erdungsmaßnahmen in der Praxis

Die Erdungsmaßnahmen finden Sie bereits im Kapitel "Motor und Verkabelung" beschrieben.

Benötigt die Anwendung externe Filter, so sind diese möglichst dicht am Frequenzumrichter zu montieren. Die Leitung zwischen Filter und Gerät sollte als geschirmte Leitung ausgeführt und der Filter auf der Netz- und Geräteite mit dem Erdleiter verbunden sein. Zusätzlich ist eine flächige Montage des Filters zu empfehlen, sowie eine gut leitende Verbindung vom Filtergehäuse zur Masse. Filter produzieren Ableitströme, die im Fehlerfall (Phasenausfall, Schiefast) erheblich über die Nennwerte ansteigen können. Um gefährliche Spannungen zu vermeiden, sind Filter daher vor dem Einschalten zu

erden. Frequenzumrichter erzeugen in der Regel Ableitströme  $> 3,5 \text{ mA}$ . Mit überschreiten diese Grenze muss nach EN 50178 bzw. EN 60335 entweder:

- der Schutzleiter  $\geq 10 \text{ mm}^2$  sein.
- oder der Schutzleiter auf Unterbrechung überwacht werden.
- oder ein zweiter Schutzleiter zusätzlich verlegt werden.

Es handelt sich bei Ableitströmen um hochfrequente Störgrößen. Diese erfordern Erdungsmaßnahmen, die niederohmig ausgeführt, großflächig angeschlossen und auf kürzestem Weg mit dem Erdpotential zu verbinden sind.

**Hinweis:** Die besten Maßnahmen in Bezug auf Netzurückwirkungen und Funkstörungen nutzen nichts, wenn der Ausführende bei der Installation nicht nach EMV-Gesichtspunkten handelt. Störungen sind dann unvermeidlich.

**Bemerkung:** Aufgrund der erzeugten Ableitströme  $> 3,5 \text{ mA}$  schreibt die EN 50178 besondere Erdungsmaßnahmen vor.

## Motorschutz und Motorkaltleiter

Frequenzumrichter übernehmen den Motorschutz gegen Überstrom. Für bestmöglichen thermischen Motorschutz kommen Thermistorfühler oder Thermokontakte in der Motorwicklung zum Einsatz. Thermistoren nach DIN 44081 bzw. DIN 44082 sind so ausgelegt, dass sie beim Erreichen ihrer Norm-Ansprechtemperatur (NAT) ihr Widerstandswert in einem bestimmten Bereich ( $\text{NAT} - 5 \text{ }^\circ\text{C} < 550 \text{ } \Omega / \text{NAT} + 5 \text{ }^\circ\text{C} > 1330 \text{ } \Omega$ ) liegt. Viele Umrichter verfügen über geeignete Funktionen zur Auswertung dieser Thermoelemente. Für Motoren die im Ex-Bereich betrieben werden, ist die Thermistorauswertung

nur mit zertifizierten Auslösegeräten zulässig. Die Gerätschutzfunktion von Motorschutzschaltern ist auf den direkten Netzbetrieb beschränkt. In Schaltanlagen mit Frequenzumrichtern würden sie nur noch bei Umgehung des Frequenzumrichters im Notfall, über eine Bypass-Schaltung, als Motorschutz wirken können. Die eigentliche Motorschutzfunktion des Schalters geht beim Umrichterbetrieb verloren. Dennoch kann er bei korrekter Dimensionierung als Dreiphasenleistungsschalter mit reiner Leitungsschutzfunktion auch bei umrichterbetriebenen Motoren sinnvoll eingesetzt werden.

**Bemerkung:** Viele Frequenzumrichter verfügen über eine zusätzliche Funktion: das thermische Motorabbild. Anhand der Motordaten und der an den Motor übertragenen Leistung wird dessen Temperatur berechnet. Diese Funktion ist meist sehr konservativ ausgelegt und löst eher zu früh, als zu spät aus. Die aktuelle Umgebungstemperatur beim Start der Berechnung wird in der Regel nicht berücksichtigt. Ist kein weiterer Motorschutz verfügbar, ist diese Funktion aber eine einfache Möglichkeit, einen Grundschutz für den Motor zu gewährleisten.

**Hinweis:** Beim VLT® AutomationDrive sind als Standard die Klemmen 50 und 54 für den Anschluss von Thermistoren vorgesehen. Der Anschluss ist geeignet für eine Motortemperaturüberwachung ausgeführt mit 3...6 PTC.

# Bedienung und Datenanzeige

## Einfaches Bedienkonzept

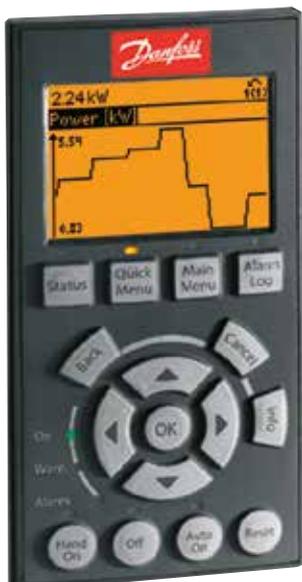
Die grundlegende Technik aller Frequenzumrichter ist gleich, daher spielt die Bedienerfreundlichkeit eine entscheidende Rolle. Viele Funktionen sowie die Integration in Maschinen und Anlagen erfordern ein einfaches Bedienkonzept. Es soll alle Anforderungen für eine einfache und zuverlässige Konfiguration und Installation erfüllen.

Die Auswahl geht von einfachen und preisgünstigen numerischen Anzeigen bis hin zu komfortablen Bedieneinheiten, die Informationen im Klartext anzeigen. Für die reine Beobachtung von Betriebsgrößen wie Strom oder Spannung reichen einfache Bedieneinheiten aus. Komfortable Bedieneinheiten bieten dagegen die Möglichkeit der Anzeige weiterer Betriebsgrößen oder stellen diese gleichzeitig dar.



Eine übersichtliche Gruppierung von Funktionen und eine einfache Handbedienung gehören ebenso dazu wie die Zugriffsmöglichkeiten über Software, Feldbusse oder gar eine Fernwartung mittels Modem oder Internet.

