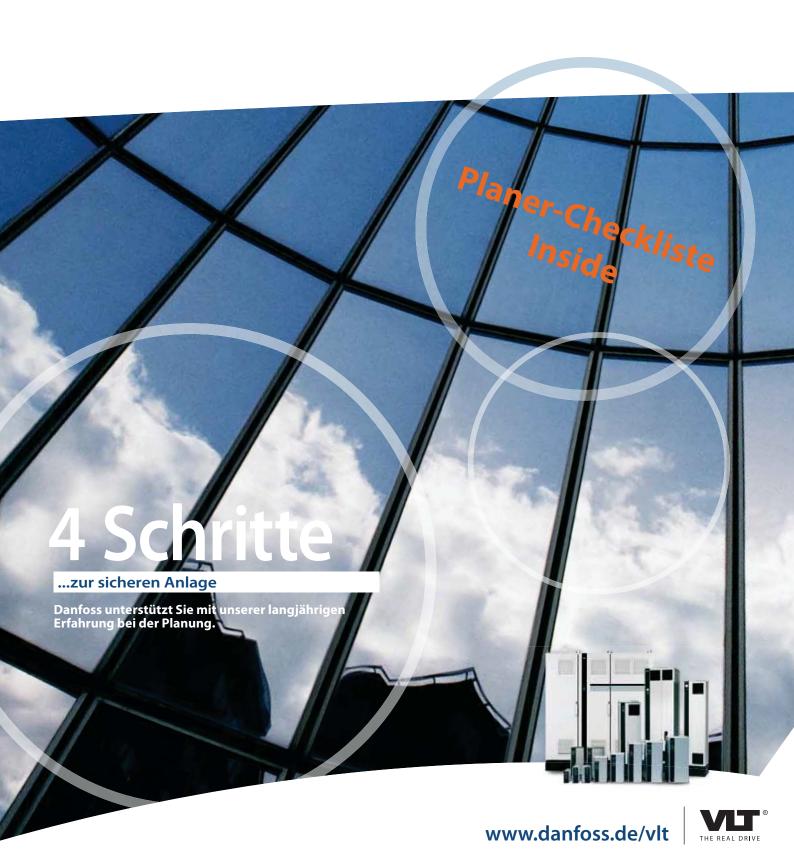
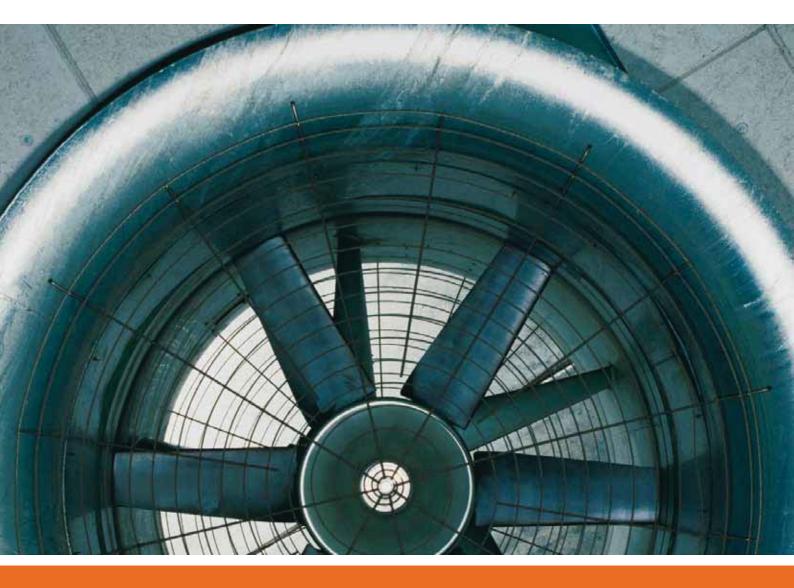


# Heizung, Klima und Lüftung Fachplanung und Projektierung elektrischer Antriebe





Die heraustrennbare Planer-Checkliste auf der letzten Seite dieser Broschüre, führt Sie in 4 Schritten zum optimalen Planungsergebnis.

# **Inhaltsverzeichnis**

miliestellungen bei Planung und Auslegung	
Teil 1- Grundlagen	
Kosten senken und Komfort erhöhen	
Drehzahlregelung spart Energie	8
Kosteneffizienz steigern	
Vorhandenes Einsparpotenzial in der Praxis realisieren	10
Teil 2 - In 4 Schritten zur optimalen Anlage	11
Schritt 1: Praxis - Netzversorgung	
Die gegebene Netzform erkennen	
Praxis - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)  Elektromagnetische Einflüsse wirken in beide Richtungen Die Verantwortung liegt beim Betreiber Zwei Möglichkeiten der Reduzierung Kabelgebundene und Strahlungseinflüsse unterscheiden	
Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen	
Praxis - Netzqualität	14
Niederfrequente Netzrückwirkungen Versorgungsnetze in Gefahr Gesetzliche Grundlage sichert Qualität Wie entstehen Netzrückwirkungen Auswirkungen von Netzrückwirkungen	15
Netzrückwirkungen berechnen	
Praxis - Reduzierung von Netzrückwirkungen	16
Möglichkeiten zur Reduzierung der Netzrückwirkungen Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis 12-, 18- oder 24-pulsige Gleichrichter Passive Filter Vorteile und Nachteile passiver Filter Aktive Filte	1.7
Vorteile und Nachteile aktiver Filter	17
Schlanker Zwischenkreis	18
Active Front End und Low Harmonic Drive Vorteile und Nachteile AFE / LHD	
Praxis - Hochfrequente Funkstörungen	20
Funkstörungen	
Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte	
Praxis - 1. und 2. Umgebung	21
Der Einsatzort entscheidet - 1. und 2. Umgebung 1. Umgebung (Klasse B) Wohnbereich 2. Umgebung (Klasse A) Industriebereich Spezialbereiche Keine Kompromisse	
Praxis - Maßnahmen zum Schutz des Netzes	22
Blindstromkompensation	
Netztransienten	
Praxis - Betrieb am Transformator oder Notstromgenerator	23
Maximale Transformatorauslastung bei FU-Betrieb Belastung des Transformators Spannungsqualität	
Betrieb am Notstromgenerator	

# Inhaltsverzeichnis

Schritt 2: Praxis - Umgebungs- und Umweltbedingungen	24
Der richtige Einbauort: Schaltschrank oder Wandmontage?	
Praxis - IP Schutzklassen	25
Struktur der IP-Schutzklassen nach IEC 60529	
Praxis - Kühlkonzept	26
Umgebungstemperaturen einhalten Kühlung Luftfeuchtigkeit	
Praxis - Besondere Anforderungen	27
Aggressive Luft oder Gase	
Staubbelastung	
Praxis - Ex-Bereich	29
Ex-gefährdete Bereiche	
Schritt 3: Praxis - Motoren und Verkablung	30
Mindestwirkungsgradklassen von Motoren Verbindliche Mindeswirkungsgrade IE- und eff-Klassen: Große Unterschiede im Detail Betroffene Drehstrommotore Wirtschaftlichkeit	
Praxis - EC- und PM-Motore	32
Viele Namen für eine vergleichbare Technologie Die Technologie Hoher Wirkungsgrad "Übersynchroner" Betrieb IEC-Normgehäuse	33
Praxis - Motoreignung für FU-Betrieb	34
Auswahlkriterien  Lager- und Isolationsbeanspruchung  Thermische Beanspruchung	
Praxis - Ausgangsfilter	35
Sinus- oder du/dt-Filter Funktionen und Aufgaben von Sinusfiltern Wann kommen Sinusfilter zum Einsatz? Nachträglicher Einbau / Retrofit	
Praxis - Motorkabel	36
Nennspannungsklasse Kabeldimensionierung Länge des Motorkabels Kabel mit geeigneter Schirmung	
Praxis - Erdungsmaßnahmen	37
Bedeutung von Erdungsmaßnahmen Leitfähige Materialien Sternförmiges Erdungssystem Kontaktstellen Leiteroberfläche	
Praxis - Schirmungsmaßnahmen	38
Bedeutung von Schirmungsmaßnahmen Geschirmte Kabel und Leitungen Schirmanschluss Schirmunterbrechungen	

Masseverbindung	39
Motorzuleitung	
Signalleitung	
Schirmarten	
Schritt 4: Praxis - Auswahl der Frequenzumrichter	40
Basisauslegung	
Konstantes oder quadratisches Drehmoment	
Praxis - Lastkennlinien verschiedener Anwendungen	41
Zuordnung: Kennlinie zur Applikation	
Praxis - Sonderfall Mehrmotorenbetrieb	42
Auslegung	
Kabelführung	
Praxis - EMV Maßnahmen umsetzen	43
Von der Theorie zur Praxis	
Funkstörungen	
Empfehlungen für die Praxis	
Netzrückwirkungen	44
Zwischenkreis beeinflusst Netzrückwirkungen Reduzierungsmaßnahmen	
Praxis - FI-Schutzschalter	16
	40
Allstromsensitive Schutzeinrichtung	4.7
Praxis - Erdung und Motorschutz	4/
Erdungsmaßnahmen in der Praxis	
Motorschutz und Motorkaltleiter	
Praxis - Bedienung und Datenanzeige	48
Einfaches Bedienkonzept	
Lokale Bedienung	49
Übersichtliche Einheit	
Einheitliches Konzept Integriert in die Schaltschranktür	
Praxis - Bedienung und Parametrierung mittels PC	50
	50
Erweiterte Möglichkeiten	
Praxis - Datenaustausch  Bussysteme	51
Besseres Alarm- und Anlagenmanagement	
Einsparung bei der Installation	
Vereinfachte Inbetriebnahme	
Praxis - Weitere Auswahlfaktoren	52
Prozessregler	
Wartung	
Lagerung	
VLT® HVAC Drive	55
Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter	
Stichwortverzeichnis	
Abkürzungen	
Black Charles	

# Hilfestellungen bei Planung und Auslegung

Die Danfoss Planerfibel Heizung, Klima und Lüftung richtet sich an Ingenieurbüros, Behörden, Ämter, Verbände sowie Anlagen- und Schaltanlagenbauer in der Klimatechnik und Gebäudeautomation. Sie ist als umfangreiches Hilfsmittel für Fachplaner (MSR/Elektro) und Projekteure konzipiert, zu deren Aufgabenbereich die Projektierung von drehzahlgeregelten Antrieben mittels Frequenzumrichtern gehört.

Hierfür haben unsere Spezialisten den Inhalt dieser Planerfibel mit Fachplanern der Branche abgestimmt, um wichtige Fragen zu beantworten und größtmöglichen Nutzen für Bauherren und/oder Auftraggeber zu erreichen. Die Beschreibungen der einzelnen Kapitel sind bewusst kurz gehalten. Sie dienen nicht als umfangreiche Erläuterungen technischer Sachverhalte, sondern weisen nur auf diese Sachverhalte und deren besondere Anforderungen bei der Projektierung hin. Somit gibt die Planerfibel Heizung, Klima und Lüftung Hilfestellung bei der Projektierung frequenzgeregelter Antriebe, aber auch bei der Bewertung technischer Ausstattung unterschiedlicher Frequenzumrichterfabrikate.

Bei der Projektierung drehzahlgeregelter 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 gesamte Antriebssystem zu betrachten. Dieses System besteht aus Motor, Frequenzumrichter, Verkabelung und den Rahmenbedingungen des Umfelds, zu denen unter anderem die Netzversorgung und die Umweltbedingungen zählen.

Projektierung und Auslegung drehzahlgeregelter Antriebssysteme fällt eine entscheidende Bedeutung zu. Der Planer oder Projekteur 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 und die in ihr enthaltene Planercheckliste stellen optimale Werkzeuge dar, um für die größtmögliche Planungssicherheit zu sorgen und damit zur Betriebssicherheit der gesamten Anlage beizutragen.

Die Planerfibel Heizung, Klima und Lüftung 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 durch die vier 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. Dazu finden Sie am Ende der Broschüre eine Checkliste, in der Sie die einzelnen Schritte abhaken können. Wenn Sie alle Punkte berücksichtigen, wird Ihnen eine optimale Konfiguration der Anlage für einen jederzeit sicheren Betrieb vorliegen.



# Teil 1- Grundlagen

# 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 (müssen), 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 Drehmoment-Kennlinie, die Höhe der Energieeinsparung. Je größer diese ausfällt, desto kürzer ist die Amortisationszeit. In der Regel liegt diese bei ca. 12 Monaten.
- Anlaufstrombegrenzung
   Direktes Einschalten von Anlagen
   am Versorgungsnetz erzeugt Strom spitzen, die das Sechs- bis Achtfa che des Nennstroms erreichen kön nen. 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<sub>max</sub>-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 mit Motor, Getriebe, Kupplung, Pumpe/Gebläse/Verdichter und das Rohrleitungssystem inklusive der Dichtungen. So reduziert die Drehzahlregelung den Verschleiß deutlich und die Lebensdauer der Anlage verlängert sich. Die Reparatur- und Wartungskosten sinken dank längerer Betriebsintervalle und geringerem Materialverschleiß.
- Optimale Betriebspunktanpassung
   Der Wirkungsgrad von klimatech nischen Anlagen hängt vom op timalen Betriebspunkt ab. Dieser
   Betriebspunkt schwankt mit der
   Auslastung der Anlage. Je genauer
   sie diesen Betriebspunkt erreichen,
   desto effizienter arbeitet sie und
   desto höher ist folglich auch ihr Wir kungsgrad. Durch die stufenlose Re-

gelung haben Frequenzumrichter die Möglichkeit, diesen optimalen Betriebspunkt exakt anzufahren.

- 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 einer Frequenz im Bereich von 55-87 Hz betrieben. Der Betrieb im übersynchronen Bereich ist unbedingt mit dem Motorenhersteller zu klären!
- Geringere Geräuschentwicklung Anlagen im Teillastbetrieb laufen leiser. Drehzahlgeregelter Betrieb senkt die Geräuschentwicklung dabei deutlich.
- Antriebssysteme im Teillastbetrieb unterliegen einer geringeren Abnutzung, die sich in einer längeren Lebensdauer bemerkbar macht.

· Erhöhte Lebensdauer

- nutzung, die sich in einer längeren Lebensdauer bemerkbar macht. Vorteilhaft wirkt sich auch der reduzierte, optimierte Systemdruck an den Rohrleitungen aus.
- Nachträglicher Einbau
   Frequenzumrichter lassen sich
   nachträglich mit wenig Aufwand in
   bestehende Antriebssysteme
   integrieren.



