

ENGINEERING  
TOMORROW

*Danfoss*

# Planerfibel - **Wasser und Abwasser** **Fachplanung und Projektierung** elektrischer Antriebe

## 4 Schritte

zur sicheren Anlage.  
Danfoss unterstützt  
Sie mit langjähriger  
Erfahrung bei der  
Planung





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

# Inhaltsverzeichnis

Hilfestellungen bei Planung und Auslegung .....	6
Teil 1- Grundlagen.....	7
<b>Kosten senken und Komfort erhöhen</b> .....	7
<b>Drehzahlregelung spart Energie</b> .....	8
<b>Kosteneffizienz steigern</b> .....	9
<b>Vorhandenes Einsparpotenzial in der Praxis realisieren</b> .....	10
Teil 2 – In 4 Schritten zur optimalen Anlage .....	11
<b>Schritt 1: Praxis – Netzversorgung</b> .....	11
Die gegebene Netzform erkennen .....	11
<b>Praxis – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)</b> .....	12
<i>Elektromagnetische Einflüsse wirken in beide Richtungen</i> .....	12
<i>Die Verantwortung liegt beim Betreiber</i> .....	12
<i>Zwei Möglichkeiten der Reduzierung</i> .....	12
<i>Kabelgebundene und Strahlungseinflüsse unterscheiden</i> .....	13
<i>Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen</i> .....	13
Ausbreitungswege von Störgrößen .....	13
<b>Praxis – Netzqualität</b> .....	14
<b>Niederfrequente Netzurückwirkungen</b> .....	14
<i>Versorgungsnetze in Gefahr</i> .....	14
<i>Gesetzliche Grundlage sichert Qualität</i> .....	14
<i>Wie entstehen die Netzurückwirkungen</i> .....	14
<i>Auswirkungen von Netzurückwirkungen</i> .....	15
<i>Unterspannungswarnungen</i> .....	15
<i>Erhöhte Verluste</i> .....	15
<i>Gibt es netzurückwirkungsfreie Frequenzumrichter?</i> .....	15
<b>Praxis – Niederfrequente Netzurückwirkungen</b> .....	15
<i>Netzurückwirkungen berechnen</i> .....	15
<b>Praxis – Reduzierung von Netzurückwirkungen</b> .....	16
<b>Möglichkeiten zur Reduzierung der Netzurückwirkungen</b> .....	16
<i>Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis</i> .....	16
<i>12-, 18- oder 24-pulsige Gleichrichter</i> .....	17
<i>Passive Filter</i> .....	17
<i>Vorteile passiver Filter</i> .....	17
<i>Nachteile passiver Filter</i> .....	17
<i>Aktive Filter</i> .....	18
<i>Vorteile aktiver Filter</i> .....	18
<i>Nachteile aktiver Filter</i> .....	18
<i>Schlanker Zwischenkreis</i> .....	19
<i>Active Front End und Low Harmonic Drive</i> .....	20
<i>Vorteile AFE / LHD</i> .....	20
<i>Nachteile AFE / LHD</i> .....	21
<b>Praxis – Hochfrequente Funkstörungen</b> .....	22
<b>Funkstörungen</b> .....	22
<i>Produktnorm EN 61800-3 (2005-07) für elektrische Antriebssysteme</i> .....	22
<i>Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte</i> .....	22
<b>Praxis – 1. und 2. Umgebung</b> .....	23
<b>Der Einsatzort entscheidet</b> .....	23
<i>1. Umgebung / Klasse B: Wohnbereich</i> .....	23
<i>2. Umgebung / Klasse A: Industriebereiche, Spezialbereiche</i> .....	23
<i>Keine Kompromisse</i> .....	23
<b>Praxis – Maßnahmen zum Schutz des Netzes</b> .....	24
<i>Blindstromkompensation</i> .....	24
<i>Netztransienten</i> .....	24
<b>Praxis – Betrieb am Transformator oder Notstromgenerator</b> .....	25
<b>Maximale Transformatorauslastung</b> .....	25
<i>Belastung des Transformators</i> .....	25
<i>Spannungsqualität</i> .....	25
<b>Betrieb am Notstromgenerator</b> .....	25