Ein moderner Frequenzumrichter sollte in der Lage sein, alle im folgenden genannten Bedienkonzepte in einem Gerät zu vereinen oder zu ermöglichen und jederzeit zumindest eine Umschaltung zwischen Hand- und Fernbetrieb zulassen.



Grafische Bedieneinheiten bieten Bedienkomfort und Informationen im Klartext.



design award winner

Die Bedieneinheit erhielt 2004 den iF Design Award für herausragende Bedienerfreundlichkeit. Das LCP 102 wurde unter mehr als 1000 Teilnehmern aus 34 Ländern in der Kategorie „Mensch-Maschine/Kommunikations-Schnittstelle“ ausgezeichnet.



Einfache Inbetriebnahme

Funktionen wie das Smart Application Setup von Danfoss vereinfachen die Inbetriebnahme von Umrichtern erheblich. Der Anwender wird dabei durch die grundlegenden Einstellungen des Umrichters geführt.

# Bedienung und Anzeige

## Lokale Bedienung

Als Grundanforderung ist die Bedienung vor Ort an einer lokalen Bedieneinheit zu betrachten. Auch im Zeitalter vernetzter Kommunikation gibt es eine Vielzahl von Aufgaben, die eine direkte Zugriffsmöglichkeit am Gerät erfordern – beispielsweise Inbetriebnahmen, Tests, Optimierung von Prozessen oder Wartungsarbeiten vor Ort in Anlagen. In jedem dieser Fälle kann es für den Bediener oder Techniker nötig sein, lokal Werte zu verändern, um die Änderungen in der Anlage sofort zu erfassen und um beispielsweise Fehler zu diagnostizieren. Dafür sollte die Bedieneinheit eine einfache und intuitiv bedienbare Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Verfügung stellen.

## Übersichtliche Anzeige

Ideal ist dafür ein grafisches Display, das die Bedienung in der jeweiligen Landessprache erlaubt und in der Grundfunktion die für die jeweilige Applikation wesentlichen Parameter anzeigt. Diese Statusinformationen müssen sich für eine gute Übersichtlichkeit auf die absolut notwendigen Parameter beschränken und jederzeit anzupassen bzw. zu ändern sein. Hilfreich ist auch die Möglichkeit, entsprechend dem Kenntnisstand der Bediener bestimmte Funktionen zu sperren oder auszublenden und nur die Parameter anzuzeigen und zur Änderung freizugeben, die für die Prozessanpassung und -steuerung jeweils notwendig sind. Bei der Vielzahl der Funktionen moderner Frequenzumrichter, die häufig mehrere hundert Parameter zur optimalen Anpassung besitzen, vermindert dies Fehlbedienung und daraus resultierende teure Stillstands- und Ausfallzeiten der Anlage. Ebenso sollte das Display über eine integrierte Hilfefunktion für die einzelnen Funktionen verfügen, um dem Inbetriebnehmer

oder Servicetechniker jederzeit eine Hilfestellung – vor allem bei selten benutzten Parametern – zu geben, um auch hier eine Fehlbedienung weitestgehend auszuschließen. Für die optimale Nutzung von integrierten Diagnosefunktionen ist neben einer alphanumerischen Anzeige auch die Möglichkeit zur Darstellung von grafischen Verläufen (sogenannte Scope-Funktion) sehr hilfreich. Häufig erleichtert eine solche Visualisierung, beispielsweise der Rampenformen und/oder des Drehmomentverlaufes, die Fehlersuche.

## Einheitliches Konzept

Im Industriebereich gibt es viele Frequenzumrichter in den unterschiedlichsten Anwendungen. Die Umrichter, in der Regel meist alle vom selben Hersteller, unterscheiden sich vor allem durch ihre elektrische Leistung und dadurch in Größe und Aussehen. Eine durchgängige Bedienung der Frequenzumrichter, mit immer der gleichen Bedieneinheit über den gesamten Leistungsbereich, bietet dem Anlagenbauer und auch dem Anlagenbetreiber Vorteile. Grundsätzlich gilt: Je einfacher die Bedienung, desto schneller und effektiver kann eine Inbetriebnahme oder eventuelle Fehlersuche erfolgen. Bewährt haben sich daher Konzepte mit während des Betriebs steckbaren Bedieneinheiten.

**Hinweis:** Achten Sie auf das richtige Bedienkonzept der zu projektierenden Frequenzumrichter. Es ist dabei ein Design von Vorteil, das die größtmögliche Bedienungsfreundlichkeit bei Parametrierung und Programmierung bietet. Denn nicht nur die Funktionalität des Antriebs ist heute wichtig – auch die schnelle und einfache Bedienung, die intuitiv erfolgen sollte. Nur so reduziert sich der Aufwand - und damit die Kosten für die Einarbeitung und die späteren Zugriffszeiten der mit den Frequenzumrichtern befassten Mitarbeiter.

## Integriert in die Schaltschranktür

In vielen Anlagen, in denen Frequenzumrichter im Schaltschrank installiert sind, sollen Anlagenbauer zur Prozessvisualisierung die Bedienteile in die Schaltschranktür integrieren. Dies ist nur bei Frequenzumrichtern möglich, die eine abnehmbare Bedieneinheit haben. Mittels eines Einbaurahmens in die Schaltschranktür integriert, lässt sich der Frequenzumrichter damit bei geschlossenem Schaltschrank bedienen, sein Betriebszustand ablesen sowie Prozessdaten auslesen.