# Drehzahlregelung spart Energie

Das Energiesparpotenzial beim Einsatz von Frequenzumrichtern hängt von der Art der anzutreibenden Last und von der Optimierung des Wirkungsgrades des Lüfters, Verdichters bzw. der Pumpe oder des Antriebs durch den Frequenzumrichter ab, sowie von der Zeit, die das System im Teillastbetrieb arbeitet. Viele Anlagen sind für selten auftretende Spitzenlasten ausgelegt und laufen daher meist im Teillastbetrieb.

Das größte Energiesparpotenzial erreichen Kreiselpumpen und Ventilatoren. Sie gehören zu den Strömungsmaschinen mit quadratischem Drehmomentverlauf und es gelten für sie die nachfolgenden Proportionalitätsgesetze.

Mit steigender Drehzahl erhöht sich der Durchfluss proportional, der Druck steigt quadratisch und die Leistungsaufnahme nimmt kubisch zu.

Der entscheidende Faktor für die Energieeinsparung ist der kubische Zusammenhang von Drehzahl und Leistungsaufnahme. Eine mit halber Drehzahl laufende Pumpe benötigt nur ein Achtel der beim Betrieb mit voller Drehzahl erforderlichen Leistung.

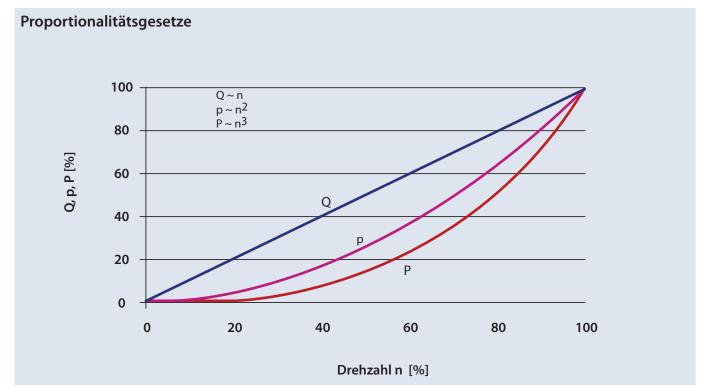
Bereits geringe Drehzahlverminderungen führen so bereits zu deutlichen Energieeinsparungen. So ergibt eine Drehzahlverringerung von 20 % bereits eine Energieeinsparung von 50 %. Der große Vorteil beim Einsatz von Frequenzumrichtern liegt darin, dass die Drehzahlregelung keine Energie verschwendet, wie beispielsweise eine Drosselregelung, sondern die Leistungsaufnahme des Motors exakt an den jeweiligen Bedarf anpasst.

Weiteres Energieeinsparpotential liegt in der Optimierung des Wirkungsgrads des Lüfters/der Pumpe/des Antriebs bei Frequenzumrichterbetrieb. Die Spannungssteuerkennlinie (U/f-Kennlinie) liefert dem Motor bei jeder Frequenz (und damit Drehzahl) auch die passende Spannung. Dadurch vermeidet die Regelung Verluste im Motor durch zu hohen Blindstrom.

Bemerkung: Danfoss-Frequenzumrichter der Serie VLT® HVAC Drive optimieren den Energiebedarf noch weiter. Die AEO-Funktion (Automatische Energie Optimierung) regelt die momentane Motorspannung immer so, dass der Motor im bestmöglichen Wirkungsgrad läuft. So passt der VLT® HVAC Drive die Spannung immer an die tatsächliche von ihm gemessene Lastbedingung an. Das zusätzliche Energiesparpotenzial beträgt weitere 3 % bis 5 %.



Zur Berechnung der zu erwartenden Energieeinsparung beim Einsatz von Frequenzumrichter stehen Tools wie z.B. die Energie Box von Danfoss zur Verfügung



Proportionalitätsgesetze von Strömungsmaschinen. Durchfluss Q, Druck p und Leistung P hängen bei Strömungsmaschinen wegen der physikalischen Gesetze direkt von der Drehzahl n der Maschine ab.

# Kosteneffizienz steigern

### Betrachtung der Lebenszykluskosten - LCC

Bis vor einigen Jahren berücksichtigten Anlagenbauer und Betreiber bei der Auswahl von klimatechnischen Systemen lediglich die Anschaffungs- und Installationskosten. Heute gewinnt die ganzheitliche Betrachtung aller Kosten zunehmend an Bedeutung. Bekannt unter dem Stichwort Lebenszykluskosten (LCC) umfasst sie die gesamten Kosten, die Anlagen während ihrer Laufzeit verursachen.

In dieser Lebenszykluskostengleichung sind neben den Anschaffungsund Installationskosten auch die Kosten für Energie, Betrieb, Instandhaltung, Ausfall, Umwelt und Entsorgung enthalten. Einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Lebenszykluskosten haben die beiden Parameter Energie- und Instandhaltungskosten. Um diese zu senken, suchen Betreiber nach innovativ geregelten Lösungen.

Beispiel für niedrigere LCC
Der VLT® HVAC Drive verfügt über
eine Radizierfunktion zum Umrechnen von Werten einer Differenzdruckmessung in ein Volumenstromsignal. Der Anwender kann
dadurch günstigere Sensoren
einsetzen und somit die Anschaffungskosten Cic reduzieren.

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

Cic = Anschaffungskosten

Cin = Einrichtungs-/Inbetriebnahmekosten

Ce = Energiekosten Cs = Ausfallkosten

Co = Betriebskosten Cenv = Umweltkosten

Berechnung der Lebenszykluskosten

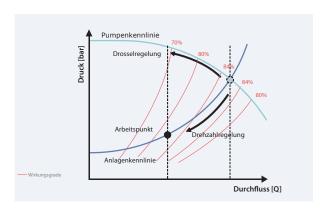
#### Energiekosten senken

Einer der größten Kostenfaktoren in der Gleichung zur Berechnung der Lebenszykluskosten sind die Energiekosten. Dies gilt vor allem dann, wenn Lüfter und Pumpen mehr als 2000 Stunden im Jahr in Betrieb sind.

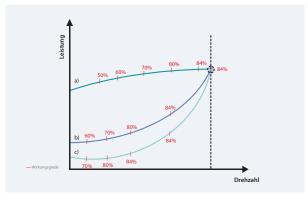
In bestehenden Anlagen schlummern meist erhebliche Potenziale zur Energieeinsparung. Das kommt daher, dass der Großteil aller Installationen überdimensioniert ist, da sie auf den "worst case" ausgelegt sind. Häufig erfolgt die Volumenstromänderung über Drosselventile. Bei dieser Regelung laufen die Motoren immer mit voller Drehzahl und verbrauchen somit unnötig Energie. Vergleichbar

ist das mit einem Auto, das ständig Vollgas fährt und der Fahrer die Geschwindigkeit über das Bremsen anpasst.

Moderne intelligente Frequenzumrichter bieten ideale Möglichkeiten, sowohl die Energie- als auch die Instandhaltungskosten zu senken.



Im Kennliniendiagramm sind neben der Pumpen- und Anlagenkennlinie auch einige Wirkungsgradgrenzen dargestellt. Sowohl durch Drosselregelung, als auch durch Drehzahlregelung bewegt sich der Arbeitspunkt aus dem Wirkungsgradoptimum heraus. Das Verhalten bei Lüftern ist analog.



- a) Drosselregelung: η nimmt ab
- b) Drehzahlregelung real:  $\eta$ -Verlauf  $\neq$  Anlagenkennlinie
- c) Drehzahlregelung optimal: η-Verlauf nahe Anlagenkennlinie

# Vorhandenes Einsparpotenzial in der Praxis realisieren

In den Ausführungen des 1. Teils der Planerfibel standen vor allem die Grundlagen mit den möglichen Einsparungen in Anlagen der Heizung/Klima/Lüftungs-Technik im Mittelpunkt der Betrachtungen. So haben Sie mehr über die Lebenszykluskosten, die Einsparungen bei Energieverbrauch sowie Wartungund 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 2. 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 tiefer gehendes Wissen von Vorteil ist, erhalten Sie neben den Basisinformationen in dieser Fibel auch einen Hinweis auf weiter führende Literatur.

Hilfestellung gibt dabei auch die am Ende der Broschüre beigefügte Checkliste zum Ausklappen oder auch Abtrennen, in der Sie die einzelnen Schritte dann jeweils abhaken können. Damit überblicken Sie schnell und einfach alle relevanten Planungspunkte.

Die Berücksichtigung aller Punkte schafft die optimale Voraussetzung für eine energieeffiziente und sichere Anlage.



# Teil 2 - In 4 Schritten zur optimalen Anlage Schritt 1: Praxis - 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, 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.

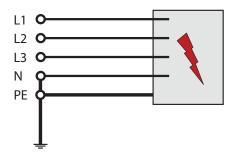
Dieses System bietet gute EMV-Eigenschaften, wenn die Erdungen sauber ausgeführt sind.

#### IT-Netze

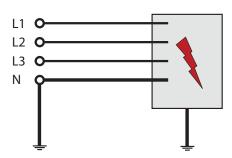
Dieses System ist ein isoliertes 4-Leiter Netz, bei dem der Neutralleiter entweder ungeerdet oder über eine Impedanz EMV Eigenschaften geerdet ist.

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

TN-S-System Neutralleiter und Schutzleiter getrennt

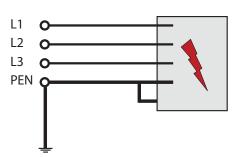


**TT-System** Geerdeter Neutralleiter und Einzelerdung der Einrichtungen

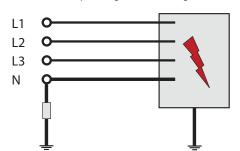


Netzformen für Stromverteilungsanlagen nach EN 50310 / HD 384.3

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



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



# Praxis - 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.

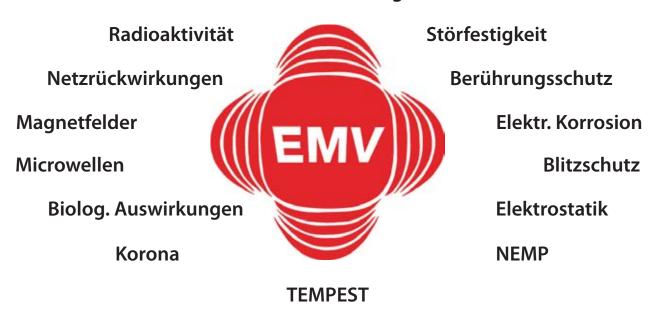
## Die Verantwortung liegt beim Betreiber

Bisher 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 – sprich: den Einsatz dieser Lösungen – obliegt aber dem Betreiber – und auch 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.

## **Funkentstörung**



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

# Praxis - 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 Netzrückwirkungen, bzw. harmonische Oberschwingungen oder auch nur als Harmonische bekannt.

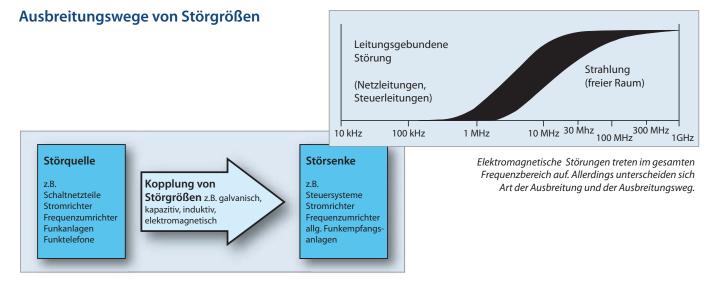
# Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen

Doch wie erfolgt jetzt 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 Strom durchflossenen 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.



Überblick über die Kopplungswege elektromagnetischer Störgrößen und typische Beispiele

#### EMV im Zusammenhang mit Frequenzumrichtern

Niederfrequente Einflüsse (leitungsgebunden) Hochfrequente Einflüsse (strahlungsgebunden)



Netzrückwirkungen/Oberschwingungen Funkstörungen (Emission elektromagnetischer Felder)

# Praxis - Netzqualität

## Niederfrequente Netzrückwirkungen

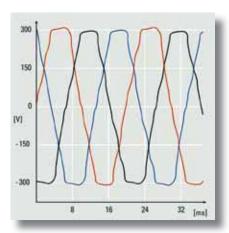
### Versorgungsnetze in Gefahr

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.

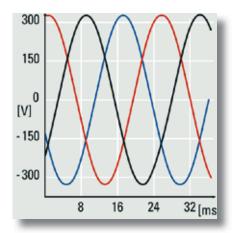
Doch wo liegen diese Grenzen und wer legt sie fest?

## 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 61000-3-12 sind Vorschriften bezüglich der Netzrückwirkungen 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.



Messungen zeigen deutliche Verzerrung der Netzspannung durch die Rückwirkungen nichtlinearer Verbraucher.



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

## Wie entstehen die Netzrückwirkungen

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

umrichtern in 50 Hz-Netzen betrachtet 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.

# Praxis - Niederfrequente Netzrückwirkungen

# Auswirkungen von Netzrückwirkungen

Netzrückwirkungen wie harmonische Oberschwingungen und Spannungsschwankungen zählen zu den niederfrequenten, leitungsgebundenen Netzstörungen. Diese 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 Netzrückwirkungen 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 netzrückwirkungsfreie Frequenzumrichter?

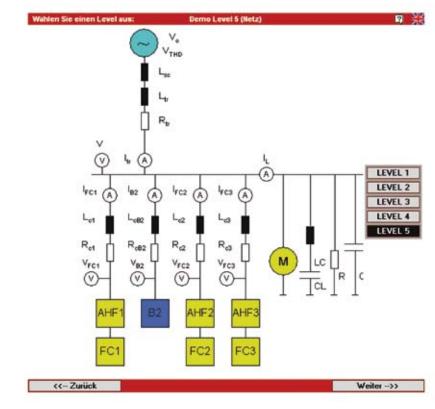
Jeder Frequenzumrichter erzeugt Netzrückwirkungen. Allerdings betrachtet die aktuelle Norm nur den Frequenzbereich bis 2 kHz. Daher verschieben einige Hersteller Netzrückwirkung in den von der Norm nicht definierten Bereich oberhalb von 2 kHz (siehe auch Seite 18 Abschnitt Schlanker Zwischenkreis) und bewerben diese als netzrückwirkungsfreie 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.

# Netzrückwirkungen 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. Netzberechnungsprogramme, 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.