<b>Schritt 2: Praxis – Umgebungs- und Umweltbedingungen</b> .....	26
Der richtige Einbauort .....	26
<i>Schaltschrank- oder Wandmontage?</i> .....	26
<b>Praxis – IP Schutzklassen</b> .....	27
Struktur der IP - Schutzklassen nach IEC 60529 .....	27
<b>Praxis – Kühlkonzept</b> .....	28
<i>Umgebungstemperaturen einhalten</i> .....	28
<i>Kühlung</i> .....	28
<i>Luftfeuchtigkeit</i> .....	28
<b>Praxis – Besondere Anforderungen</b> .....	29
Aggressive Luft oder Gase .....	29
<b>Praxis – Besondere Anforderungen</b> .....	30
Staubbelastung .....	30
<i>Verminderte Kühlung</i> .....	30
<i>Kühllüfter</i> .....	30
<i>Filtermatten</i> .....	30
<b>Ex-Bereich</b> .....	31
Ex-gefährdete Bereiche .....	31
<b>Schritt 3: Praxis – Motor und Verkabelung</b> .....	32
Geltungsbereich der Mindestwirkungsgradklassen (MEPS) .....	32
<i>IE- und eff-Klassen: Große Unterschiede im Detail</i> .....	32
<b>Motor und Verkabelung</b> .....	33
<i>Verbindliche Mindestwirkungsgrade</i> .....	33
<i>Betroffene Drehstrommotoren</i> .....	33
<i>Alternativen zu den geforderten IE3-Motoren</i> .....	33
<i>Motorkompatibilität</i> .....	33
<i>Getriebemotoren</i> .....	33
<b>IE-Klassifizierung von Motoren</b> .....	34
<i>Vorteil PM-Motoren – mehr Energieeffizienz</i> .....	34
<b>Praxis – EC- und PM-Motore</b> .....	35
<i>Viele Namen für eine vergleichbare Technologie</i> .....	35
<i>Die Technologie</i> .....	35
<i>Hoher Wirkungsgrad</i> .....	35
<i>„Übersynchroner“ Betrieb</i> .....	36
<i>IEC-Normgehäuse</i> .....	36
<b>Praxis – Motoreignung für FU-Betrieb</b> .....	37
Auswahlkriterien .....	37
<i>Isolationsbeanspruchung</i> .....	37
<i>Lagerbeanspruchung</i> .....	37
<i>Thermische Beanspruchung</i> .....	37
<b>Ausgangsfiler</b> .....	38
Sinus- oder du/dt-Filter .....	38
<i>Funktionen und Aufgaben von Sinusfiltern</i> .....	38
<i>Reduzierung von Lagerströmen</i> .....	38
<b>du/dt-Filter</b> .....	39
<i>du/dt-Filter – einfacher und kostengünstig</i> .....	39
<b>Praxis – Motorkabel</b> .....	40
<i>Nennspannungsklasse</i> .....	40
<i>Kabeldimensionierung</i> .....	40
<i>Länge des Motorkabels</i> .....	40
<i>Energiesparen</i> .....	40
<i>Kabel mit geeigneter Schirmung</i> .....	40
<b>Praxis – Erdungsmaßnahmen</b> .....	41
Bedeutung von Erdungsmaßnahmen .....	41
<i>Leitfähige Materialien</i> .....	41
<i>Sternförmiges Erdungssystem</i> .....	41
<i>Kontaktstellen</i> .....	41
<i>Leiteroberfläche</i> .....	41
<i>Ausführung</i> .....	41
<b>Praxis – Schirmungsmaßnahmen</b> .....	42