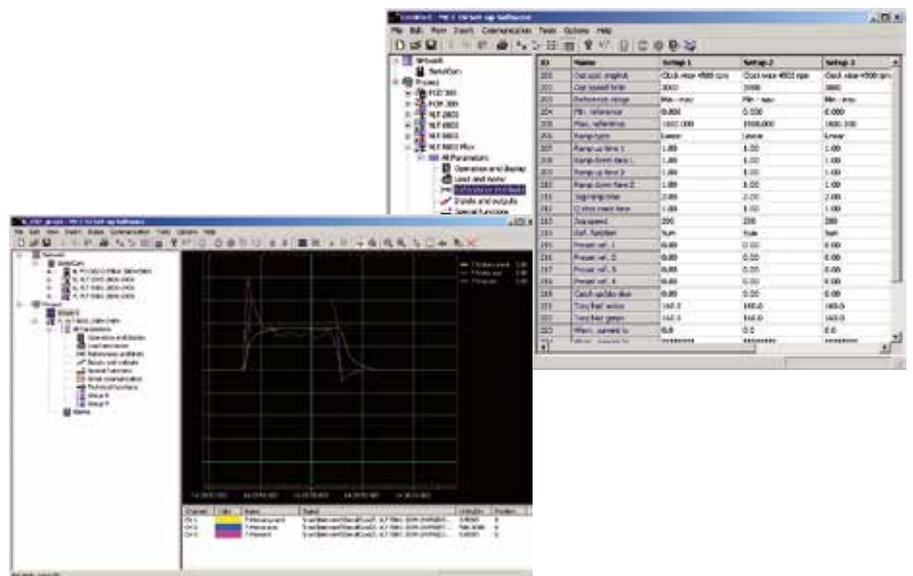
Frequenzumrichter lassen sich auch bei geschlossener Schaltschranktür parametrieren und auslesen.

# Bedienung und Parametrierung mittels PC

## Erweiterte Möglichkeiten

Neben der Bedienung über ein Bedienteil, bieten moderne Frequenzumrichter, in der Regel, die Möglichkeit der Parametrierung und Datenauslese über eine PC-Software. Diese Software ist meist Windows-basiert und unterstützt mehrere Kommunikationsschnittstellen. Sie erlauben den Datenaustausch über die klassische RS-485-Schnittstelle, über Feldbus ( PROFIBUS DPV1, PROFINET, Ethernet, ect.) oder über eine USB-Schnittstelle. Eine übersichtliche Bedienoberfläche gibt einen schnellen Überblick über alle Antriebe innerhalb einer Anlage. Eine gute Software bietet zudem die Möglichkeit, große Projekte mit vielen Antrieben zu verwalten. Die Projektierung ist on- und offline möglich. Idealerweise bietet die Software auch die Möglichkeit, Dokumente in das Projekt einzubinden. Damit ist es unter anderem möglich, über die Software auf Anlagenschaltpläne oder Betriebsanleitungen zuzugreifen.

**Bemerkung:** Mit der MCT 10 Software steht ein Windows-basiertes Engineering Tool für einfacheres Projektieren, Parametrieren und Programmieren der VLT® AutomationDrive Serie bereit. Die Basisversion der Software ist kostenfrei und kann von der Webseite [www.danfoss.de/software](http://www.danfoss.de/software) geladen werden.



PC-Software für Frequenzumrichter bietet neben dem Parametrieren auch die Möglichkeit Prozessdaten mitzuschreiben oder Projekte zu verwalten



# Datenaustausch

## Bussysteme

Moderne Frequenzumrichter sind intelligent und damit in der Lage viele Funktionen in Antriebssystemen zu übernehmen.

Dabei lässt sich das volle Potential von Frequenzumrichtern einfach ausschöpfen, indem Anwender sie mittels einer Feldbusanbindung in ihre Anlage integrieren. Mit nur einem einzigen Hardware-Datenpunkt haben sie dann den vollen Zugriff auf alle Objekte des angeschlossenen Frequenzumrichters. Inbetriebnahme und Verdrahtung vereinfachen sich, was bereits bei der Installation zu Kosteneinsparungen führt. Ohne zusätzliche Komponenten steht eine Vielzahl von Daten für ein effektives Anlagenmanagement zur Verfügung. Die Aufschlüsselung der Sammelstörmeldungen ermöglicht es, bereits aus der Ferne Ursachen einzugrenzen und die richtigen Schritte zur Fehlerbehebung einzuleiten.

## Besseres Alarmmanagement

Detaillierte Alarmmeldungen vereinfachen die Lokalisierung möglicher Fehlerursachen und unterstützen somit wirksam die Anlagenfernüberwachung. Durch Fernwartung über Modem oder Internet ist es möglich, Zustands- und/oder Störmeldungen auch von entfernten Anlagen oder Anlagenteilen schnell zu visualisieren. **Besseres**

## Anlagenmanagement

Die Leitwarte hat die Möglichkeit, alle Einstellungen der Frequenzumrichter aus der Ferne zu überwachen und anzupassen. Zustandsdaten, wie z. B. die Ausgangsfrequenz oder den Leistungsverbrauch, kann sie jederzeit auslesen und auswerten. Zusätzliche Daten für ein effektives Energie- und Spitzenlastmanagement stehen so ohne externe Komponenten zur Verfügung.

## Einsparung bei der Installation

- Nicht jeder Frequenzumrichter benötigt ein eigenes Display. Der Anwender/Betreiber hat bereits über das Leitsystem Zugriff auf alle relevanten Daten des Frequenzumrichters.
- Vereinfachte Verdrahtung durch Zweidrahtverbindung.
- Nicht genutzte Ein- und Ausgänge des Frequenzumrichters können als E/As andere Komponenten wie z. B. Messfühler, Filter und Endschalter in das Leitsystem integrieren.
- Wegfall von Ein- und Ausgangsbausteinen, da zur Ansteuerung der Frequenzumrichter ein Hardwaredatenpunkt ausreicht.
- Ohne zusätzliche Komponenten stehen Überwachungsfunktionen wie Motorkaltleiterüberwachung, Trockenlaufschutz, usw. sowie Leistungs- und Betriebsstundenzähler zur Verfügung.

## Vereinfachte Inbetriebnahme

Die Parametrierung erfolgt von der Leitwarte aus. Alle Einstellungen lassen sich schnell und einfach von Frequenzumrichter zu Frequenzumrichter kopieren. Im Speicher des Displays lässt sich eine Sicherung der Einstellungen dauerhaft ablegen. Planer und Inbetriebnahmepersonal können eine Dokumentation der Einstellungen per Knopfdruck erstellen.