# Möglichkeiten zur Reduzierung der Netzrückwirkungen

Generell lassen sich Netzrückwirkungen elektronischer Leistungssteuerungen durch eine Amplitudenbegrenzung der Pulsströme reduzieren. Dies hat eine Verbesserung des Leistungsfaktors λ (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 Netzrückwirkungen 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 Gleichrich-



ter, schalten. Da die Induktivität an jeder Stelle die gleiche Wirkung hervorruft, ist die Bedämpfung der Netzrückwirkungen 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<sub>k</sub> von 4 % bewährt. Eine weitere Reduzierung kann nur mit speziell angepassten Filtern erfolgen.

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

### 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 phasenversetzt den Gleichrichtergruppen zuführt. Nachteile dieser Technik sind, neben Aufwand und Platzbedarf für den speziellen Transformator, auch die höheren Investitionskosten für den Transformator und die Frequenzumrichter.

#### **Passive Filter**

Bei besonders hohen Anforderungen bzgl. Oberwellenfreiheit stehen optional passive Netzrückwirkfilter 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 Frequenzumrichtern 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**

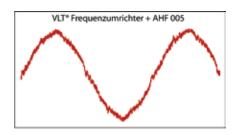
Diese Art von Filter bietet ein gutes Preis-/Leistungsverhältnis. Mit relativ geringen Kosten erhält der Betreiber eine Reduzierung der Oberschwingungen wie sie mit 12- oder 18-pulsigen Gleichrichtern möglich ist. Eine Reduzierung des Oberwellenstromgehaltes auf einen THD-Wert = 5 %. Passive Filter erzeugen keine Störungen im Frequenzbereich oberhalb von 2 kHz.

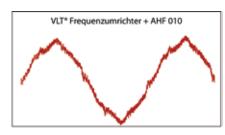
Da sie nur aus passiven Komponenten aufgebaut sind, tritt kein Verschleiß auf und es handelt sich um eine gegen elektrische Störungen und mechanische Belastung unempfindliche Lösung.

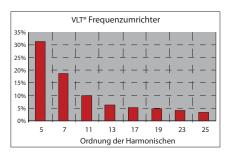
## **Nachteile** passiver Filter

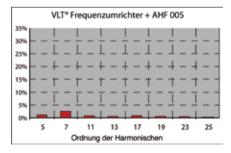
Passive Filter sind durch ihr Konstruktionsprinzip relativ groß und schwer. Filter dieser Kategorie arbeiten im Lastbereich von 80-100 % sehr effektiv. Mit abnehmender Last steigt jedoch die kapazitive Blindleistungsaufnahme und es empfiehlt sich, die Kondensatoren des Filters im Leerlaufbetrieb abzuschalten.

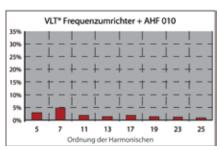












Passive Filter reduzieren die Oberschwingungsstrom-Verzerrung auf < 5 % oder < 10 %

#### **Aktive Filter**

Sind die Anforderungen bzgl. der Netzrückwirkungen 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.

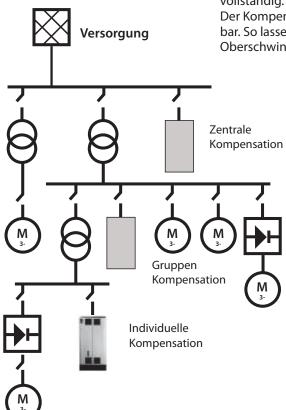
Der Kompensationsgrad ist einstellbar. So lassen sich nach Wunsch Oberschwingungen fast vollständig kompensieren oder z.B. aus wirtschaftlichen Gründen nur soweit, dass die Anlage die gesetzlichen Grenzwerte einhält. Auch hier ist zu beachten, dass diese Filter mit einer Taktfrequenz arbeiten und die Netzspannung im Bereich 4 - 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 ≤ 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.

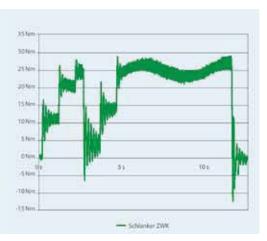


Aktive Filter lassen sich an beliebigen Stellen im Netz einfügen, abhängig davon, ob sie einzelne Antriebe, ganze Gruppen oder gar ganze Netze kompensieren sollen.

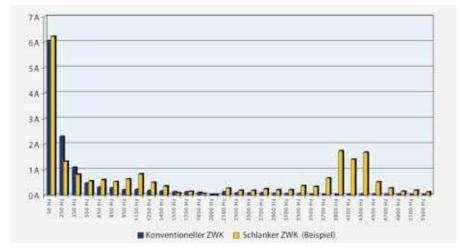
#### Schlanker Zwischenkreis

In den letzten Jahren kamen verstärkt Frequenzumrichter mit einem sogenannten schlanken "Zwischenkreis" auf den Markt. Bei diesem Verfahren setzen die Hersteller die Kapazität der Zwischenkreiskondensator stark herab. Dies begrenzt auch ohne Drossel die 5. Harmonische des Stromes auf einen Wert THDi < 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



Bei Geräten mit schlankem Zwischenkreis steigt die Neigung zum "Schwingen" bei größeren Lastwechseln



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

schlankem Zwischenkreis hier schneller als konventionelle Geräte mit einer Abschaltung.

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 Netzrückwirkungen 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 Frequenz-umrichtern 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 Netzrückwirkungen.

Sie produzieren wie auch Frequenzumrichter mit schlankem Zwischenkreis Netzrückwirkungen im oberen Frequenzspektrum.

Ein Active Front End Gerät ist die teuerste Maßnahme zur Reduktion von Netzrückwirkungen, 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 Grunde etwas günstiger.

#### **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 eine 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 der AFE-Geräte nicht getrennt, bedeutet der Ausfall des Filters auch den Ausfall des gesamten Gerätes. Ein weiterer Nachteil ist die Taktfrequenz, mit

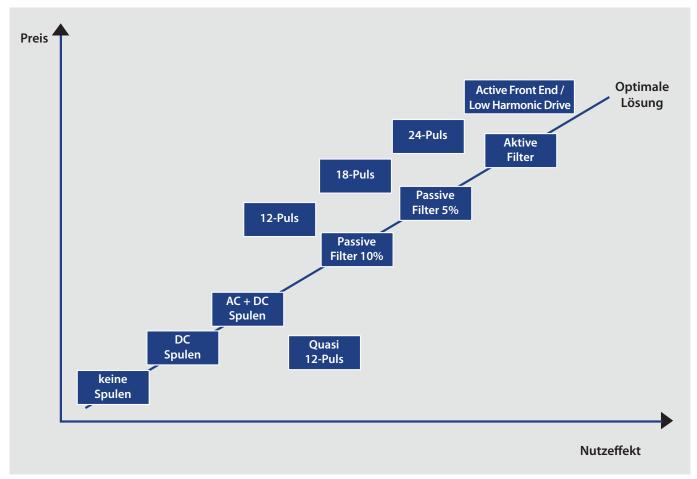
der die Geräte die Korrektur des Eingangs-stromes vornehmen. Sie liegt zwischen 4-20 kHz. Gute, technisch aufwändigere Geräte filtern diese Taktfrequenz vor der Einspeisung ins Netz wieder heraus. Die derzeit gültigen Normen und Gesetze decken diesen Frequenzbereich bislang nicht ab. Aktuelle Netzanalysatoren 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 Lösung

Das AFE ist als separater aktiver Filter ausgelegt.

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



Übersicht über die Maßnahmen zur Reduzierung von Oberschwingungen

# Praxis - 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 der 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 Gerätes, 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 Oualität des einzusetzenden Filters klar zu definieren. In der Normen, Produktnorm 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 Installation und Inbetriebnahme durch Anforderung 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

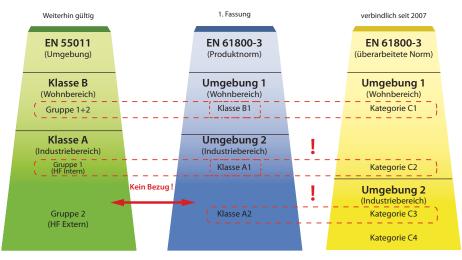
Für eine umfassende Beurteilung hochfrequenter Funktstörungen sind zwei Normen zu beachten. Zum einen definiert die Umgebungsnorm EN 55011 die Grenzwerte in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Umgebungen Industrie mit den Klassen A1/A2 oder Wohnbereich der Klasse B. Daneben definiert die Produktnorm 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 Grenzwerte\*



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

# Praxis - 1. und 2. Umgebung

## Der Einsatzort entscheidet

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

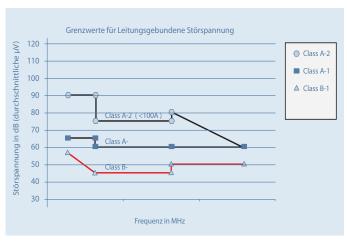
Als Wohn- bzw. Geschäfts- und Gewerbebereich, sowie Kleinbetrieb gelten alle Einsatzorte, die direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen sind. Sie besitzen keine eigenen Hoch- oder Mittelspannungs-Verteil-Transformatoren zur separaten Versorgung. Die Umgebungsbereiche gelten sowohl innerhalb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

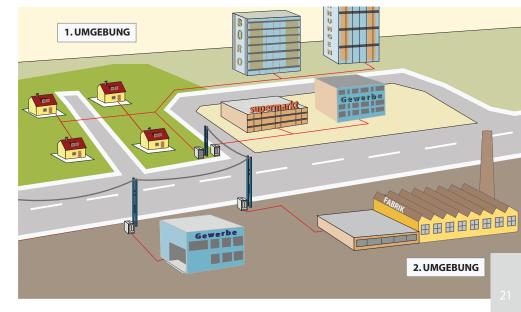
Hier entscheidet der Anwender, welchem Umgebungsbereich er seine Anlage zuordnen möchte. Voraussetzung ist ein eigener Mittelspannungs-Transformator und eine eindeutige Abgrenzung zu anderen Bereichen. Innerhalb seines Bereichs muss er eigenverantwortlich die notwendige elektromagnetische Verträglichkeit 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 Frequenzumrichter 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.



# Praxis - Maßnahmen zum Schutz des Netzes

## Blindstromkompensation

Blindstromkompensationsanlagen dienen der Kompensation des Phasenverschiebungswinkels  $\phi$  zwischen Spannung und Strom sowie der Verschiebung des Leistungsfaktors  $\cos \phi$  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 φ 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.

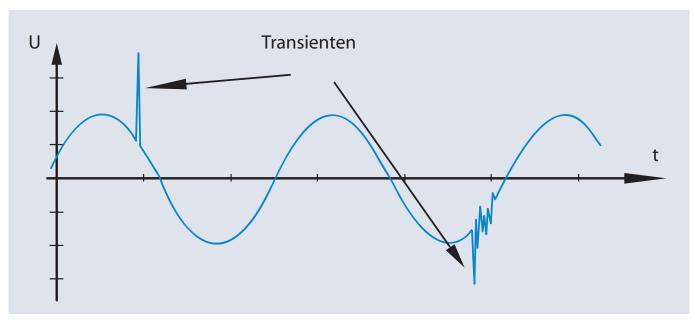
Ebenso erfordern Umrichter mit  $\cos \phi < 1$  eine Verdrosselung der Kompensationsanlage. Zusätzlich muss der Anwender den höheren Blindstrom bei der Kabelauslegung beachten.

## 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 einund 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 Klimaanlagen.

# Praxis - Betrieb am Transformator oder Notstromgenerator

# **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 Transformators kommen. Intelligente Schaltgruppen (Zusammenschalten mehrerer Transformatoren) 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/hcs.software geben eine genaue Aussage darüber, wieviel Frequenzumrichterlast in einer vorgegebenen Anlage ein Transformator versorgen kann.

Bemerkung: Frequenzumrichter der Serie VLT® HVAC Drive verfügen alle über eine standardmäßig integrierte Netzrückwirkdrossel.

## **Betrieb am Notstromgenerator**

ersatzanlagen ein, wenn sie wie z.B. im Krankenhaus 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 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:

Betreiber setzen immer dann Netz-

 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 hingegen für eine zusätzliche Belastung durch unkalkulierbare 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 möglich.

Beim Betrieb von Oberschwingungserzeugern gelten die Grenzen wie folgt:

B2- und B6-Gleichrichter verdrosselter B6-Gleichrichter

 $\Rightarrow$ 

max. 20 % Belastung des Generators max. 20-35 % Belastung des Generators abhänig 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.

# Schritt 2: Praxis - Umgebungs- und Umweltbedingungen

## **Der richtige Einbauort**

Eine hohe Verfügbarkeit und Standzeit im Einsatz befindlicher Frequenzumrichter ist nur bei richtiger Kühlung und sauberer Luft gegeben. Daher beeinflusst die Wahl des Einbauortes und der Einbauverhältnisse maßgeblich die Lebensdauer dieser Geräte.

## Schaltschrank- oder Wandmontage?

Die Frage, Frequenzumrichter zentral in einem Schaltschrank oder dezentral an einer Wand zu montieren, 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 Schranks gegenseitig beeinflussen können und daher dem EMV-konformen Aufbau des Schaltschrankes 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 Wandmontagevariante 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. Im Bereich der Heizung, Klima und Lüftungstechnik werden ca. 80% aller Geräte in der Schutzart IP54 oder höher eingesetzt. 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 agressive Gase.





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

# **Praxis - IP Schutzklassen**

# Struktur der IP - Schutzklassen nach IEC 60529

		Gegen Eindringen von festen Fremdkörpern	Gegen Zugang zu gefährlichen Teilen mit
	0	(nicht geschützt)	(nicht geschützt)
	1	≥ 50 mm Durchmesser	Handrücken
Erste	2	12,5 mm Durchmesser	Finger
Kennziffer	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	
	0	(nicht geschützt)	
	1	senkrechtes Tropfen	
	2	Tropfen (15° Neigung)	
Zweite	3	Sprühwasser	
Kennziffer	4	Spritzwasser	
	5	Strahlwasser	
	6	starkes Strahlwasser	
	7	zeitweiliges Untertauchen	
	8	dauerndes Untertauchen	
		Ergänzende Information speziell für	
	Α		Handrücken
Erste Kennziffer	В		Finger
Kermamer	С		Werkzeug
	D		Draht
Ergänzende Information speziell		Ergänzende Information speziell für	
Ergänzender	Н	Hochspannungsgeräte	
Buchstabe	М	Bewegung während Wasserprüfung	
	S	Stillstand während Wasserprüfung	
	W	Wetterbedingungen	

 $\label{thm:continuous} Fehlende\ Kennziffern\ werden\ durch\ ein\ >X<\ ersetzt.$ 



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.