Bedeutung von Schirmungsmaßnahmen.....	42
<i>Geschirmte Kabel und Leitungen</i> .....	42
<i>Schirmunterbrechungen</i> .....	42
<i>Masseverbindung</i> .....	43
<i>Motorzuleitung</i> .....	43
<i>Signalleitung</i> .....	43
<i>Schirmarten</i> .....	43
<i>Schirm als Masseleiter?</i> .....	43
<b>Schritt 4: Praxis – Auswahl der Frequenzumrichter</b> .....	44
<i>Basisauslegung</i> .....	44
<i>Konstantes oder quadratisches Drehmoment</i> .....	44
<b>Praxis – Typische Lastmomente in der Wasser-/Abwassertechnik</b> .....	45
<i>Zuordnung: Kennlinie zur Applikation</i> .....	45
<b>Praxis – Sonderfall Mehrmotorenbetrieb</b> .....	46
<i>Auslegung</i> .....	46
<i>Kabelführung</i> .....	46
<b>Praxis – EMV-Maßnahmen umsetzen</b> .....	47
<i>Von der Theorie zur Praxis</i> .....	47
<i>Funkstörungen</i> .....	47
<i>Empfehlungen für die Praxis</i> .....	47
<i>Netzurückwirkungen</i> .....	48
<i>Zwischenkreis beeinflusst Netzurückwirkungen</i> .....	48
<i>Reduzierungsmaßnahmen</i> .....	48
<i>Netzdrosseln</i> .....	48
<i>12-, 18-, 24- pulsige Gleichrichter</i> .....	49
<i>Passive Filter</i> .....	49
<i>Aktive Filter, Active Front End und Low Harmonic Drives</i> .....	49
<i>Empfehlung</i> .....	49
<b>Praxis – FI-Schutzschalter</b> .....	50
<i>Allstromsensitive Schutzeinrichtung</i> .....	50
<i>Höhe des Ableitstromes</i> .....	50
<b>Praxis – Erdung und Motorschutz</b> .....	51
<i>Erdungsmaßnahmen in der Praxis</i> .....	51
<i>Motorschutz und Motorkaltleiter</i> .....	51
<b>Praxis – Bedienung und Datenanzeige</b> .....	52
<i>Einfaches Bedienkonzept</i> .....	52
<b>Praxis – Bedienung und Anzeige</b> .....	53
<i>Lokale Bedienung</i> .....	53
<i>Übersichtliche Anzeige</i> .....	53
<i>Einheitliches Konzept</i> .....	53
<i>Integriert in die Schaltschranktür</i> .....	53
<b>Praxis – Bedienung und Parametrierung mittels PC</b> .....	54
<i>Erweiterte Möglichkeiten</i> .....	54
<b>Praxis – Datenaustausch</b> .....	55
<i>Bussysteme</i> .....	55
<i>Besseres Alarmmanagement</i> .....	55
<i>Besseres Anlagenmanagement</i> .....	55
<i>Einsparung bei der Installation</i> .....	55
<i>Vereinfachte Inbetriebnahme</i> .....	55
<b>Praxis – Weitere Auswahlfaktoren</b> .....	56
<i>Prozessregler</i> .....	56
<i>Wartung</i> .....	56
<i>Lagerung</i> .....	56
<b>VLT® AQUA Drive</b> .....	57
<b>Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter</b> .....	58
<i>CE-Zeichen</i> .....	58
<i>Maschinenrichtlinie</i> .....	58
<i>EMV-Richtlinie</i> .....	58
<i>Niederspannungsrichtlinie</i> .....	58
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	59

# Hilfestellungen bei Planung und Auslegung

Die Danfoss Planerfibel Wasser/Abwasser richtet sich an Ingenieurbüros, Behörden, Ämter, Verbände sowie Anlagen- und Schaltanlagenbauer in der Wasser- und Abwassertechnik. Sie ist als umfangreiches Hilfsmittel für Fachplaner (MSR/Elektro) und Projektoren 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 Wasser/Abwasser Hilfestellung bei der Projektierung frequenz geregelter Antriebe, aber auch bei der Bewertung technischer Ausstattung unterschiedlicher Frequenzumrichterfabrikate.

Bei der Projektierung drehzahl geregelter Antriebe treten häufig Fragen auf, die nicht unmittelbar mit den eigentlichen Aufgaben eines Frequenzumrichters verknüpft sind. Vielmehr betreffen sie die Einbindung dieser Geräte in das Antriebssystem und die Gesamtanlage. Daher ist es absolut notwendig, nicht nur den Frequenzumrichter, sondern das 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 drehzahl geregelter Antriebssysteme fällt eine entscheidende Bedeutung zu. Der Planer oder Projektoren 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 Wasser/Abwasser teilt sich in zwei Bereiche auf. Der erste Teil bietet Hintergrundwissen zum Einsatz von Frequenzumrichtern im Allgemeinen. Dazu zählen die Themen Energieeffizienz, gesenkte Lebenszyklus-

kosten 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 des-

sen 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, liegt Ihnen zuletzt eine optimale Konfiguration der Anlage für einen jederzeit sicheren Betrieb vor.



# 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 die Höhe der Energieeinsparung, bei Strömungsmaschinen mit quadratischer Drehmoment-Kennlinie. 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 Stromspitzen, die das Sechs- bis Achtfache des Nennstroms erreichen können. Frequenzumrichter begrenzen den Anlaufstrom auf

den Motornennstrom. Dadurch eliminieren sie die Stromspitzen beim Einschalten und vermeiden Spannungseinbrüche durch eine kurzzeitig sehr hohe Belastung des Versorgungsnetzes. Durch das Vermeiden dieser Stromspitzen ist der Anschlusswert der Pumpenanlage beim Energieversorger geringer; dies senkt die Bereitstellungskosten und eventuelle  $E_{\max}$ -Regelungen entfallen.

- **Reduzierter Anlagenverschleiß**

Frequenzumrichter starten und stoppen Motoren sanft und stufenlos. Anders als beim direkt am Netz betriebenen Motor tritt beim Frequenzumrichterbetrieb kein Momenten- oder Laststoß auf. Das schont den gesamten Antriebsstrang mit Motor, Getriebe, Kupplung, Pumpe/Gebälse/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 wasser- und abwassertechnischen Anlagen hängt vom optimalen 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 Wirkungsgrad.