## Für den VLT® AutomationDrive FC 302 stehen alle wichtigen Feldbusse zur Verfügung:

MCA 101	PROFIBUS DP V1
MCA 104	Device Net
MCA 105	CANopen
MCA 113	PROFIBUS-Konverter VLT 3000
MCA 114	PROFIBUS-Konverter VLT 5000
MCA 120	PROFINET
MCA 121	EtherNet/IP
MCA 122	Modbus TCP
MCA 124	EtherCat

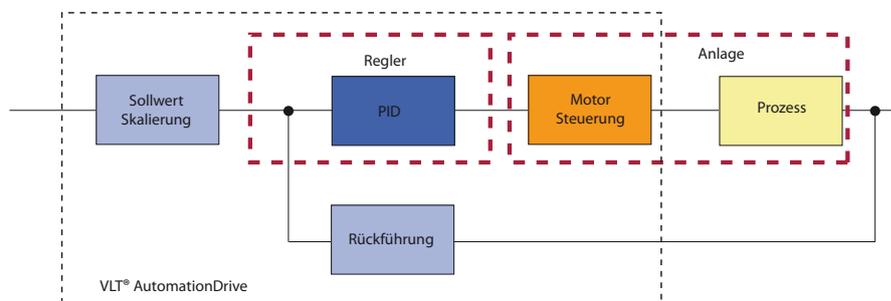


# Weitere Auswahlfaktoren

## Prozessregler

Frequenzumrichter sind heutzutage intelligente Antriebsregler. Sie sind in der Lage Aufgaben oder Funktionen der DDC zu übernehmen. Durch implementierte Prozessregler lassen sich auch unabhängige Regelkreise mit hoher Genauigkeit aufbauen. Dieser Aspekt ist vor allem beim nachträglichen Einbau interessant, wenn in der Anlage nicht mehr genügend DDC-Kapazität zur Verfügung steht oder gar keine DDC existiert.

Die Versorgung aktiver Prozessgrößenwandler (Istwertgeber für Durchfluss, Druck oder Pegelstand) kann dabei über die 24 V DC-Steuerspannung des Frequenzumrichters erfolgen, wenn diese eine ausreichende Versorgungsleistung aufweist.



PID-Prozessregler, Prinzip

## Wartung

Die meisten Frequenzumrichter sind nahezu wartungsfrei. Bei Frequenzumrichtern größerer Leistung sind Filtermatten eingebaut, die Betreiber je nach Staubbelastung von Zeit zu Zeit reinigen müssen.

Es gilt allerdings zu beachten, dass Hersteller von einigen Frequenzumrichtern Wartungsintervalle für Kühlluftventilatoren (ca. 3 Jahre) und Kondensatoren (ca. 5 Jahre) angeben.



**Bemerkung:** Danfoss VLT® Frequenzumrichter sind bis 90 kW wartungsfrei. Ab einer Leistung von 110 kW sind in den Kühllüftern Filtermatten integriert, die in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren und gegebenenfalls zu reinigen sind.

## Lagerung

Wie alle elektronischen Geräte müssen Frequenzumrichter trocken gelagert werden. Die Angaben der Hersteller sind dabei zu beachten. Einige Hersteller schreiben vor, die Geräte regelmäßig zu formieren. Hierfür muss der Anwender das Gerät eine bestimmte Zeit an definierte Span-

nungen legen. Grund für diese Formierung ist die Alterung der Kondensatoren im Zwischenkreis des Geräts. Je nach Qualität der eingesetzten Kondensatoren altern sie langsamer oder schneller. Die Formierung wirkt diesem Prozess entgegen.

**Bemerkung:** Aufgrund der verwendeten Qualität der Kondensatoren und des flexiblen, auftragsbezogenen Fertigungskonzeptes ist eine solche Prozedur für VLT® AutomationDrive Frequenzumrichter nicht erforderlich.

# VLT® AutomationDrive FC 300

Die modularen VLT® AutomationDrive erfüllen alle Anforderungen Ihrer Antriebsaufgaben in den Anlagen der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Um die Bandbreite vom Standard- bis zum High-Performance-Antrieb optimal und ohne Kompromisse abzudecken, beginnt die Modularität bei der Auswahl der Leistungsplattform. Hier lässt sich als Basis zwischen den Varianten FC 301 oder FC 302 wählen.

In der Ausführung FC 301 verfügt der VLT® AutomationDrive bereits über viele hervorragende Eigenschaften wie VVC+ Vektorregelung, automatische Motoranpassung, PID-Regler oder RS485-/USB-Schnittstelle.

Wählt man die Variante FC 302, kommen weiter verbesserte Eigenschaften im Bereich der Reaktionszeiten, der (Servo-)Regelgüte mit Flux-Vektor sowie zusätzliche E/A-Steuerklemmen hinzu. Beide Ausführungen sind mit einheitlichen Bedienoberflächen, Klemmenanschlüssen und Gehäusebauformen ausgestattet. Nahezu alle Optionen sind für beide Leistungsvarianten zu verwenden.

## Alle Anschlussspannungen

Die VLT® AutomationDrive Serie deckt den Leistungsbereich von 0,37 bis 1400 kW ab. Sie unterstützt dabei Anschlussspannungen von 200, 380 – 480/500 V, 525 – 600 V und 690 V. Auch der Betrieb an speziellen Netzformen wie beispielsweise IT-Netzen ist möglich.

## Sicherer Stopp

Die VLT® AutomationDrive Frequenzumrichter können signifikant dazu beitragen, die Systemkosten für die funktionale Sicherheit einer Maschine/Anlage zu senken. Dafür werden die FC 302 bereits serienmäßig (FC 301/A1-Gehäuse optional) mit einem sicheren Digitaleingang mit der nach EN 61800-5-2 ausgeführten Funktion

„Sicher abgeschaltetes Moment“ (engl.: „STO – Safe Torque Off“) ausgestattet. Die Sicherheitskategorie, die sich damit erreichen lässt, entspricht dem typisch vorkommenden Performance Level d nach EN ISO 13849-1 bzw. SIL 2 nach EN 61508.