# Praxis - Kühlkonzept

Die äußeren klimatischen Bedingungen und Umgebungsvariablen haben auf die Kühlung aller elektrischen und elektronischen Komponenten eines Schaltraums/Schaltschranks 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° C funktionieren, garantieren Hersteller den Betrieb bei Bemessungsleistung erst ab 0° C. Vermeiden Sie daher den Einsatz in frostgefährdeten Bereichen (z. B. in 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° C, die es über seiner Auslegungstemperatur betrieben wird. 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 hat eventuell die Klimatisierung von Montageräumen oder Schaltschränken zur Folge. Die Vermeidung extremer Umgebungstemperaturen erhöht die Lebensdauer von Frequenzumrichtern und damit die gesamte Anlagenverfügbarkeit.

### Kühlung

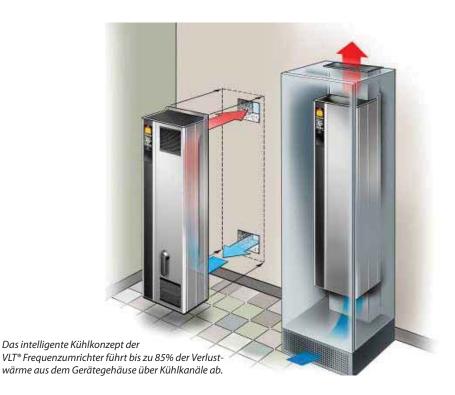
Frequenzumrichter geben Verlustleistung in Form von Wärme ab. Die Größe der Verlustleistung in Watt ist in den technischen Daten der Frequenzumrichter angegeben. Betreiber sollten geeignete Maßnahmen ergreifen, die entstehenden Wärmeverluste der Frequenzumrichter aus dem Schaltschrank abzuführen, beispielsweise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

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

## Luftfeuchtigkeit

Obwohl Frequenzumrichter zum Teil noch bei relativ hoher Luftfeuchtigkeit funktionieren (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 dann 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. Es ist allerdings zu prüfen, ob die Verlustleistung in Form von Verlustwärme ausreichend ist, um die Elektronik im Frequenzumrichter trocken zu halten.



# **Praxis - Besondere Anforderungen**

## **Aggressive Luft oder Gase**

In Industrieanlagen oder Schwimmbädern treten häufig aggressive Gase, wie beispielsweise Schwefelwasserstoff, Chlor oder Ammoniak auf. Eine Kontamination der Kühlluft kann zu einer allmählichen 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 (anderes Gebäude, gekapselter Schaltschrank mit Wärmetauscher, etc.) oder sie

sollten Geräte bestellen, deren Platinen mit einem speziellen Schutzlack beschichtet sind, der den aggressiven Gasen widersteht. Ein deutliches Zeichen für aggressive Umgebungsluft ist die Korrosion von Kupfer. Wenn sich dieses innerhalb kürzerer 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 Projektierungs- phase woher die Luft zur Kühlung von Elektroinstallationen kommt. Vermeiden Sie beispielsweise auf Kläranlagen ein Ansaugen der Luft im Zulaufbereich oder bei Schwimmbädern ein Ansaugen aus dem Wasseraufbereitungsbereich.

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

	Einheit	Klasse						
Umgebungsparameter		3C1	3C2	3C2				
			Durchschnitt Wert	Max. Wert	Durchschnitt Wert	Max. Wert		
Meersalz	mg/m <sup>3</sup>	Nein	Salzneb	Salznebel		Salznebel Salznebel		el
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/ m³	0,01	0,1	0,03	0,3	1,0		
Chlorwasserstoff	mg/ m <sup>3</sup>	0,01	0,1	0,5	1,0	5,0		
Fluorwasserstoff	mg/ m³	0,003	0,01	0,03	0,1	3,0		
Ammoniak	mg/ m <sup>3</sup>	0,3	1,0	3,0	10	35		
Ozon	mg/ m³	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		

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.

# **Praxis - Besondere Anforderungen**

## Staubbelastung

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

### Verminderte Kühlung

Der 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 Isolationsschicht und die Komponenten können Wär-

me 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

Der Luftstrom zur Kühlung von Frequenzumrichtern wird durch Kühllüfter erzeugt, 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 größeren 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 und 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: Staub aus dem Kühlkörper und den Lüftern blasen und die Filtermatten säubern.



# **Praxis - Ex-Bereich**

# Ex-gefährdete Bereiche

Antriebssysteme arbeiten häufig in explosionsgefährdeten Bereichen. Ein Beispiel hierfür ist der Zulaufbereich von Kläranlagen. Kommen dort zur Drehzahlregelung dieser Antriebe 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 explosionsgefährder 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.

Regeln Frequenzumrichter Motoren in Ex-gefährdeten Bereichen, müssen diese Motoren 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 muss zusammen als eine Einheit mit einer aufwendigen und teueren Baumusterprüfung abgenommen werden. Als Alternative hat die PTB in Braunschweig ein neues Zulassungs-

### Ex d - Druckfeste Kapselung



Bei der Zündschutzart "d" wird sichergestellt, dass, wenn in einem geschützten Bereich (z. B. einem Gehäuse) ein Funke entsteht, dieser den geschützten Bereich nicht verlassen kann.



Kennzeichnung von Geräten für den Betrieb in explosionsgefährdeten Bereichen nach ATEX Produktrichtlinie 94/9/EG

verfahren entwickelt, das zukünftig den Einsatz von Drehzahlregelungen an Ex e Motoren deutlich einfacher macht. Das neue Konzept sieht nur die Abnahme des Motors selbst vor, der jedoch in seiner EG-Baumusterprüfbescheinigung spezielle Anforderungen für die thermische Überwachung definiert. Neben der üblichen zertifizierten Kaltleiterauswertung wird zusätzlich eine drehzahlabhängige Strombegrenzung gefordert, um der reduzierten Kühlung von eigenbelüfteten Motoren bei Drehzahlregelung Rechnung zu tragen.

Eine separate Abnahme für Motoren der Schutzart "d" ist nicht erforderlich, allerdings ist die Einführung der Kabel in den "d" Bereich recht aufwendig. 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

#### Ex e - Erhöhte Sicherheit



Bei der Zündschutzart "e" wird verhindert, dass eine Energiemenge entsteht, die einen Funken erzeugen kann. der maximalen Spannung, die in ihn eingeführt werden darf. Durch die Modulation der Ausgangsspannung entstehen am Umrichterausgang meist Spannungsspitzen, die die zulässigen Grenzen der Zündschutzart "e" überschreiten. In der Praxis hat sich der Einsatz von Sinusfiltern am Ausgang von Frequenzumrichtern bewährt, der 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 Upeak. Die Länge des angeschlossenen Motorkabels ist auf Grund des Spannungsabfalls am Kabel möglichst kurz zu halten.

Bemerkung: Die Frequenzumrichter Serie VLT® HVAC Drive 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.

# Schritt 3: Praxis - Motor und Verkablung

## Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) von Motoren

#### Verbindliche

### Mindestwirkungsgrade

Die eff-Klassifizierung entstand 1998 durch eine Selbstverpflichtung der CEMEP (Europäisches Komitee der Hersteller elektrischer Maschinen und Leistungselektronik).

Ab Sommer 2011 gelten in der EU verbindliche Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) für Drehstromasynchronmotore. 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.

# IE- und eff-Klassen: Große Unterschiede im Detail

Obwohl die Grenzwerte beider Standards vergleichbar sind, unterscheiden sie sich in der grundlegenden Ermittlung der Wirkungsgrade. Die Wirkungsgrade der eff-Klassen beruhen auf der 100 Jahre alten Ermittlung der Einzelverluste (IEC 60034-2:1996). Die Bestimmung der Wirkungsgrade der IE-Klassen erfolgt dagegen mit einer höheren Genauigkeit.

In der Regel sind die Messwerte nach dem für die IE-Klassen anerkannten Verfahren bis ca. 10 kW um 2-3 % und ab ca. 100 kW rund 1% schlechter als mit dem alten Verfahren. Die Norm berücksichtigt diese Unterschiede bei der Angleichung der IE- und der eff-Klassen.

Neben den in der IEC 60034-30 definierten IE1- bis IE3-Klassen beschreibt der Leitfaden IEC 60034-31 Grenzwerte für die Klasse IE4. Sind die Klassen IE1 bis IE3 vorrangig an Motoren für den Netzbetrieb orientiert, betrachtet die IE4 auch für drehzahlveränderliche Motoren relevante Aspekte. IE4 hat aktuell keinen bindenden Charakter, sondern dient momentan lediglich zur Diskussion weiterer Wirkungsgradklassen.

#### Hinweis:

Die IE- Klassifizierung gilt aktuell ausschließlich für Drehstromasynchronmotoren mit bestimmten technischen Eigenschaften.

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.

#### **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 folgende Betriebsbedingungen bestimmt sind:
  - Umgebungstemperaturen über 40° C
  - Umgebungstemperaturen unter 15°C (Lüftgekühlte Motoren 0°C)
     Betriebstemperatur über 400°C
  - Kühlwassertemperatur ist kleiner
     5° C oder größer als 25° C
  - Betrieb über 1000 m 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 wird in Europa der Motor nicht als integraler Bestandteil angesehen und separat gemessen. Ähnlich ist die Vorgehensweise bei Sondermotoren. Es wird der Basismotor gemessen und die Wirkungsgradklasse auf Varianten des Motors übertragen.

# Praxis - IE-Klassifizierung von Motoren

# Zeitplan der MEPS Einführung

Der in der EU-Verordnung enthaltene Zeitplan sieht eine schrittweise Erhöhung der Anforderungen an die Motorwirkungsgrade vor. Nach den Stichtagen dürfen in der EU nur noch unter die Verordnung fallende Drehstromasynchronmotoren in Verkehr gebracht werden, die die vorgeschriebenen Wirkungsgrade erfüllen.

		Leistung			MEPS Alternative
Ab 16.06.2011	0,75	-	375 kW	IE2	-
Ab 01.01.2015	0,75	-	7,5 kW	IE2	<b>-</b> t
	7,5	-	375 kW	IE3	IE2 + Umrichter
Ab 01.01.2017	0,75	-	375 kW	IE3	IE2 + Umrichter

Zeitplan

Als MEPS Alternative zu den geplanten IE3 Klassen werden auch umrichtergespeiste IE2 Motoren akzeptiert. Die Einhaltung der Klasse IE3 oder der Alternative IE2 + Umrichter muss am Betriebsort gewährleistet sein.

# Einhaltung der Anschlussmaße nach EN 50347

Drehstromasynchronmotoren der Klassen IE2 und IE3 bauen oft größer als Motoren mit niedrigerem Wirkungsgrad. Dies kann beim Austausch älterer Motoren ein Problem werden.

IE2-Motoren halten meist die nach EN 50347 normierten Achshöhen und Fußmaße ein, jedoch wird die Bauform oft länger. Kleine 50 Hz IE3-Premium-Motoren werden in vielen Fällen nicht die EN 50347 Anschluss-

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

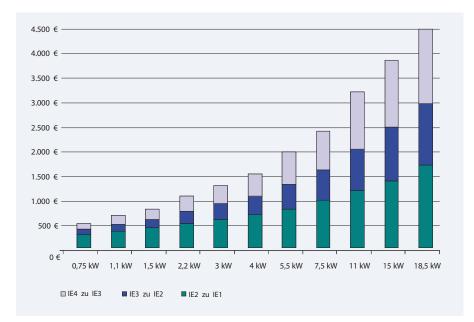
Drehstromasynchronmotoren mit der Klasse IE2 und IE3 werden voraussichtlich die in der EN 50347 definierten Anschlussmaße nicht einhalten können.

maße einhalten. Anlagenbetreiber sollten das bei ihrem Ersatzmotorenkonzept beachten. Alternative zu IF3: IF2 + Umrichter.

### Wirtschaftlichkeit

Eine berechtigte Frage bei der Einführung der IE-Motoren ist deren Wirtschaftlichkeit. Die höheren Wirkungsgrade werden u.a. durch einen größeren Anteil von aktivem Material in den Motoren erreicht. Je nach Motorgröße kann man deshalb etwa von 10 bis 20 % Kostensteigerung für eine bessere Wirkungsgradklasse ausgehen.

Tatsächlich rechnen sich diese Mehrkosten oft bereits nach kurzer Zeit. Das Diagramm zeigt den Energiekostenvorteil eines IE-Motors im Vergleich mit einem IE-Motor mit der nächst besseren Klassen. Die vereinfachte Betrachtung geht dabei von einem dauerhaften Betrieb bei Nennlast, einer Betriebsdauer von 60.000 h und einen Energiepreis von 8 Cent pro kWh aus.



Energiekostenvorteil IE-Motor zur nächst besseren IE-Klasse

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

# Praxis - EC- und PM-Motore

# Was sind eigentlich EC-Motoren?

Im HLK-Markt hat sich der Begriff "EC-Motor" für eine bestimmte Motorenart etabliert, bei der viele Anwender an einen kompakten Motor mit hohem Wirkungsgrad denken. Die Idee hinter dem EC-Motor ist, die elektrische Kommutierung eines Gleichstrommotors mittels Kohlebürsten durch eine elektronische zu ersetzen (EC = Electronicaly commutated).

Dafür haben die Hersteller dieser Motoren die Rotorwicklung durch Permanentmagnete ersetzt und eine Kommutierungselektronik eingebaut. Die Magnete erhöhen den Wirkungsgrad, gleichzeitig eliminiert die Elektronik den mechanischen Verschleiß der früher eingesetzten Kohlebürsten. Da das Funktionsprinzip auf dem eines Gleichstrommotors beruht, heißt der EC-Motor auch Bürstenloser Gleichstrommotor (Englisch: Brushless DC = BLDC).

Üblicherweise kommen diese Motoren in sehr kleinen Leistungsbereichen von wenigen hundert Watt zum Einsatz. Bei Anwendungen im HLK-Bereich arbeiten Motoren dieses Funktionsprinzips als Außenläufermotoren und decken einen erweiterten Leistungsbereich ab, aktuell bis ca. 6 kW.