Durch die stufenlose Regelung 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 mit einer Frequenz von 87 Hz betrieben. Der Betrieb im übersynchronen Bereich ist unbedingt mit dem Motorenhersteller zu klären!

- **Geringere Geräuschentwicklung**

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

- **Erhöhte Lebensdauer**

Antriebssysteme im Teillastbetrieb unterliegen einer geringeren Abnutzung, 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 Wirkungsgrads der Pumpe oder des Antriebs durch den Frequenzumrichter ab, sowie von der Zeit, die das System im Teillastbetrieb arbeitet. Trink- und Abwasseranlagen 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 Energieaufnahme nimmt kubisch zu.

Der entscheidende Faktor für die Energieeinsparung ist der kubische Zusammenhang von Drehzahl und Energieaufnahme. Eine mit halber

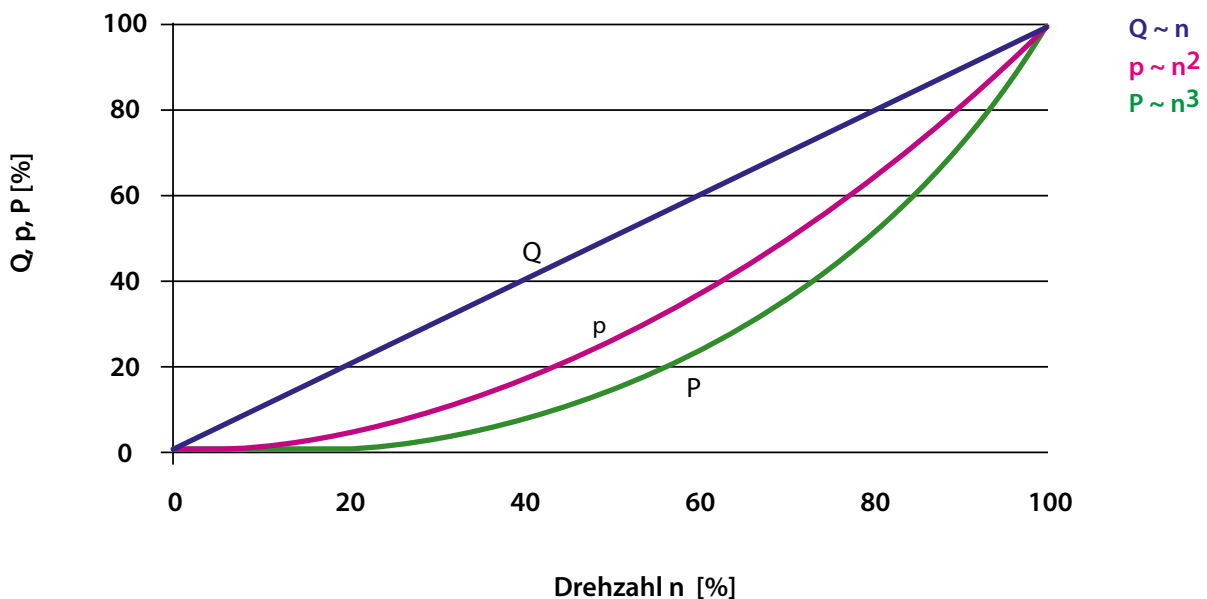
Drehzahl laufende Pumpe benötigt nur ein Achtel der beim Betrieb mit voller Drehzahl erforderlichen Leistung.

Bereits geringe Drehzahlvermindierungen führen so schon zu deutlichen Energieeinsparungen. So ergibt eine Drehzahlverringering 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 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® AQUA 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® AQUA Drive die Spannung immer an die tatsächliche von ihm gemessene Lastbedingung an. Das zusätzliche Energiesparpotenzial beträgt weitere 3 % bis 5 %.*

## Proportionalitätsgesetze



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 Pumpensystemen 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 Pumpensysteme während ihrer Laufzeit verursachen. In dieser Lebenszykluskostengleichung sind neben den Anschaffungs- und 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 Pumpenantrieben.