- Volle Netzspannung am Ausgang
- Anschluss langer Motorleitungen (150 m geschirmt/300 m ungeschirmt)
- Dimensioniert für lange Lebensdauer
- Eingebauter Funkentstörfilter nach EN 61800-3; Kategorie C1
- Eingebaute Netzzückwirkdrossel (UK 4 %)
- Kaltleiterauswertung
- AEO-Funktion für besonders große Energieersparnis
- Thermisches Motorabbild als softwaremäßiger Motorschutz im Frequenzumrichter integriert, der auch eine geringere Eigenbelüftung eines Motors bei niedriger Drehzahl berücksichtigt (nicht möglich mit Motorschutzschalter)
- Cold Plate-Technologie
- Kommunikations-Schnittstellen
- RS485
- USB
- RS232
- Logische I/O-Verknüpfungen
- Kontrollierte Rampe Ab-Funktion (Kinetic Backup)
- Digitale Motorpoti-Funktion

- Schnittstelle für Drehgeber
- Feldbusse
- Fliegender Start, Fangschaltung
- Netzsynchronisation
- Modulares Konzept
- Bewegungssteuerungsoptionen:
- PID-Regler
- ProfiSafe-Option
- Safe-Stop-Eingang
- Scopefunktion
- Drehmomentregelung
- Smart Logic Control
- Übermodulation Ein-/Abschaltbar
- Optional mit integrierten Feldbus-Anbindungen (auch mit ext. 24 V DC Spannungsversorgung)
- Optional aktive und passive Netzfilter zur weiteren Oberwellenreduzierung
- Optional Sinusfilter und du/dt-Filter für alle Leistungsgrößen
- VLT® AutomationDrive in Low Harmonic Ausführung

Ausführliche Informationen erhalten Sie bei Ihrem Danfoss Ansprechpartner oder im Internet. Dort stehen Ihnen viele Informationen zum Download bereit.

[www.danfoss.de/vlt](http://www.danfoss.de/vlt)

[www.danfoss.at/vlt](http://www.danfoss.at/vlt)

[www.danfoss.ch/vlt](http://www.danfoss.ch/vlt)



Die gesamte VLT® AutomationDrive Familie besitzt ein durchgängiges Bedienkonzept, nutzt identische Erweiterungsmodule und ist serienmäßig mit EMV-Filtern und Netzdrosseln ausgestattet.

# VLT® High Power Drive für industrielle Anwendungen

## Hohe Leistung und branchengerechte Funktionalität

### VLT® AutomationDrive – 90 bis 1400 kW

Die Danfoss VLT® High Power Drives decken mit ihrem Leistungsbereich von 90 kW bis 1400 kW und den typischen Spannungen von 380 V – 690 V einen großen Teil des Bedarfs im industriellen Anwendungsbereich ab. Ihnen allen sind die integrierten Netzdrosseln gemeinsam, die die Netzharmonischen deutlich reduzieren. Bei Bedarf stehen ab 250 kW Antriebsleistung auch 12-Puls-Geräte zur Verfügung. Sie reduzieren die Netzurückwirkungen in Ihrer Applikation weiter und sorgen für eine noch bessere Netzqualität. Auch eine Kombination mit dem VLT® Advanced Active Filter als ober-schwingungsreduzierter Einzelantrieb bietet bei schwierigen Netzverhältnissen die Möglichkeit, die Infrastruktur weiter auszunutzen bzw. durch nach-trägliche Installation des VLT® Aktiven Netzfilters die Versorgungssituation nachhaltig zu verbessern.

Alle High Power-Geräte sind vollständig in die modulare VLT® Plattform integriert. So legt Danfoss besonderen Wert auf die Verwendung der bewährten Bauteile der High Power Drives. Die Geräte nutzen ebenfalls alle Erweiterungsoptionen und verfügen über das gleiche, bewährte grafische Bedienteil für eine einfache, intuitive Programmierung und Konfiguration. Ebenso stellen sie eine STO-Funktion nach EN 61800-5-2 bereit. Die neuen VLT® D-Frame Antriebe im Leistungsbereich von 90 kW bis

250 kW (400V) bzw. 90 kW bis 315 kW (690V) sind den Anforderungen der Anwender folgend in ihren Abmessungen um bis zu 68 % reduziert worden, ohne auf die bekannten Funktionen und Leistungsmerkmale der VLT® High Power Geräte zu verzichten. Die neue Generation D Frame Geräte bieten sogar zusätzliche Leistungsoptionen, die für die kompakten Geräte dieser Leistungsklasse so bisher nicht erhältlich waren. Die Umstellung auf die neue Generation D-Frame Geräte erfolgt bis etwa Herbst 2012.

Eigenschaften	Vorteile
Durchgängiges Bedienkonzept wie modulare VLT® Plattformen	Einfache Bedienung: Kennen Sie einen, kennen Sie alle!
Bewährte Leistungselektronik	Zuverlässiger Betrieb
Modulares Systemdesign	Alle Komponenten sind von vorne nach dem Öffnen der Türen zugänglich. Schneller und einfacher Austausch im Fehlerfall.
Rückwärtiger Kühlkanal	Reduziert Wartungsaufwand und verlängert die Verfügbarkeit und Lebensdauer des Antriebs.
Standard Rittal TS8 Schaltschrank in IP 21 oder IP 54 (bei Leistungen ab 450 kW bzw. 630 kW)	Einfache Erweiterung möglich.
EMV-Filter Klasse C2 nach EN61800-3, entspricht Klasse A1 gemäß EN 55011	Reduziert Netzurückwirkungen und EMV-Störungen ohne zusätzliche externe Filter.
Integrierte Zwischenkreisdrosseln	Reduzieren die Netzurückwirkungen im gesamten Netzwerk. Keine zusätzlichen Verluste für höhere Energieeffizienz des Gesamtsystems.
Sicherungen im Zwischenkreis	Besserer Schutz der einzelnen Umrichter bei Zwischenkreiskopplung.
Hochwertig lackierte Platinen	Erhöhter Schutz bei widrigen Umgebungsbedingungen wie aggressiven Gasen.
Reduzierte Netzurückwirkungen	Geringere Gefahr für Resonanzen im System. Zuverlässigerer Betrieb anderer elektronischer Einrichtungen. Weniger Gerätefehler.
Reduzierte Abmessungen	Die neue Generation D-Frame Geräte ist deutlich in den Abmessungen reduziert (bis 68%) und bietet damit auf kleinstem Raum maximale Performance und Zuverlässigkeit.