# Wirkungsgrade von EC-Motoren

Spaltpolmotore und einphasige Asynchronmotoren haben in Leistungsbereichen von wenigen 100 Watt schlechte Wirkungsgrade. Aus dem Vergleich zu diesen Motoren resultiert auch der Ruf des sehr großen Wirkungsgradvorteils der EC-Motoren. Beim Vergleich des Wirkungsgrads von EC-Motoren mit den typischen Werten der dreiphasigen Drehstromasynchronmotoren sinkt dieser Vorteil mit steigender Leistung sehr stark ab.

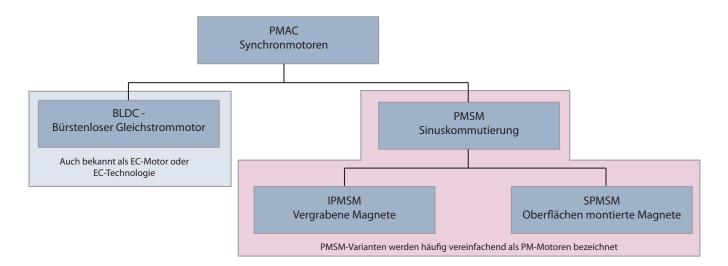
# PM-Motoren - die EC-Alternative?

Eine Alternative zu EC-Motoren stellen permanenterregte Motoren (PM-Motoren) dar, die einen zu den EC- Motoren vergleichbaren Wirkungsgrad haben. Zusätzlich bieten sie gegenüber den EC-Motoren u.a. noch den Vorteil, dass sie in einem weit aus größeren Leistungsbereich erhältlich sind.

Bei den PM-Motoren wurde das prinzipielle Ansteuerverfahren eines Drehstromasynchronmotors auf diesen Motortyp übertragen. PM-Motoren, die aus diesem Grund auch den Wechselstrommaschinen zugeordnet sind, sind im Markt in unterschiedlichen Bauformen wie beispielsweise als Servomotor oder als PM-Motore mit den IEC- Abmessungen des Standarddrehstromasynchronmotors zu finden.

Ein Hauptunterschied zwischen PM- und EC-Motoren liegt in der "Versorgungsspannung". Bereits aus der Zuordnung Gleichstrom-/Wechselstrommotor lässt sich ableiten, dass der EC-Motor eine blockförmige Kommutierung besitzt, während der PM-Motor auf eine sinusförmige setzt. Gemeinsam ist beiden Motoren, dass sie eine Regelelektronik benötigen.

Insgesamt befinden sich bei vergleichbarer Ausführung (Netzversorgung, EMV Filter, etc.) die Wirkungsgrade beider Systeme bestehend aus Elektronik und Motor auf vergleichbarem Niveau. Allerdings wirken sich bei EC-Technologie die Drehmomentrippel aufgrund der Blockkommutierung und die höheren Eisenverluste negativ aus. Außerdem benötigen sie aufgrund der Blockkummutierung einen 1,22-fach höheren Strom (teilt sich auf zweistatt auf drei Phasen auf) als die PM-Motoren.



 $PMAC = Permanent\ Magnet\ AC/BLDC = Brushless\ DC/PMSM = Permanent\ Magnet\ Synchron\ Motor/IPMSM = Interior\ PMSM\ (vergrabene\ Magnete)/\ SPMSM = Surface\ PMSM\ (auf\ Rotor\ montierte\ Magnete)$ 

# Praxis - EC- und PM-Motore

	Motorelektronik	Motorkonstruktion	Leistungsbereich	Kommutierung
EC	Einfach	Aufwendig	Bis ca. 6kW	Blockförmig (DC)
PM	Aufwendig	Einfach	Bis in MW Bereich	Sinusförmig (AC)

Grundlagender Vergleich EC- und PM-Motor

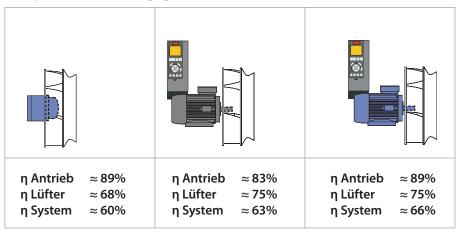
# Bester Motorwirkungsgrad = Bester Systemwirkungsgrad?

Für den Anwender entscheidend ist nicht der Wirkungsgrad einer einzelnen Komponente, sondern der Wirkungsgrad des kompletten Systems. Was nützt ihn ein hoch effizientes Motorkonzept, wenn beispielsweise bestimmte Motorlager den Wirkungsgrad des Motors mehr reduzieren als andere. Dies gilt selbstverständlich auch für das ganze System. Den nur mit bestmöglichem Systemwirkungsgrad spart es Energie und somit Kosten.

Berechnen lässt sich der Systemwirkungsgrad gemäß VDI DIN 6014 durch Multiplikation der Komponentenwirkungsgrade:

 $\eta_{System} = \eta_{Umrichter \ X} \eta_{Motor \ X} \eta_{Kupplung \ X} \eta_{L\"ufter}$ 

## Beispielhafte Wirkungsgrade eines Antriebs mit ø450 Radiallüfter



Die angegebenen Antriebswirkungsgrade (Umrichter x Motor) beruhen auf Messungen, die Lüfterwirkungsgrade sind Herstellerkatalogen entnommen.

Wird z.B. ein Lüfter mit schlechtem Wirkungsgrad von einem hocheffizienten Motor betrieben, resultiert daraus ein mittlerer Wirkungsgrad. Ein praktisches Beispiel sind EC-Lüfter in Radialausführung. Für eine sehr kompakte Bauweise nutzen die Hersteller

die EC-Motoren oft als Nabe für das Lüfterrad. Diese relativ große Nabe reduziert allerdings den Wirkungsgrad des Lüfters und somit des gesamten Systems deutlich. Hinweis: Bei der Diskussion um EC-Motoren werden oft technische Eigenschaften von einphasigen Motoren mit dreiphasigen Motoren verglichen. Beispiel: Ein einphasiger EC-Motor hat üblicherweise eine Power Factor Correction (PFC) (cos φ ca. 1), die ein dreiphasiger Umrichter für einen cos φ von ca. 1 gar nicht benötigt. Der Anwender sollte deshalb sicher stellen, worauf sich die technischen Aussagen beziehen.

### Das Danfoss EC+ Konzept...

...ermöglicht die Nutzung von PM-Motoren in IEC-Standardabmessungen mit einen Danfoss VLT® Frequenzumrichter.

Nach Eingabe der relevanten Motordaten kann der Anwender von dem hohen Motorwirkungsgrad auf Niveau der EC-Technologie in allen Applikationen profitieren. Das notwendige Regelverfahren wurde in die bestehenden VLT Umrichterserie eingepflegt. Für den Betreiber ergeben sich somit keine weiteren Änderungen.

Vorteile des EC+ Konzepts:

- Freie Wahl der Motortechnologie: PM oder Asynchron mit gleichem Frequenzumrichter
- Bedienung und Installation des Gerätes bleiben gleich
- Herstellerunabhängig bei der Wahl aller Komponenten
- Bester Systemwirkungsgrad durch Kombination wirkungsgradoptimierter Einzelkomponenten
- Retrofit bestehender Anlagen möglich
- Großer Leistungsbereich für Standard- und PM-Motoren



# Praxis - 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.

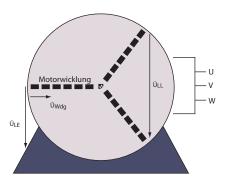
Die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit verursachen die schnell schaltenden Halbleiter im Wechselrichter von Frequenzumrichtern. Diese takten mit einer hohen Frequenz im Bereich von 2-20 kHz und sehr kurzen Schaltzeiten, um einen sinusförmigen Stromverlauf nachzubilden.

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

- Hohe Impulsspannungen Û<sub>LL</sub> an den Motorklemmen belasten die Phasenisolierung stärker.
- Höhere Impulsspannungen zwischen Wicklung und Blechpaket ÛLE beanspruchen die Nutisolierung stärker.
- Die höhere Spannungsbelastung zwischen den Windungen Û<sub>Wdg</sub> beansprucht die Drahtisolierung der Wicklung wesentlich stärker.

## Lagerbeanspruchung

Unter ungünstigen Umständen kann es vorkommen, dass frequenzgeregelte Motoren mit Lagerschäden durch Lagerströme ausfallen. Ein Lagerstrom fließt dann, wenn am Lagerschmierspalt eine Spannung anliegt, die hoch genug ist, um die Isolierung des Schmiermittels zu durchschlagen. Tritt



Im Motor treten Impulsspannungen an den Motorklemmen Û<sub>LL</sub> und zwischen Wicklung und Blechpaket Û<sub>LE</sub> auf. Zudem existiert eine Spannungsbelastung zwischen den Windungen Û<sub>W</sub>dg der Motorwicklung

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 können, 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 stromisolierten Lagern
- Gute Erdverbindung mit niederer 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 er betrieben werden darf (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 der 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 sogenannten 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. Das Einschalten der 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 darauf hin überprüfen. Gerade bei kritischen Anwendungen sollte er vor einer dauerhaften Aktivierung Rücksprache

mit den Herstellern halten.

# **Praxis - Ausgangsfilter**

## Sinus- oder du/dt-Filter

Zur Gruppe der Ausgangsfilter 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

- Reduzieren die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt an den Motorklemmen
- Reduzieren die Spannungsspitzen  $\hat{U}_{LL}$
- Reduzieren die Motorgeräusche
- Ermöglichen den Anschluss langer Motorkabel
- Verbesserung die EMV-Eigenschaften
- Sinusfilter erlauben bei Danfoss Frequenzumrichtern auch den Betrieb mit ungeschirmten Motorkabeln gemäß Funkentstörklasse C2 nach EN 61800-3

# Wann kommen Sinusfilter zum Einsatz?

- Nassläuferpumpen
- Bei sehr langen Motorleitungen (auch bedingt durch Parallelbetrieb)
- Brunnenpumpen
- Motoren ohne gute Phasenisolation
- Immer dann, wenn kein Normmotor eingesetzt wird (Motorhersteller fragen)
- Verdichtern

## 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 ict

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



Common Mode Filter

# Reduzierung von Lagerströmen

Lagerströme (siehe auch Seite 34) 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. Die Ursachen für Lagerströme sind vielfältig, beispielsweise Kreisströme oder hochfrequente Störungen. Wirksame Gegenmaßnahmen sind Sinusfilter, die Kreisströme reduzieren oder elemiminieren, oder Common Mode Filter für hochfrequente Gleichtaktstörungen gegen Erde. Neben einer Verwendung der genannten Filter ist eine einwandfreie EMV-Installation unbedingt erforderlich.

	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 Überschwingen in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse	Beseitigt Überschwingen in Motorkabeln. Keine Änderung der EMV-Klasse	Reduziert hochfrequente Emissionen (über 1 MHz). Keine Änderung der EMV-Klasse.
Max. Motorkabellänge EMV konform	FC 102: max. 150m geschirmt		Herstellerabhänig. FC 102: max. 150m geschirmt
Max. Motorkabellänge EMV Nicht konform			Herstellerabhänig. FC 102: max. 300m ungeschirmt
Taktfrequenz geräusche am Motor Kein Einfluss		Reduziert	Kein Einfluss
Relative Größe (zum Umrichter)	15-50% (Leistungsabhängig)	100%	5-15%
Spannungsabfall	0,5%	4-10%	Keiner

# **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  $U_0/U = 0.6/1 \text{ kV}$  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 Kabelguerschnitts aufgrund von Oberwellen ist nicht notwendig.

Zur Auswahl und Dimensionierung von Kabel 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 wasser- und abwassertechnischen Anlagen häufig anzutreffen. Oft sind Pumpen und Frequenzumrichter mehr als 100 m voneinander 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 - 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 freguenzabhängig. 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® HVAC Drive können Sie serienmäßig geschirmte Kabel bis 150 m und ungeschirmte Kabel bis 300 m anschließen, bei voller Spannung am Motor!

## Verlegeart PVC Kabel Umgebungstemperatur 40°C Strombelastbarkeit [A]

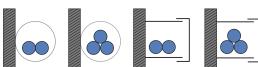
mm²	B1	B2	С	E
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0

Auszug aus der EN 60204-1 Strombelastbarkeit von Kabelquerschnitten

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









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



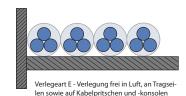






Verlegeart C -Direkte Verlegung auf oder in Wanden/Decken oder in Kabelwannen

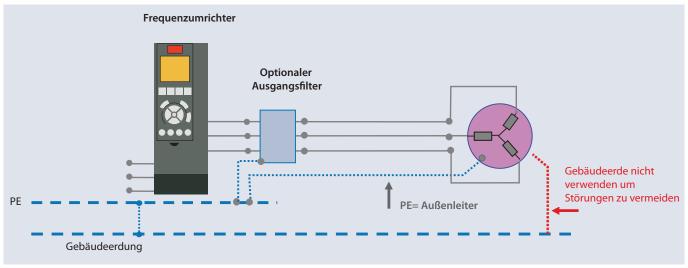




# Praxis - Erdungsmaßnahmen

# Bedeutung von Erdungsmaßnahmen

Erdungsmaßnahmen sind generell zwingend erforderlich, um die gesetzlichen Vorschriften der EMVund Niederspannungsrichtlinie zu erfüllen. Sie sind Voraussetzung für den wirkungsvollen 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 die Oberfläche, auf der hochfrequente Ströme (bedingt durch den Skin-Effekt) 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 verzinnten, 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 47 beschriebenen Erdungsmaßnahmen in der Praxis beachten.

# Praxis - Schirmungsmaßnahmen

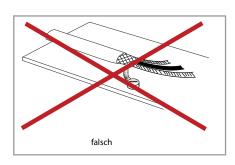
# Bedeutung von Schirmungsmaßnahmen

Maßnahmen zur Abschirmung dienen der Reduzierung der abgestrahlten Störenergie (Beeinflussung benachbarter Anlagen und Komponenten) sowie der Verbesserung der Störfestigkeit eines Gerätes 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, 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

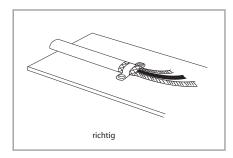
Störquelle, in diesem Fall zum Frequenzumrichter, zurückzuführen.

# 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 im Umfeld



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 21 dieser Broschüre.