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

$C_{iC}$  = Anschaffungskosten

$C_{in}$  = Einrichtungs-/Inbetriebnahmekosten

$C_e$  = Energiekosten

$C_s$  = Ausfallkosten

$C_o$  = Betriebskosten

$C_{env}$  = Umweltkosten

$C_m$  = Instandhaltungskosten

$C_d$  = Stilllegungs-/Entsorgungskosten

*Berechnung der Lebenszykluskosten*

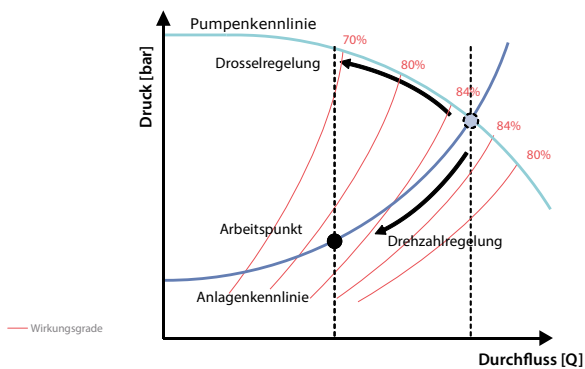
## Energiekosten senken

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

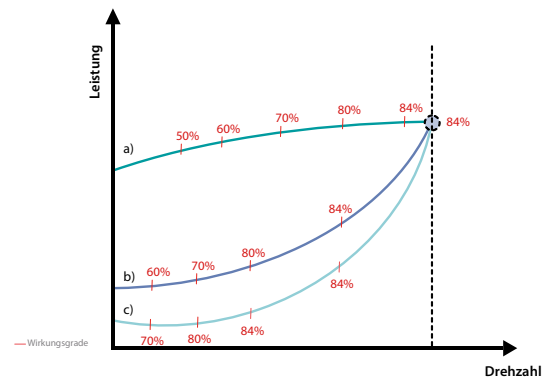
In bestehenden Pumpensystemen schlummern meist erhebliche Potenziale zur Energieeinsparung. Das kommt daher, dass der Großteil aller

Pumpenantriebe überdimensioniert ist, da sie auf den „worst case“ ausgelegt sind. Häufig erfolgt die Volumstromänderung über Drosselventile. Bei dieser Regelung laufen die Pumpen immer mit voller Leistung 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.



a) Drosselregelung:  $\eta$  nimmt ab

b) Drehzahlregelung real:  $\eta$ -Verlauf  $\neq$  Anlagenkennlinie

c) Drehzahlregelung optimal:  $\eta$ -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 Wasser/ Abwasser-Technik im Mittelpunkt der Betrachtungen. So haben Sie mehr über die Lebenszykluskosten, die Einsparungen bei Energieverbrauch sowie Wartungs- und Servicekosten erfahren. Jetzt gilt es, die aus den Vorteilen resultierenden Einsparungen auch durch eine vernünftige und genaue Planung in die Praxis umzusetzen.

Dazu führt Sie der jetzt folgende 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 weiterführende 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

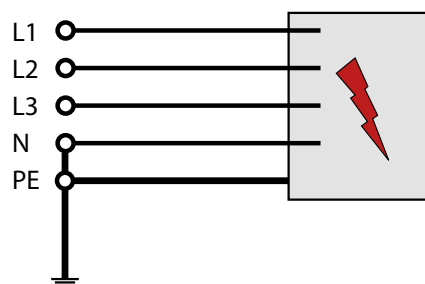
Dieses System ist ein 4-Leiter Netz mit einem geerdeten Neutralleiter und Einzelerdung der Antriebe. Dieses System bietet gute EMV-Eigenschaften, wenn die Erdungen sauber ausgeführt sind.

#### IT-Netze

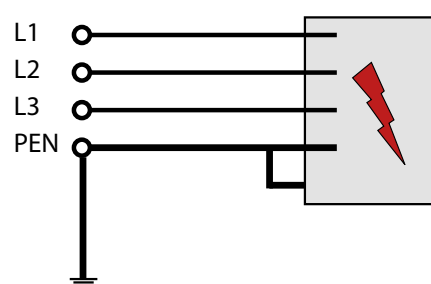
Dieses System ist ein isoliertes 4-Leiter Netz, bei dem der Neutralleiter entweder ungeerdet oder über eine Impedanz geerdet ist.