### Leistungsbereich

90 kW – 1.4 MW

### Spannungsbereich

380 - 690 Volt

### Gehäuse

IP 20 (Neue D-Frame Generation)

IP 21/NEMA Type 1

IP 54/NEMA Type 12

### Verfügbare VLT® Plattformen

VLT® HVAC Drive FC 102

VLT® AQUA Drive FC 202

VLT® AutomationDrive FC 302

### Kühlung über rückseitigen Kühlluftkanal

Alle VLT® High Power Geräte verfügen über die Möglichkeit, den rückseitigen Kühlluftkanal zur Wärmeabführung zu verwenden. Kühlluft strömt durch einen rückseitigen Kühlkanal über die Kühlkörper und reduziert die Luftzirkulation im Bereich der Elektronik. Das Konzept führt geräteabhängig bis zu 90 % der Wärmeverluste direkt aus dem Gehäuse ab. Dies erhöht durch die Reduzierung des Temperaturanstiegs und der Verunreinigung der Elektronik die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer. Der rückseitige Kühlkanal ist von der Elektronik in Schutzart IP54 getrennt.

### Weitere Optionen, teils als externe Komponente

Erweiterungsmodule Stromversorgung und Klemmen	24 V DC externe Stromversorgung; Mit 30 A abgesicherter Hilfsabgang; Vor-Ort/Fernumschaltung für Motorstart; Optional Klemmen mit NAMUR-Bezeichnung.
du/dt-Filter	Schützt die Motorwicklungen vor Durchschlägen und verlängert so die Lebensdauer.
Sinus Filter	Reduzierung der Motorgeräusche und Schutz der Motors vor Durchschlägen in den Wicklungen bzw. vor Lagerströmen.
Schaltschrank-Optionen	Türschalter; Schaltschrankbeleuchtung mit Steckdosen; Thermostatisch geregelte Schaltschrankheizung
Modular nachrüstbare Anwendungsmodule	Plug-and-play bei den Optionskarten ermöglicht schnelles Aufrüsten, vereinfacht Inbetriebnahme und Service.
Systemüberwachung	Fehlerstromschutzeinrichtungen; Motorisoliationsüberwachung; Motortemperaturüberwachung;
Netzoptionen	EMV-Filter Klasse C3 nach EN61800-3, entspricht Klasse A2 nach EN 55011; Leistungsschalter; Halbleitersicherungen; Schütz; Lasttrennschalter;



Der VLT® AutomationDrive ist in den Leistungen bis 1,4 MW und den Spannungen 380 V und 690 V erhältlich. Zur Reduktion von Netzurückwirkungen ist er auch als Low Harmonic Drive erhältlich.

# Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter

## CE-Zeichen

Das CE-Zeichen (Communauté Européenne) soll technische Barrieren im Warenverkehr innerhalb der EG- und EFTA-Staaten (EWR) abbauen. Das CE-Zeichen dokumentiert, dass der Hersteller eines Produktes alle einschlägigen EG-Richtlinien, die

in nationalen Gesetzen umgesetzt worden sind, einhält. Das CE-Zeichen sagt nichts über die Qualität eines Produktes aus. Technische Daten lassen sich vom CE-Zeichen nicht ableiten. Im Umfeld des Einsatzes von Frequenzumrichtern sind unter

anderem die Maschinenrichtlinie, die EMV-Richtlinie und die Niederspannungsrichtlinie zu beachten.

## Maschinenrichtlinie

Die Anwendung der 2006/42/EG Maschinenrichtlinie ist ab dem 29.12.2009 verbindlich. Die Maschinenrichtlinie 98/37/EG tritt damit außer Kraft. Die Kernaussage darin lautet: „Eine Maschine, als Gesamtheit von miteinander verbundenen Teilen oder Vorrichtungen, von denen mindestens eines beweglich ist, muss

so beschaffen sein, dass Sicherheit und Gesundheit von Personen und gegebenenfalls Haustieren und Gütern bei richtiger Installierung und angemessener Wartung und bestimmungsgemäßem Betrieb nicht gefährdet werden.“ Frequenzumrichter sind elektronische Komponenten und unterliegen deshalb nicht

der Maschinenrichtlinie. Setzt der Anlagenbauer Frequenzumrichter in Maschinen ein, dann dokumentiert er mit der Herstellererklärung, dass er alle relevanten Gesetze und Sicherheitsmaßnahmen einhält.

## EMV-Richtlinie

Die EMV-Richtlinie 2004/108/EG ist seit dem 20.07.2007 zwingend gültig. Die Kernaussage darin lautet: „Geräte, die elektromagnetische Störungen verursachen können, oder deren Betrieb durch diese Störung beeinträchtigt werden kann, müssen so beschaffen sein, dass die Erzeugung elektromagnetischer Störungen soweit begrenzt wird, dass

ein bestimmungsgemäßer Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten sowie sonstigen Geräten eine angemessene Festigkeit gegen elektromagnetische Störungen aufweisen, so dass ein bestimmungsgemäßer Betrieb möglich ist. Da Frequenzumrichter nicht selbständig zu betreibende Geräte und nicht allgemein erhältlich sind, ist die Einhal-

tung der EMV-Richtlinie weder durch ein CE-Zeichen noch durch eine EG-Konformitätserklärung zu dokumentieren. Danfoss Frequenzumrichter werden unabhängig von dieser Aussage mit dem CE-Zeichen für die Einhaltung der EMV-Richtlinie versehen und es ist eine Konformitätserklärung erhältlich.

## Niederspannungsrichtlinie

Die Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG trat am 11.06.1979 in Kraft: Die Übergangsphase endete am 31.12.1996. Die Kernaussage lautet: „Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung bei einer Nennspannung zwischen 50-1000 V AC und zwischen 75-1500 V DC müssen so beschaffen sein, dass sie bei einer ordnungsgemäßen Installation und Wartung sowie einer bestimm-

ungsgemäßen Verwendung die Sicherheit von Menschen und Nutztieren sowie die Erhaltung von Sachwerten nicht gefährden. Da Frequenzumrichter elektrische Betriebsmittel in dem angegebenen Spannungsbereich sind, unterliegen sie der Niederspannungsrichtlinie und müssen seit dem 01.01.1997 ein CE-Zeichen tragen.

**Hinweis:** Der Hersteller von Maschinen/Anlagen sollte darauf achten, dass er Frequenzumrichter einsetzt, die ein CE-Zeichen haben. Auf Verlangen muss eine EG-Konformitätserklärung abgegeben werden.