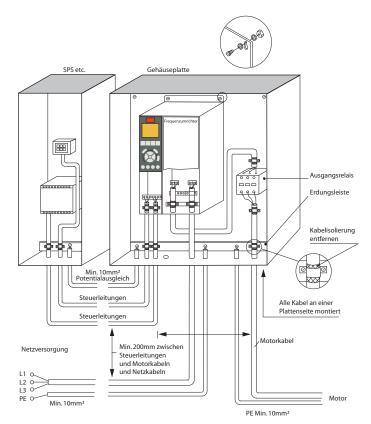
#### **Schirmanschluss**

Eine wirksame Kabelschirmung lässt sich nur mit Rundumkontaktierung des Schirmes 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 untergeklemmt sein, an den Leitungsenden ist er möglichst kurz zu halten. Alle anderen Kontaktierungsmaßnahmen führen zu einer Verschlechterung der Wirksamkeit des Schirmes.

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.

# Praxis - 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 Federringe 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 Masselitzen oder feindrahtigem Kabel herstellen. Kommen bei niedrigen Motorleistungen Kabelquerschnitte < 10 mm<sup>2</sup> zum Einsatz, ist ein separater PE-Leiter mit mindestens 10 mm<sup>2</sup> 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 und 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 wie die Motorkabel beidseitig aufgelegt werden. In der Praxis kann in Ausnahmefällen eine einseitige Auflage in Betracht gezogen werden. 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.

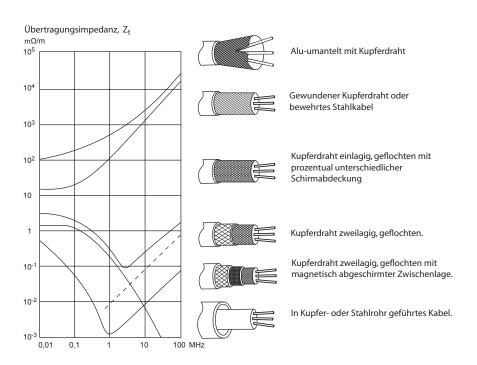
Als Art der Abschirmung hat sich ein einlagiges Kupfergeflecht als äußerst wirksam herausgestellt. Wichtig dabei ist, dass der Schirm geflochten ausgeführt ist. Ein Schirm aus gewundenem Kupferdraht dagegen (z.B. Typ NYCWY) lässt lange Schlitzlängen unbedeckt, aus denen HF-Anteile ungehindert entweichen 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 Schirmes als Masseleiter, verliert er seine Schirmwirkung. Bei EMV-Problemen kann der Umrichterhersteller deshalb auf mangelnde Schirmung hinweisen.



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

# Schritt 4: Praxis - Auswahl der Frequenzumrichter

# Basisauslegung

In der Praxis kommt es immer wieder vor, dass Planer und Betreiber Frequenzumrichter ausschließlich nach der Leistung in kW auslegen. Grundsätzlich muss die Auswahl aber aufgrund des jeweiligen Motornennstroms INenn 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<sub>Nenn</sub> 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® HVAC Drive Serie hat einen Nennstrom von 24 A. 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 ausreichend hohe Motorspannung zur Verfügung stellen. Im 400 V Spannungsnetz sind das volle 400 V bei 50 Hz am Motorklemmbrett. Es gibt heute immer noch Frequenzumrichter auf dem Markt, die dazu nicht in der Lage sind (siehe auch S. 34). Wegen des Spannungsabfalls an den Filtern, Drosseln und beim Motorkabel reduziert sich die Ausgangsspannung. Wenn sich die Ausgangsspannung z. B. auf 390 V reduziert, benötigt der

Motor einen höheren Strom, um die geforderte Leistung zu erreichen. Da mit dem Strom die Wärmeverluste quadratisch zunehmen erwärmt sich der Motor stärker, was seine Lebensdauer reduziert. Natürlich muss der Anwender auch den höheren Strombedarf bei der Auslegung berücksichtigen.

Bemerkung: Beim VLT® HVAC Drive sorgt ein spezielles Modulationsverfahren für die volle Motorspannung. Sogar mit bis zu 10 % Unterspannung am Netz werden Motornennspannung und Motornenndrehmoment 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 (Kreiselpumpen und Ventilatoren) und solche, die über den gesamten Arbeitsbereich, also auch schon bei niedrigen Drehzahlen, dem Motor ein hohes Drehmoment abfordern können (Verdichter).

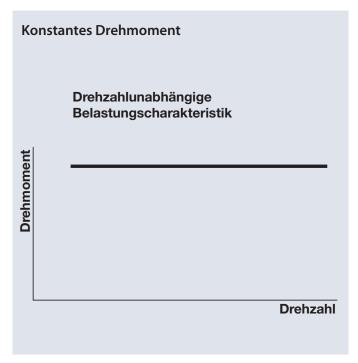
Bei den meisten Antriebssytemen in der HLK steigt die Lastkennlinie bis zum Nennmoment quadratisch zur Drehzahl an. Um einen wirkungsgradoptimalen Betrieb bei diesen Lastverhältnissen zu erreichen, stellt der Frequenzumrichter unter anderem eine quadratisch zur Motordrehfeldfrequenz ansteigende Motorspannung bereit.

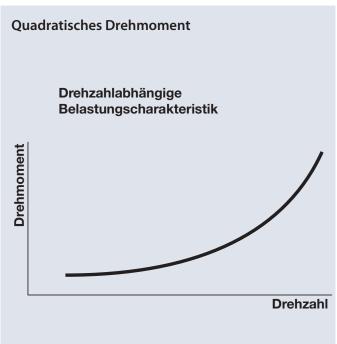
Bei Anwendungen mit konstant hohem Drehmoment sind meist noch Anforderungen für die Beschleunigung bzw. bei Schweranlauf zu beachten. Der Frequenzumrichter muss dann in der Lage sein, dem Motor für kurze Zeit, über das Motornennmoment hinaus, zusätzliche Antriebskraft zur Verfügung zu stellen, um beispielsweise eine Pumpe, in der sich Schlamm gesammelt und abgesetzt hat, loszubrechen. Dieses kurzzeitig maximal zur Verfügung stehende Moment wird als Übermoment bezeichnet. Für Anwendungen, die beim Starten kein wesentlich größeres Drehmoment benötigen, als das Motornennmoment, reicht auch eine geringere Überlastfähigkeit durchaus aus (z. B. bei Verdichtern mit entlastetem Anlauf nur 110 % des Motornennmoments).

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

# Praxis - Typische Lastmomente in der HLK- und Kältetechnik

# **Zuordnung: Kennline zur Applikation**





## **Anwendungen mit konstantem Drehmoment**

## entlasteter Anlauf [110 % Überlast]

Scrollverdichter [0,6 bis 0,9 nominal] Schraubenverdichter [0,4 bis 0,7 nominal] Hubkolbenverdichter [0,6 bis 0,9 nominal]

### belasteter Anlauf [Übermoment]

Scrollverdichter [1,2 bis 1,6 nominal]
Schraubenverdichter [1,0 bis 1,6 nominal]
Zylinder Verdichter [bis 1,6 nominal]
4 Zylinder Verdichter [bis 1,2 nominal]
6 Zylinder Verdichter [bis 1,2 nominal]

#### Schweranlauf [Übermoment]

2 Zylinder Verdichter [bis 2,2 nominal]4 Zylinder Verdichter [bis 1,8 nominal]6 Zylinder Verdichter [bis 1,6 nominal]

## Anwendungen mit quadratischem Drehmoment

#### Ventilatoren

Kreiselpumpen Druckerhöhungspumpen Heisswasserpumpen Heisswasserpumpen Heizungspumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)

Kühlwasserpumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)
Grundwasserpumpen 1)

Grundwasserpumpen <sup>1)</sup> Tauchmotorpumpen <sup>1)</sup> Unterwasserpumpen <sup>1)</sup> Brunnenpumpen <sup>1)</sup>

#### Turboverdichter

Hinweis: Verdichter haben üblicherweise einen eingeschränkten Drehzahlbereich (min./max. Drehzahl/Frequenz) und/oder benötigen für den Betrieb einen Sinusfilter.

Hinweis: Klären Sie beim Einsatz von Pumpen deren Drehmomentkennlinie.

Diese Pumpen werden oft mit reduzierter Motorphasenisolation ausgeführt. Hier empfiehlt sich die Verwendung eines Sinusfilters.

# Praxis - Sonderfall Mehrmotorenbetrieb

## **Auslegung**

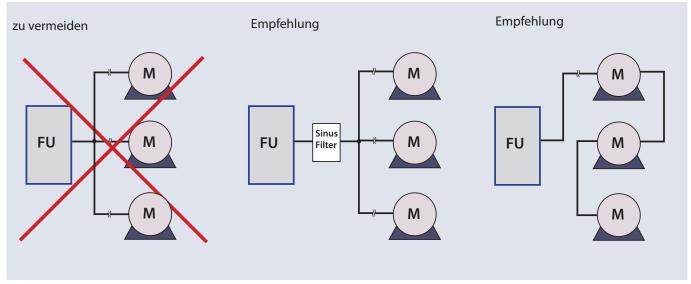
Ist es das Ziel des Betreibers, mehrere Motoren an einem Frequenzumrichter gleichzeitig parallel zu betreiben, so gilt für die Auslegung folgendes:

- 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 Nenndrehzahl, gleich. Das heißt, der Frequenzumrichter steuert sie alle mit derselben Frequenz und der selben 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 47.

# Kabelführung



Bei Mehrmotorenbetrieb zu vermeiden: Parallele Leitungen erzeugen zusätzliche Kapazitäten. Daher sollte der Anwender auf jeden Fall auf diese Art des Anschlusses verzichten. Aufgrund der mit einem LC-Filter herausgefilterten Taktfrequenzen sinken die Ableitströme. Dies erlaubt einen Parallelanschluss von Motoren. Notfalls auch mit längerem parallel geführtem Motorkabel. Bei Mehrmotorenbetrieb empfohlen: Schleifen Sie die Motorleitung von Motor zu Motor durch.

# Praxis - 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 Netzdrosseln einsetzen. Bei einigen

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 auf den Seiten 12 ff. Hinweis: Hochwertige Frequenzumrichter verfügen standardmäßig
über qualitativ gute Maßnahmen zur
Funkentstörung und Reduktion von
Netzrückwirkungen. Diese Maßnahmen machen ca. 15 – 20 % des
Preises für einen Frequenzumrichter

# Funkstörungen

## **Empfehlungen für die Praxis**

Bereits auf den Seiten 20 ff erhielten Sie ausführliche Informationen zu hochfrequenten Funkstörungen. 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 entsprechen, so sind zusätzlich Warnhinweise auf den Frequenzumrichtern anzubringen. Die Verantwortung dafür liegt letztendlich dann beim Betreiber. Wie auf Seite 21 beschrieben, legt das Prüfungsinstitut bei einer Störung in jedem Fall zur Störungsbeseitigung die Grenzwerte A1/2 und B der FachDie 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 verschiedenste 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 leistungsgebundenen Störungen sollte der Betreiber aber immer einen geeigneten Filter vorsehen.

Für Funkenstörfilter gibt es in der Praxis zwei Lösungen. Es gibt Hersteller, die Funkentstörfilter bereits serienmäßig in die Geräte einbauen und es gibt 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. Externe, vor den Frequenzumrichter, als Option installierte 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 1m 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® HVAC Drive 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® HVAC Drive hält C1 (leistungsgebunden) bis max. 50 m und C2 bis max. 150 m geschirmtes Motorkabel ein.

der Einsatzumgebung zugrunde.

grundnorm EN55011 entsprechend

# Praxis - EMV-Maßnahmen umsetzen

# Netzrückwirkungen

# Zwischenkreis beeinflusst Netzrückwirkungen

Auf den Seiten 14 ff sind die allgemeinen Grundlagen zu niederfrequenten Netzrückwirkungen und Maßnahmen zu deren Reduktion beschrieben.

Der zunehmende Einsatz von Gleichrichterlasten verschärft das Auftreten von Netzrückwirkungen. Gleichrichter nehmen einen nicht sinusförmigen Strom aus dem Netz auf. Netzrückwirkungen 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 % THD zu begrenzen. Die Anforderungen sind in der Netznorm EN 61000-3-12 beschrieben.

In Anwendungsfällen, in denen der Betreiber die Netzrückwirkungen auf THD*i*-Werte < 10 % oder < 5 % reduzieren muss, bieten optionale Filter und aktive Maßnahmen Möglichkeiten, um die Netzrückwirkungen fast vollständig zu bedämpfen.

## Reduzierungsmaßnahmen

Um den Netzrückwirkungen 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 Netzrückwirkungen 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 Netzrückwirkungen). 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 Netzrückwirkungen 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 Kabelguerschnitte und Netzsicherungen kleiner aus. Die Drossel kostet jedoch zusätzlich Geld und beansprucht Platz.

Bemerkung: Bei Frequenzumrichtern der Serie VLT® HVAC Drive 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 (U<sub>K</sub> 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 FU's ohne Maßnahmen zur Netzrückwirkung, das bedeutet unverdrosselt oder gering verdrosselt (z.B. mit U<sub>K</sub> 2 %)

Maximal 40 % Frequenzumrichter-Last am Transformator

▶ bei FU mit Maßnahmen zur Netzrückwirkung, das bedeutet verdrosselt mit mindestens U<sub>K</sub> 4 %

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

# Praxis - 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, basierend auf verbesserten Halbleitern und moderner Mikroprozessortechnik, ist der Einsatz von aktiven elektronischen Filtersystemen. Diese messen permanent die Netzqualität und speisen mittels einer aktiven Stromquelle gezielt 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 Netzrückwirkungen gibt es nicht. Wichtig ist, bereits während der Planungs- und Projektie-

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

rungsphase, die Weichen für ein Antriebssystem mit hoher Verfügbarkeit und geringen Netzrückwirkungen 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

Hinweis: Es besteht bei den teuren aktiven Maßnahmen die Gefahr, weit über das Ziel hinauszuschießen, da diese Maßnahmen als gravierenden Nachteil Störungen im Frequenzbereich oberhalb 2 kHz verursachen. (Vergleiche S. 17 ff)



# **Praxis - FI-Schutzschalter**

# Allstromsensitive Schutzeinrichtung

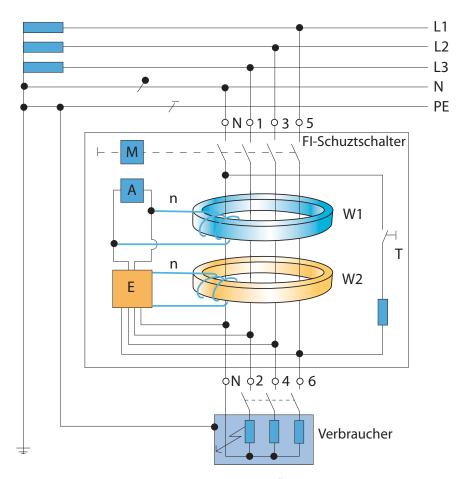
Der Begriff FI-Schutzschalter für spannungsunabhängige Geräte und Differenzstrom-Schutzschalter für spannungsabhängige Geräte wurde bisher im deutschsprachigen Raum verwendet. International werden diese Geräte als Residual Current operated Circuit-Breaker (RCCB) bezeichnet. Der übergeordnete Begriff 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 Fl-Schutzschaltertyp. Der Einbauort für den FI-Schalter muss direkt zwischen speisendem Netz und Umrichter liegen. Die Einbindung in einen hierarchischen Aufbau mit anderen Fl-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 0,5 bis 2 mA/m Motorkabel rechnen. Symmetrische Kabel erreichen dabei geringere Werte als Einzeladerverlegung.