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

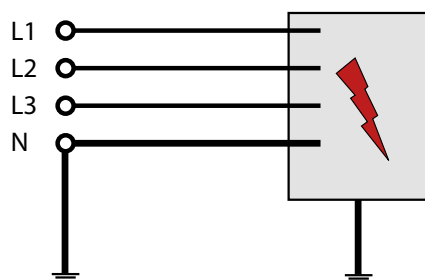
TN-S-System  
Neutralleiter und Schutzleiter getrennt



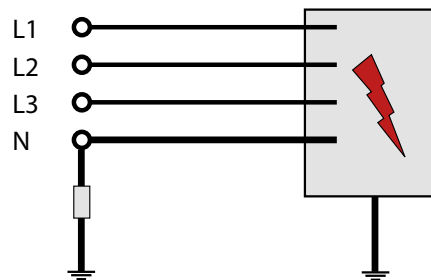
TN-C-System  
In der gesamten Anlage sind Neutralleiter und Schutzleiter zu einem Leiter zusammengefasst



TT-System  
Geerdeter Neutralleiter und Einzelerdung der Einrichtungen



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



# 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.

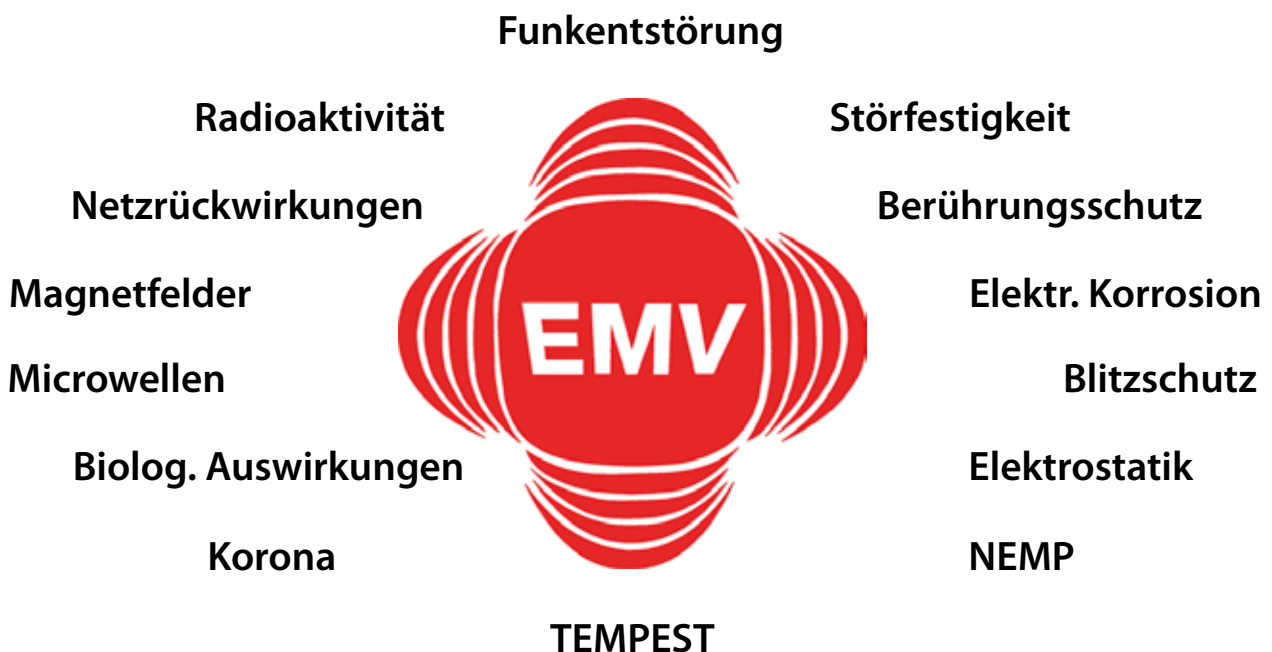
## Die Verantwortung liegt beim Betreiber

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 – spricht: 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.



Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) umfasst eine ganze Reihe von Phänomenen. In der Antriebstechnik sind davon vor allem Netzurückwirkungen, 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 Netzüberschwingungen, in elektrostatischen Entladungen, in schnellen Spannungsänderungen oder in hochfrequenten Störspannungen bzw. Störfeldern. Netzüberschwingungen sind in der Praxis häufig als Netzurückwirkungen, bzw. harmonische Oberschwingungen oder auch nur als Harmonische bekannt.

## Kopplungsmechanismen zwischen Stromkreisen

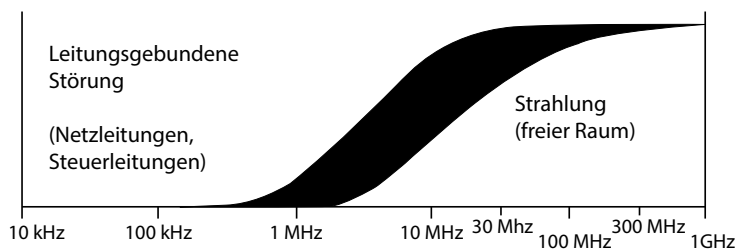
Doch wie erfolgt jetzt die Übertragung der Störenergie? Als elektromagnetische Aussendung kann die Übertragung grundsätzlich über Leitungen, elektrische Felder oder elektromagnetische Wellen erfolgen. Fachleute sprechen von galvanischer, kapazitiver und/oder induktiver Kopplung sowie Strahlungskopplung, 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.