IP66.....	29
IP-Schutzklassen.....	26
Isolation.....	8
Isolationsbeanspruchung.....	34
isolierte Lager.....	34
Istwertgeber.....	55
IT-Netze.....	12

## K

Kabeldimensionierung.....	39
Kabel mit geeigneter Schirmung.....	39
Kabelschirmung.....	41
Kabelverlegung.....	39
Kaltleiterauswertung.....	32
Kaltleitertemperaturfühler.....	30
Klasse 3C2.....	28
Klasse 3C3.....	28
Klasse A.....	22
Klasse B.....	22
Klimatisierung.....	8, 10, 27
Klirrfaktor.....	15
Kompensation.....	16
Kondensatoren.....	55
Konstantes oder quadratisches Drehmoment.....	43
Koppelrelais.....	32
Korrosion.....	28
Kostensenkung.....	10
Kühlkonzept.....	27
Kühlleistung.....	29
Kühlluft.....	28
Kühlung.....	25, 27, 28
Kupfergeflecht.....	42

## L

Lagerbeanspruchung.....	34
Lagerschäden.....	29, 34
Lagerströme.....	34
Lagerung.....	55
Länge des Motorkabels.....	39
Lastkennlinien.....	44
Lastwechsel.....	9
LC-Filter.....	35
Lebensdauer.....	6, 10, 25, 27, 29, 43
Lebenszyklus.....	10
Lebenszykluskosten.....	10
Leistungsfaktor.....	17
Leistungsbruch.....	33
leitungsgebundenen Störungen.....	46
Low Harmonic Drive (LHD).....	17, 19, 20, 48
Lüfter.....	29
Luftfeuchtigkeit.....	27

## M

magnetische Felder.....	14
-------------------------	----

Magnetisierung.....	9
Maschinenrichtlinie.....	59
Masse.....	41
Massenträgheitsmomente.....	38
Masseverbindung.....	42
MCB 112.....	30, 33
MCB 113.....	33
MCT 10.....	33
MCT 10 Software.....	53
Mehrmotorenbetrieb.....	45
Mindestwirkungsgrade.....	37
Mindestwirkungsgradklassen (MEPS).....	37
Mischer.....	43
Motor-Alleinschutz.....	32
Motoreignung für FU-Betrieb.....	34
Motoren in explosionsgeschützten Bereichen.....	37
Motorisolation.....	8, 34
Motorkabellänge.....	8
Motorkaltleiter.....	50
Motorkompatibilität.....	37
Motormagnetisierung.....	9
Motornennstrom $I_{Nenn}$ .....	43
Motorschutz.....	45, 50
Motorschutzschalter.....	50
Motor und Kabel.....	11
Motorwirkungsgrade.....	37
Motorzuleitung.....	42

## N

NAMUR-Empfehlung NE 38.....	30
NAMUR NE 37.....	33
Nennspannungsklasse.....	39
Netzanalyse.....	48
Netzbelastung.....	15
Netzberechnungsprogramme.....	24
Netzdrosseln.....	47
Netzeinbrüche.....	19
Netzfilter.....	21
Netzform.....	12
Netzoerschwingungen.....	14
Netzqualität.....	15
Netzurückwirkfilter.....	17
Netzurückwirkungen.....	14, 15, 16, 17, 18, 19, 47, 48
Netzspannung.....	15
Netzspannungsqualität.....	15, 16, 17
Netztopologie.....	48
Netztransienten.....	17, 23, 47
Netzversorgung.....	11, 12
niederfrequente Netzurückwirkungen.....	46
Niederspannungsrichtlinie.....	59
Normen.....	15, 21, 22
Notstromgenerator.....	24

## O

Oberschwingungen.....	15, 17, 18, 23, 24
Oberschwingungsbelastung.....	15
Oberschwingungsfilter.....	48
Oberschwingungsgehalt.....	15, 17, 24
Oberschwingungsstrom.....	16, 18
Oberwellenfilter.....	17
Oberwellenstromgehalt.....	20

## P

Parallelbetrieb Motoren.....	45
Parametrierung.....	53, 54
Passive Filter.....	17, 48
PC-Software.....	53
PFC.....	19
Phasenisolierung.....	34
Phasenverschiebung.....	23
PM-Motoren.....	38
Potentialausgleichskabel.....	14
Potentialausgleichsschiene.....	40
Prozessregler.....	55
PTB.....	30
PTB-zertifizierte Motorkaltleiterauswertung.....	30
PTC-Option.....	33
Pumpen.....	43

## Q

Querschnitt.....	39
------------------	----

## R

Reduzierung von Lagerströmen.....	35
Regelbereich.....	6
Reparatur.....	10
Retrofit.....	35
RFI-Filter.....	21
Richtlinien.....	59
RS-485-Schnittstelle.....	53

## S

„Safe Stop“-Funktion.....	33
Schaltschrank.....	25
Schaltschrankheizung.....	27
Schaltschrankplatz.....	33
Schaltschranktür.....	52
Scheinleistung.....	16
Schirmanschluss.....	41
Schirmarten.....	42
Schirmungsmaßnahmen.....	41
Schlanker Zwischenkreis.....	16, 17, 19
Schütz.....	33
Schutzarten.....	29
Schutzlack.....	28
Schutzleiter.....	50
Scope-Funktion.....	52
Servicekosten.....	10

Servoantriebe .....	38
Sicherer Stopp .....	56
Sicherheitsfunktionen .....	32
Signalleitung .....	42
SIL 2 nach EN 61508 .....	56
Sinus .....	8
Sinusfilter .....	30, 34, 35
Sinusform .....	15
Sinus- oder du/dt-Filter .....	35
Spannungsabfall .....	39
Spannungsänderungen .....	14
Spannungsanstiegs- geschwindigkeit du/dt .....	8, 30, 34
Spannungsfestigkeit .....	47
Spannungsspitzen .....	8, 19, 30, 35
Staub .....	29, 30
Staubbelastung .....	29
Steuerkabel .....	42
Störaussendungen .....	13, 21
Störfestigkeit .....	13, 41
Störgrößen .....	14
Störquelle .....	14, 46
Störsenke .....	14
Störsicherheit .....	46
Störspannungen .....	14
Strombegrenzung .....	32
Stromrechnung .....	9
Stromspitzen .....	9, 47