Allstromsensitive FI-Schutzschalter verfügen über 2 getrennte Überwachungskreise, einen für reinen Gleichstrom und einen für Fehlerströme mit Wechselstromanteil.

# **Praxis - Erdung und Motorschutz**

# Erdungsmaßnahmen in der Praxis

Die Erdungsmaßnahmen finden Sie bereits in Schritt 3 "Motor und Verkabelung" auf den Seiten 37 ff ausführlich 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 Geräteseite 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, Schieflast) 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 mA. Mit überschreiten diese Grenze muss nach EN 50178 bzw. EN 60335 entweder:

- der Schutzleiter ≥ 10 mm² sein
- oder der Schutzleiter auf Unterbrechung überwacht werden
- oder ein zweiter Schutzleiter zusätzlich verlegt werden.

Es handelt sich bei Ableitströmen um hochfrequente Störgrößen. Dies erfordert Erdungsmaßnahmen, die niederohmig ausgeführt, großflächig angeschlossen und auf kürzestem Weg mit dem Erdpotential verbunden sind.

Hinweis: Die besten Maßnahmen in Bezug auf Netzrückwirkungen 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 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 Normansprechtemperatur (NAT) ihr Widersstandwert in einem bestimmten Bereich (NAT - 5°C < 550  $\Omega$  / NAT + 5°C > 1330  $\Omega$ ) liegt. Viele Umrichter verfügen über geeignete Funktionen zur Auswertung dieser Thermoelementen. Für Motoren die im Ex-Bereich betrieben werden, ist die Thermistorauswertung nur mit zertifizieren Auslösegeräten zulässig (siehe Seite 29).

Die Geräteschutzfunktion 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® HVAC Drive 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-Perlen (Standard: 3 Perlen pro Motor).

# Praxis - 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 Handund Fernbetrieb zulassen.



Grafische Bedieneinheiten bieten Bedienkonfort 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 der Smart Start von Danfoss vereinfachen die Inbetriebnahme von Umrichter erheblich. Der Anwender wird dabei durch die grundlegenden Einstellungen des Umrichters geführt.

# **Praxis - 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 teuere 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** 

In HLK und Kältetechnischen Anlagen 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 aleichen 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.





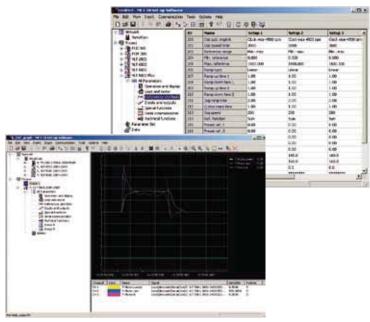
Frequenzumrichter lassen sich auch bei geschlossener Schaltschranktüre parametrieren und auslesen.

# Praxis - Bedienung und Parametrierung mittels PC

## **Erweiterte Möglichkeiten**

Neben der Bedienung über ein Bedienteil, bieten moderene Frequenzumrichter, in der Regel, die Möglichkeit der Parametrierung und Datenauslese über eine PC-Software. Diese Software ist meist Windowsbasiert und unterstützt mehrere Kommunikationsschnittstellen. Sie erlauben den Datenaustausch über die klassische RS-485-Schnittstelle, über Feldbus (PROFIBUS DPV1, 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® HVAC Drive Serie bereit. Die Basis Version der Software ist kostenfrei und kann von der Webseite www.danfoss.de /software geladen werden.



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



# **Praxis - Datenaustausch**

## **Bussysteme**

Moderne Frequenzumrichter sind intelligent und damit in der Lage viele Funktionen in Antriebssystemen zu übernehmen. Trotzdem arbeiten die Geräte auch heute noch häufig mit nur 4 Datenpunkten in einem Leitsystem oder an eine DDC und fungieren nur als Drehzahlsteller. Betreiber nutzen so die vielen nützlichen Funktionen nicht aus und gespeicherte Anlagendaten bleiben ihm verborgen.

Dabei lässt sich das volle Potential von Frequenzumrichtern einfach ausschöpfen, indem Anwender sie mittels einer Feldbusanbindung wie z.B. BACnet in das Gebäudeleitsystem 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 Anlagenma-nagement 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 entlegenen 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.









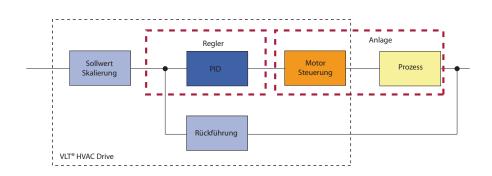
Busse für VLT® HVAC Drive	
Integriert (Serienmäßig)	Option (Nachrüstbar)
Modbus RTU	MCA 101 – Profibus DP V1
FC Protocol	MCA 108 – LONworks
N2 Metasys	MCA 109 – BACnet (Erweitert)
FLN Apogee	
BACnet (Standard)	MCA 120 – Profinet
	MCA 121 – EtherNet/IP
	MCA 122 – Modbus TCP

# Praxis - 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 unabhäniger 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 Spannungen legen. Grund für diese Formierung ist die Alterung der Kondensatoren im Zwischenkreis des Gerätes. 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® HVAC Drive Frequenzumrichter nicht erforderlich.

# **VLT® HVAC Drive**

Danfoss hat den VLT® HVAC Drive speziell für Anwendungen in der HLK und Kältetechnik entwickelt. Im Gegensatz zu vielen anderen Fabrikaten sind alle wichtigen Komponenten und Funktionen standardmäßig integriert.

- 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 (Grenzwerte der Klasse B nach EN55011)
- Eingebaute Netzrückwirkdrossel (U<sub>K</sub> 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)

- Serielle Schnittstelle RS485
- USB-Schnittstelle
- Echtzeituhr
- · Übermodulation Ein-/Abschaltbar
- Trockenlaufschutz
- Durchflussüberwachung auf der Druckseite
- Laufzeitgesteuerter Pumpenwechsel
- Verschleißmindernder Pumpenstart
- Kennlinie für die Regelung /Steuerung von Verdichtern
- Optional mit integrierter Feldbus Anbindung (auch mit ext. 24 V DC Spannungsversorgung)
- Integrierter Kaskadenregler für 3

- Lüfter, Pumpen oder Verdichter
- Optional mit sensorloser Pumpenregelung
- Optional aktive und passive Netzfilter zur weiteren Oberwellenreduzierung
- Optional Sinusfilter und du/dt-Filter für alle Leistungsgrößen
- VLT® HVAC Drive 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 www.danfoss.at/vlt www.danfoss.ch/vlt



Der VLT® HVAC Drive ist in den Leistungen 1,1 kW bis 1,4 MW und den Spannungen 400 V und 690 V erhältlich. Zur Reduktion von Netzrückwirkungen ist er auch als Low Harmonic Drive erhältlich.

# Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter

# **CE-Zeichen**

Das CE-Zeichen (Communauté Européene) soll technische Barrieren im Warenverkehr innerhalb der EGund 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 Niederspannungsrichtiline 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 lautete: "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 bestim-

mungsgemäßer Betrieb von Funkund 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 Einhaltung 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 lautete: "Elektrische Betriebsmittel zur

"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 bestimmungsgemäßen 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.

# Stichwortverzeichnis

A		C	
Abschirmung	38	CE-Zeichen	53
Ableitstrom	39, 47	Cos φ	22
Abstrahlung	38	Chlor	27
Active Front End	18, 45		
Automatische Energie Optimierung	8, 52	D	
Aggressive Luft / Gase	27	DASM Drehstromasynchronmotoren	30, 31, 32, 33
Aktive Filter	17, 45	Datenanzeige	48, 49
Allstromsensitiver FI-Schutzschalter	46	Datenaustausch	51
Ammoniak	27	Dauermagnete	32, 33
Amplitude	14	Differenzdruck	7
Amortisationszeit	7	Dimensionierung	6, 40
Anlagenverschleiß	7	Drehfeldfrequenz	20
Anlaufstrombegrenzung	7	Drehmomentkennlinie	7, 40
Anschaffungskosten	9	Drosseln	16, 43
Anschlusswert	7	Druck	7
Antriebssystem	6	Durchfluss	7
Antriebsstrang	7	du/dt-Filter	35
Anlagenbetreiber	14	da/ de l'illel	33
Anlaufstrombegrenzung	7	E	
Anschaffungskosten	9		22.22
Anschlussbedingungen	14	EC-Motor	32, 33
ATEX	29	Effektivwert	15
Ausfallkosten	9	Effizienzklassen	30, 40
Ausgangsfilter	35	Einbauort	24
Auslegung / Auswahl	6, 40	Einbauverhältnis	24
Auswirkungen	15	Einbindung	6
7.45gc		Einfluss	12
В		Eingangsgleichrichter	14
Basisinformationen	10	Einrichtungskosten	9
Bedarf	7	Einsatzort (EMV)	20, 21, 24
	6	Einsparpotenzial	7, 8
Bedeutung Bedianung		Einspeiseseite	16
Bedienung Bedieneinheit	48, 49	Einzelerdung	11
	48, 49	Elektrisches Feld	13
Bedienteil	48, 49	Elektrolytkondensator	26
Bedingungen	24, 26	Elektromagnetische Wellen	13
Beeinflussung	13	EMV	11, 36
Belastungscharakteristik	41	EMV - Eigenschaften	11
Belastungunsymmetrie	23	EMV - Filter	20
Bereiche	21	EMV- Maßnahmen	11
Bereitstellungskosten	7	EMV- Richtlinie	53
Beschichtete Platinen	27	EMV - Kabelverschraubungen	38
Betauung	26	EMV- Verhalten	11
Betreiber	12	Endanwender	12
Betriebsintervalle	7	Energieaufnahme	8
Betriebskosten	6, 9	Energieeffizienz	6
Betriebspunktanpassung	7	Energieeinsparung	7
BLDC BrushLess Direct Current	32	Energie einsparpotenzial	7, 8
Blindstrom	8, 34	Energiekosten	9
Blindstromkompensation	22	Energieverbund	14
Blindleistung	15, 23, 36	Energieversorgung	11
Blindleistungsaufnahme	16	Energieversorgungsunternehmen	13
Blitzeinschläge	22	Entsorgungskosten	9
Blockheizkraftwerk	23	Entstehungsort	15
Bussystem	51	Erdungsmaßnahmen	37, 47
		E <sub>max</sub> -Regelung	7

EVU	13	Instandhaltungskosten	9
Explosionsgefahr	28	IP20 / IP21 / IP54 / IP66	24
Ex-Schutz (ATEX)	29	Isolations bean spruchung	34
		IT-Netz	11
F			
- Fachgrundnorm	20		
Fachplaner	6	K	
Feinschutz	22	Kabellänge	38
Fehlerstrom-Schutzschalter	46	Kabelquerschnitt	36
Felder	13	Kabelverschraubungen	38
Feldschwächbereich	33	Kabelverlegung	36
Ferneinbausatz	49	Kaltleiter	28
Filter	16, 35, 44	Kapazitive Kopplung	13
Filtermatten	28	Klartextdisplay	48
FI-Schutzschalter	46	Klirrfaktor	14
Fluorwasserstoff	27	Kennlinien	14
Fourieranalyse	14	Klimabedingungen	26
Frequenz	14	Klimatisierung	26
Frequenzspektrum	18	Komfort	7
Funkentstörfilter	20	Kompensation	15,16
Funktstörungen	20, 45	Kompensationsanlage	22
ğ	,	Kompensationsgrad	17
		Kompensationsstrom	17
G		Kondensator	26
Galvanische Kopplung	13	Kondensieren	26
Gegenmaßnahmen	12, 15	Konfiguration	6, 10
Generator	23	Konstante Kennlinie	40, 41
Geräuschentwicklung	7	Konstellation	15
Gesamtanlage	6	Kontaktstellen	37
Gesamtoberschwingungsgehalt THD	14	Kontamination	27
Gesamtsystem	7	Kopplung	13
Gleichrichter	16	Kopplungsmechanismen	13
Gleichwertigkeit	6	Korrosion	27
Grenzwerte	14	Kosten	7, 9
Grobschutz	22	Kosteneffizienz	9
Grundlagen	7	Kostenfaktor	9
Gruppen Kompensation	17	Kurzschluss	22, 26
		Kühlung	26
Н		Kühlkonzept	26
Harmonische Oberschwingung	13	Kühlluftstrom	26
Hilfsmittel	6	Kühlrippen	26
Hilfestellungen	6	Kühlkörper	28
Hintergrundwissen	6		
Hochfrequente Funkstörungen	20, 21, 45	L	
	-, , -	Lackierte Platinen	27
1		Lagerbeanspruchung	34
IE-Klassen	30	Lagerstrom	34
Inbetriebnahme	48, 51	Lagerung	52
Inbetriebnahmekosten	9	Lastbereich	16
Individuelle Kompensation	17	Laststoß	7
Induktive Kopplung	13	Laststrom	14
Industriebereich	21	Laufzeit	9
Industrienetz	14	LC-Filter	35
Informationen	6	LCC (Life Cycle Cost)	6, 9
Installationskosten	9	LCC-Gleichung	9
	-	Lebensdauer	6, 24, 26, 43