## Ausbreitungswege von Störgrößen



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

Überblick über die Kopplungswege elektromagnetischer Störgrößen und typische Beispiele

## EMV im Zusammenhang mit Frequenzumrichtern

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

## Niederfrequente Netzurückwirkungen

### Versorgungsnetze in Gefahr

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

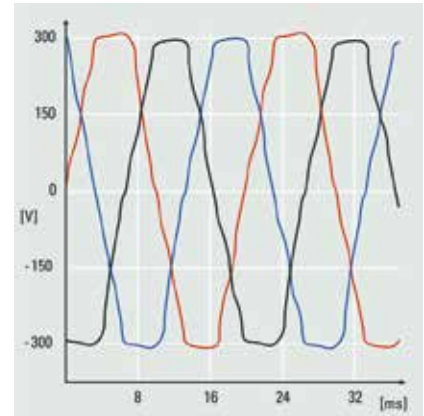
### Wie entstehen die Netzurückwirkungen

Die Verzerrung der Sinuskurvenform des Versorgungsnetzes als Folge pulsierender Stromaufnahme angeschlossener Verbraucher nennen Fachleute niederfrequente Netzurückwirkung oder auch Oberschwingungen. Abgeleitet von der Fou-

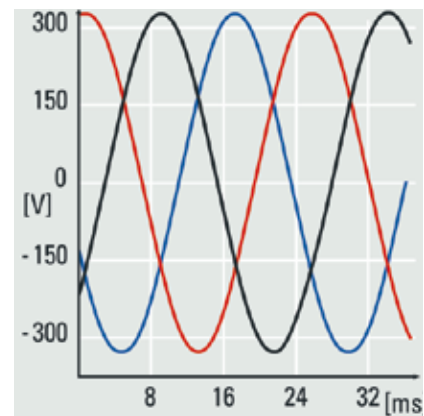
### Gesetzliche Grundlage sichert Qualität

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 Netzurückwirkungen der angeschlossenen Geräte. In der Gesamtbetrachtung sind für Anlagenbetreiber zusätzlich auch die EN 50178 sowie die Anschlussbedingungen des Energieversorgungsunternehmens zu berücksichtigen. Grundsätzlich gilt die Annahme, dass bei Einhaltung dieser Pegel alle Geräte und Systeme in elektrischen Versorgungsnetzen ihre bestimmungsgemäße Funktion störungsfrei erfüllen.

rieranalyse sprechen sie auch vom Oberschwingungsgehalt des Netzes und beurteilen diesen bis 2,5 kHz, entsprechend der 50. harmonischen Oberschwingung. Die Eingangsgleichrichter von Frequenzumrichter erzeugen eine solch typische Oberschwingungsbelastung des Netzes. Bei Frequenzum-



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



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

richtern 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 Netzurückwirkungen

## Auswirkungen von Netzurückwirkungen

Netzurückwirkungen 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 Netzurückwirkungen zu berücksichtigen.

Die Auswirkungen eines erhöhten Oberschwingungspegels sind:

## 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.

schieben einige Hersteller Netzurückwirkung in den von der Norm nicht definierten Bereich oberhalb von 2 kHz (siehe auch Seite 19 Abschnitt Schlanker Zwischenkreis) und bewerben diese als netzurückwirkungsfreie Geräte. Grenzwerte für diesen Bereich sind momentan in Beratung.