## T

Teillastbereich .....	7, 9
Temperaturüberwachung .....	30
THD .....	15, 19
THDi .....	17
Thermische Beanspruchung .....	34
thermischer Motorschutz .....	50
thermische Überwachung .....	32
Thermistoren .....	50
TN-C .....	12
TN-Netze .....	12
TN-S .....	12
Transformator .....	17, 24
Transformatorauslastung .....	24
Transienten .....	23
TT-Netze .....	12

## U

Übermodulation .....	34
Überstrom .....	50
Umgebungsluft .....	28
Umgebungstemperatur .....	27, 39
Umgebungs- und Umwelt- bedingungen .....	11, 25
Upeak .....	30
USB-Schnittstelle .....	53

## V

VDE 0113-1 .....	39
Ventilatoren .....	43
Verdrahtungsaufwand .....	33
Verdrosselung .....	23
Verkabelung .....	37
Verluste .....	8, 16, 17
Verlustleistung .....	7, 27
Versorgungsnetz .....	15, 47
vier(4)-Quadranten-Betrieb .....	20
vierundzwanzig(24)-pulsige Gleichrichter .....	17

## W

Wandmontage .....	25
Wartung .....	10, 55
Wartungskosten .....	10
Weiche Netze .....	20
Wellenleistung .....	43
Wirkleistung .....	16
Wirkungsgrad .....	7, 8, 9, 20, 24, 35, 37, 38, 43

## Z

Zündschutzart .....	30
Zwischenkreis .....	47
Zwischenkreisdrossel .....	17
Zwischenkreiskondensatoren .....	19, 47
zwölf(12)-pulsige Gleichrichter .....	17



# Die Vision hinter VLT®

Danfoss ist einer der Marktführer bei Entwicklung und Herstellung von Frequenzumrichtern – und gewinnt täglich neue Kunden hinzu.

## Verantwortung für die Umwelt

### Danfoss VLT® Produkte mit Rücksicht auf Mensch und Umwelt

Alle Aktivitäten von Danfoss berücksichtigen den Mitarbeiter, die Arbeitsplätze und die Umwelt. So erzeugt die Produktion nur ein absolutes Minimum an Lärm, Emissionen und anderen Umweltbelastungen. Daneben sorgt Danfoss für eine umweltgerechte Entsorgung von Abfällen und Altprodukten.

### UN Global Compact

Danfoss hat seine soziale Verantwortung mit der Unterzeichnung des UN Global Compact festgeschrieben. Die Niederlassungen verhalten sich verantwortungsbewusst gegenüber lokalen Gegebenheiten und Gebräuchen.

### EU Richtlinien

Alle Fertigungstätten sind gemäß ISO 14001 zertifiziert, ebenso erfüllen alle Produkte die EU Richtlinie für Generelle Produktsicherheit und die Maschinenrichtlinie. Danfoss VLT® Antriebstechnik setzt für alle Produktlinien die Richtlinien RoHS und WEEE um.

### Energieeinsparungen durch VLT®

Die Energieeinsparung einer Jahresproduktion von VLT® Frequenzumrichtern spart soviel Energie ein, wie ein größeres Kraftwerk jährlich erzeugt. Daneben optimiert die bessere Prozesskontrolle die Produktqualität und reduziert den Ausschuss und den Verschleiß an den Produktionsstraßen.

## Der Antriebsspezialist

Danfoss Drives ist weltweit einer der führenden Antriebstechnikhersteller. Bereits 1968 stellte Danfoss den weltweit ersten in Serie produzierten Frequenzumrichter für Drehstrommotore vor und hat sich seitdem auf die Lösungen von Antriebsaufgaben spezialisiert. Heute steht VLT® für zuverlässige Technik, Innovation und Know-how für Antriebslösungen in den unterschiedlichsten Branchen.

## Innovative und intelligente Frequenzumrichter

Ausgehend von der Danfoss Drives Zentrale in Graasten, Dänemark, entwickeln, fertigen, beraten, verkaufen und warten 2000 Mitarbeiter in mehr als 100 Ländern die Danfoss Antriebslösungen.

Die modularen Frequenzumrichter werden nach den jeweiligen Kundenanforderungen gefertigt und komplett montiert geliefert. So ist sichergestellt, dass Ihr VLT® stets mit der aktuellsten Technik zu Ihnen geliefert wird.

## Vertrauen Sie Experten – weltweit.

Um die Qualität unserer Produkte jederzeit sicherzustellen, kontrolliert und überwacht Danfoss Drives die Entwicklung jedes wichtigen Elements in den Produkten. So verfügt der Konzern über eine eigene Forschung und Softwareentwicklung sowie eine moderne Fertigung für Hardware, Leistungsteile, Platinen und Zubehör. VLT® Frequenzumrichter arbeiten weltweit in verschiedensten Anwendungen. Dabei unterstützen die Experten von Danfoss Drives unsere Kunden mit umfangreichem Spezialwissen über die jeweiligen Anwendungen. Umfassende Beratung und schneller Service sorgen für die optimale Lösung bei höchster Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Eine Aufgabe ist erst beendet, wenn Sie als Kunde mit der Antriebslösung zufrieden sind.



### Deutschland:

**Danfoss GmbH**  
**VLT® Antriebstechnik**  
Carl-Legien-Straße 8, D-63073 Offenbach  
Tel: +49 69 8902-0, Telefax: +49 69 8902-106  
[www.danfoss.de/vlt](http://www.danfoss.de/vlt)

### Österreich:

**Danfoss Gesellschaft m.b.H.**  
**VLT® Antriebstechnik**  
Danfoss Straße 8, A-2353 Guntramsdorf  
Tel: +43 2236 5040-0, Telefax: +43 2236 5040-35  
[www.danfoss.at/vlt](http://www.danfoss.at/vlt)

### Schweiz:

**Danfoss AG**  
**VLT® Antriebstechnik**  
Parkstrasse 6, CH-4402 Frenkendorf,  
Tel: +41 61 906 11 11, Telefax: +41 61 906 11 21  
[www.danfoss.ch/vlt](http://www.danfoss.ch/vlt)