Lebenszykluskosten	6, 9	Nichtlineare Kennlinie	14, 39
Lebenszykluskostengleichung	9	Niederspannungsnetz	23
Leerlaufbetrieb	16	Niederspannungsrichtlinie	53
Leistungsfaktor	16, 22	Norm	12, 20
Leistungssteigerung	7	Notstromgenerator	23
Lineare Kennlinie	40, 41	Nutzen	6
Low Harmonic Dirve	18, 44, 53		
Luftfeuchtigkeit	26	0	
Luftmenge	26	Oberwellenfilter	16, 43, 44
Luftstrom	26	Oberwellenfreiheit	16, 43, 44
M		Oberschwingungen	13
	12	Oberschwingungsanteile	15
Magnetisches Feld	13	Oberschwingungsbelastung	14, 23
Maschinenrichtlinie	53	Oberschwingungserzeuger	17
Masselitzen	39	Oberschwingungsgehalt	14
Masseverbindung	39	Oberschwingungspegel	15
Materialverschleiß	7	Oberschwingungsstrom	15, 17
Mehrkosten	7	Öffentliches Netz	14
Mehrmotorenbetrieb	42	Ozon	27
Messgerät	15		
Mindestwirkungsgradklassen	30	P	
Mittelspannungsnetz	23	Parametrierung	50
Momentenstoß	7	Parallelbetrieb	42
Montage	24	Passive Filter	13, 45
Montageabstand	26		13, 43
Motor	6, 30, 34	Pegel	
Motordrossel	36	Phasenversatz	16
Motoreignung	34	Phasenverschiebungswinkel	22
Motorisolation	34	Pig Tail (verdrillte Kabelschirme)	38
		Planercheckliste	6, 62
Motorkabel	36	Planung	10
Motorkaltleiter	42	Planungsschritte	6
Motorlager	34	Planungssicherheit	6
Motornennstrom	7, 40	Planungsstadium	15
Motorwirkungsgrad	30	PM Permanent Magnet	32
		PMSM Permanent Magnet Synchron Motor	32
N		Potentialausgleich	37
Nachrüsten	6	Potentialverschleifung	37
Nachträglicher Einbau	7, 33	Power Factor Correction	18
Nebeneffekte	6	Produktnorm	20
Nennstrom	38	Projektierung	6, 9
Netzanalysen	15	Proportionalitätsgesetze	8
Netzberechnung	15	Prozessregler	52
Netzbelastung	14	PTB-Zulassung	29
Netzberechnungsprogramm	15, 23	Pulszahl	16
Netzdrosseln	16, 41	Pumpensysteme	9
Netzersatzanlagen	23	rumpensysteme	
Netzfilter	20		
Netzform	11	Q	
Netzimpedanz	23	Quadratische Kennlinie	14, 41
Netzoberschwingungen	13	Qualität	6
Netzqualität	14		
Netzsicherung	41	R	
Netzspannungsqualität	14	Rahmenbedingungen	6
Netzrückwirkungen	14, 41	Reduzierung	12, 16, 43
Netzversorgung	6,11, 14	Regelbereich	7
Netztransienten	17, 23, 41	Regelkreis	52
Neutralleiter	11	<b>3</b>	•

Resonanzen	23	Т	
Reparaturkosten	7	Teillastbetrieb	7,8
Retrofit	7, 35	Temperaturüberwachung	28
RFI-Filter	20	THD (Gesamtoberschwingungsgehalt)	14
Richtlinien	14	Thermische Beanspruchung	34
Richtwert	12	Tipps	6
Rohrleitungssystem	7	TN-C Netz	11
3,		TN-S Netz	11
C		TT-Netz	11
S Saalassaultalita		Transformator	16, 23
Sachverhalte	6	Transformatorauslastung	23
Saugkreis	17, 23	Transformatorbelastung	23
Schaltraum	26	Transienten	17, 23, 43
Schaltschrankheizung	26	Transferren	17,23, 13
Schaltschrankmontage (zentral)	24	U	
Scheinleistung	15		20
Schirmung	38	Übergangswiderstand	38
Schirmungsmaßnahmen	38	Überlastfähigkeit	38
Schirmwirkung	38	Übermodulation	34
Schlanker Zwischenkreis	16, 18, 40	Übersynchroner Bereich	7
Schutzarten	24, 25	Überspannungsspitzen	22
Schutzleiter	11	Übersynchroner Betrieb	33
Schwefelwasserstoff	27	Umgebung (1. oder 2.)	20, 21
Schwingkreis	16	Umgebungsbedingungen	6, 24
Sehnung	23	Umgebungsbereich	21
Sekundärwicklung	16	Umgebungstemperatur	26
Sinusfilter	35	Umweltbedingungen	6, 24
Sinusform	14	Umweltkosten	9
Sinusspannung	14	Unsymmetrische Belastung	23
Sinusverzerrung	14	Unterspannungsverluste	15
Skin-Effekt	37	U/f- Kennlinie	8
Spannungsabfall	34, 40		
Spannungsanstiegsgeschwindigkeit	35	V	
Spannungseinbruch	7	Varistor	22
Spannungsfestigkeit	43	Verantwortung	12
Spannungspotential	13	Verdrosselung	22
Spezialbereich	21	Verfügbarkeit	7, 15, 24
Standzeit	24	Verkabelung	6
Staubbelastung	28	Verlustleistung	26
Stickstoff	27	Verzerrung	14
Stilllegungskosten	9	Versorgungsnetz	7, 14
Störaussendung	12	Verschraubungen (EMV, Kabel)	38
Störenergie	13	Verunreinigte Luft / Gase	27
Störfelder	13	Volllast	7
Störfestigkeit	12, 20	Volumenstromänderung	9
Störpegel	20	Vorfeld	6, 15
Störquelle	12, 13	Vorschriften	14
Störsenke	12, 13	Visualisierung	48, 49, 51
Störübertragung	11		
Strahlungseinflüsse	13	W	
Strahlungskopplung	13	Wärmeverluste	26
Stromaufnahme	14	Wandmontage (dezentral)	24
Stromspitzen	7	Wartung	52
Strömungsmaschinen	7	Wartungskosten	6
Systemdruck	7	Wechselwirkungen	12, 13
		Wellenlänge	13
		Wellerhange	13

Werkzeuge	6
Wicklung	34
Wirkleistung	15
Wirkstrom	36
Wirkungsgrad	7, 8
Wohnbereich	21

## Z

Zentrale Kompensation 17 Zerstörung 15 Zersetzung 27 Zündschutzart 29 Zwischenkreisspannung 18 Zwischenkreis 16,43 Zwischenkreisdrossel 16 Zwischenkreiskondensator 43

# Abkürzungen

AFE Active Front End

ATEX Atmosphères EXplosible
BHKW Blockheizkraftwerk
BLDC BrushLess Direct Current
CE Communauté Européenne

CEMEP Europäisches Komitee der Hersteller elektrischer

Maschinen und Leistungselektronik

DASM Drehstromasynchronmotor EC Electrical Commutated

ED Einschaltdauer

eff Effizienzklassen (Motoren)
EMD Electric Machining Discharge
EMV Elektromagnetische Verträglichkeit
EN Europäisches Normungsinstitut
EVU Energieversorgungsunternehmen

FU Frequenzumrichter HLK Heizung, Lüftung, Klima

IE International Efficiency (Motoren)

IEC International Electrotechnical Commission (Norm Gremium)

LCC Life Cycle Cost (Lebenszykluskosten)

LHD Low Harmonic Drive

MEPS Minimum Efficiency Performance Standards (Mindestwirkungsgrad)

N Neutralleiter

PFC Power Factor Correction (Leistungsfaktorkorrektur)

PE Schutzleiter PM Permanent Magnet

PMSM Permanent Magnet Synchron Motor

RCCB Residual Current operated Circuit-Breaker (Fehlerstromschalter)
RCD Residual Current operated Device (Fehlerstromschutzeinrichtung)

RFI Radio Frequency Interference

S1 DauerbetriebS3 Aussetzbetrieb

THD Total Harmonic Disturbtion (Gesamte harmonische Verzerrung)

Trafo Transformator





Motor und Verkabelung			
	Motorwirkungsgrad- klassen	Auswahl eines energieeffizienten Motors.	
	Motoreignung für FU-Betrieb	FU-Betrieb vom Motorlieferanten bestätigen lassen.	
	Ausgangsfilter: Sinus oder du/dt	Zusätzliche Filter für besondere Einsatzfälle.	
	Motorkabel	Kabel mit geeigneter Schirmung verwenden. Max. Kabelanschlußlänge des FU beachten.	
	Erdungsmaßnahmen	Auf richtigen Potentialaus- gleich achten. Liegt ein Erdungsplan vor?	
	Schirmungs- maßnahmen	EMV-Verschraubungen verwenden und Schirm richtig auflegen.	



	(0)		
Frequenzumrichter			
	Dimensionierung und Auswahl	Auslegung nach Motor- strom. Spannungsverluste berücksichtigen.	
	Sonderfall Mehrmotorenbetrieb	Hier gelten besondere Bedingungen.	
	Funkstörungen (hochfrequent)	Passenden Funkentstörfilter für vorliegende EMV-Umgebung vorgeben.	
	Netzrückwirkungen (niederfrequent)	Netzrückwirkdrosseln zur Reduzierung des Ober- wellenstroms einsetzen.	
	Erdungmaßnahmen	Sind Maßnahmen gegen Ableitströme getroffen?	
	FI-Schutzschalter	Nur allstromsensitive FI-Schutzschalter verwenden.	
	Motorschutz und Motorkaltleiter	Motor Kaltleiter wird vom FU ausgewertet. (EX-Bereich PTB-Zulassung)	
	Bedienung und Datenanzeige	Bedienung und Visualisie- rung über Klartextdisplay (Einbau in Schaltschranktür).	
	Datenaustausch (Bussysteme)	Über Bussystem (z.B. BACnet) oder über herköm- mliche Klemmenverdrah- tung.	
	Prozessregler	FU können DDC-Aufgaben übernehmen oder Aufbau eines autarken Regelkreises.	
	Wartung	Ist der Frequenzumrichter wartungsfrei?	

Nach Überprüfung der Punkte dieser Checkliste wird einem störsicheren Betrieb der Anlage nichts mehr im Wege stehen.

**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

Österreich: Danfoss Gesellschaft m.b.H.

VLT® Antriebstechnik
Danfoss Straße 8, A-2353 Guntramsdorf
Tel: +43 2236 5040, Telefax: +43 2236 5040-35
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

Die in Katalogen, Prospekten und anderen schriftlichen Unterlagen, wie z.B. Zeichnungen und Vorschlägen enthaltenen Angaben und technischen Daten sind vom Käufer vor Übenahme und Anwendung zu prüfen. Der Käufer kann aus diesen Unterlagen und zusätzlichen Diensten keinerlei Ansprüche gegen Danfoss oder Danfoss-Mitarbeitern ableiten, es sei denn, dass diese vorsätzlich oder grob fahrlässig gehandelt haben. Danfoss behält sich das Recht vor, ohne vorherige Bekanntmachung im Rahmen des Angemessenen und Zumutbaren Anderungen an Ihren Produkten – auch an bereits in Auftrag genommenen – vorzunehmen. Alle In dieser Publikation enthaltenen Warenzeichen sind Eigentum der jeweiligen Firmen. Danfoss und das Danfoss-Logo sind Warenzeichen der Danfoss A/S. Alle Rechte vorbehalten.





# **Planer Checkliste Frequenzumrichter**

4 Schritte zur grundsätzlichen FU-Auslegung einer betriebssicheren Anlage in der HLK und Kältetechnik
Beginnend nach der Festlegung der Antriebsaufgabe und der Drehmomentcharakteristik

Faustformel für die Trafobe-

lastung: ca. 40 % FU-Last

Hier gelten für FU andere

Bedingungen als bei

(verdrosselt).

Netzbetrieb.

N.
Q Q LANGE

#### Netzversorgung TN-S ist günstig bzgl. EMV. Netzform: In IT-Netzen sind besondere TN-C, TN-S, TT, IT Maßnahmen erforderlich. EMV-Normen und deren □ EMV Grenzwerte beachten. Wie hoch ist die Netzvorbe-Netzrückwirkungen lastung? Wie hoch darf der max. Oberwellenstrom (niederfrequent) (THD) sein? Zu welcher EMV-Umgebung Funkstörungen (1. oder 2. Umgebung) (hochfrequent) gehört die Anlage? Blindstromkompen-Kompensationsanlagen sationsanlagen verdrosselt ausführen. Sind die FU ausreichend □ Netztransienten gegen Netztransienten geschützt?

A Property of the Parks	
Umgebun	gsbedingung
□ Einbauort	FU-Montage zentral in Schaltschrank (IP20) oder dezentral an der Wand (IP54, IP 55 oder IP66)?
□ Kühlkonzept	Kühlung von Schaltschrank und FU; Hohe Temperaturen schädigen alle elektron. Bauelemente.
☐ Aggressive Luft / Gase	Lackierte Platinen gegen die aggressiven Gase Schwefel- wasserstoff H <sub>2</sub> S, Chlor CL <sub>2</sub> und Ammoniak NH <sub>3</sub> .
□ Staubbelastung	Staub auf und in den FU beeinträchtigt die Kühlwirkung.
□ Ex-gefährdete Bereiche	Hier gelten für FU Einschränkungen.



max. Transformator-

Notstromgenerator

auslastung

Betrieb am



# 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 Verantwortungmit 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 Österreich: Danfoss Gesellschaft m.b.H. VLT® Antriebstechnik

Danfoss Straße 8, A-2353 Guntramsdorf Tel: +43 2236 5040, Telefax: +43 2236 5040-35 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

Die in Katalogen, Prospekten und anderen schriftlichen Unterlagen, wie z.B. Zeichnungen und Vorschlägen enthaltenen Angaben und technischen Daten sind vom Käufer vor Übenahme und Anwendung zu prüfen. Der Käufer kann aus diesen Unterlagen und zusätzlichen Diensten keinerliei Ansprüche gegen Danfoss oder Danfoss-Mitarbeitern ableiten, es sei denn, dass diese vorsätzlich oder groß fahrlässig gehandelt haben. Danfoss behält sich das Recht vor, ohne vorherige Bekanntmachung im Rahmen des Angemessenen und Zumutbaren Änderungen an Ihren Produkten – auch an bereits in Auftrag genommenen – vorzunehmen. Alle In dieser Publikation enthaltenen Warenzeichen sind Eigentum der jeweiligen Firmen. Danfoss und das Danfoss-Logo sind Warenzeichen der Danfoss A/S. Alle Rechte vorbehalten.