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

## Unterspannungswarnungen

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

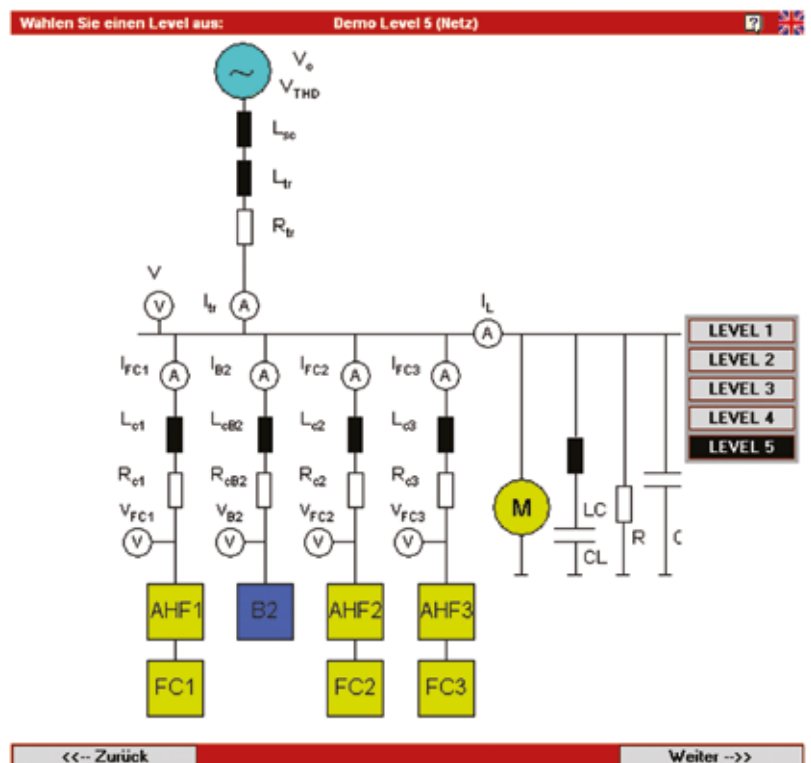
## Gibt es netzurückwirkungsfreie Frequenzumrichter?

Jeder Frequenzumrichter erzeugt Netzurückwirkungen. Allerdings betrachtet die aktuelle Norm nur den Frequenzbereich bis 2 kHz. Daher ver-

## Netzurückwirkungen berechnen

Um die Netzspannungsqualität nicht zu stark zu belasten, sind für Anlagen und Geräte, die Oberschwingungsströme produzieren, verschiedene Verfahren zur Reduzierung, Vermeidung oder Kompensation einzusetzen. 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.*



# Praxis – Reduzierung von Netzurückwirkungen

## Möglichkeiten zur Reduzierung der Netzurückwirkungen

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

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

### Drosseln am Eingang oder im Zwischenkreis

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

auch vor Netztransienten. Gleichstromseitige Drosseln befinden sich im Zwischenkreis. Sie sind effektiver, aber meist nachträglich nicht nachzurüsten. Mit solchen Drosseln kann der Oberschwingungsgehalt eines B6-Gleichrichters von einem unverdrosselten Wert  $THD_i = 80\%$  auf einen Wert von ca.  $40\%$  reduziert werden. In der Praxis haben sich für Frequenzumrichter Drosseln mit einem  $U_k$  von  $4\%$  bewährt. Eine weitere Reduzierung kann nur mit speziell angepassten Filtern erfolgen.

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



Eingebaute Zwischenkreisdrosseln reduzieren die niederfrequenten Netzurückwirkungen und erhöhen die Lebensdauer des Geräts.



# Praxis – Reduzierung von Netzurückwirkungen

**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. Oberschwingungsfreiheit stehen optional passive Netzurückwirkfilter zur Verfügung. Diese sind aus passiven Bauelementen wie Spulen und Kondensatoren aufgebaut. Dabei senken parallel zur Last geschaltete, spe-

ziell auf die einzelnen Harmonischen abgestimmte LC-Serienschwingkreise den Oberschwingungsgehalt THD 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 Oberschwingungsfilter 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.

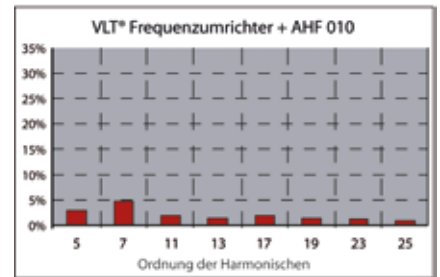
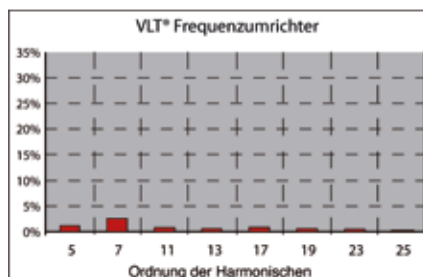
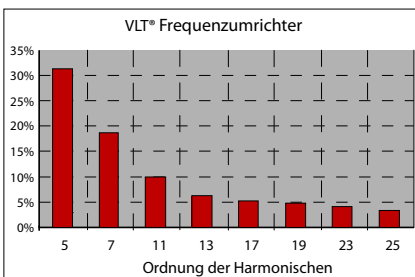
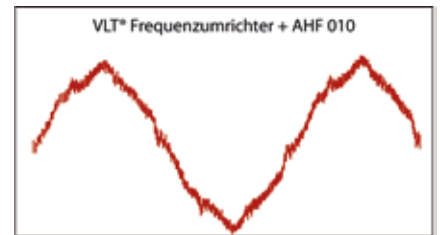
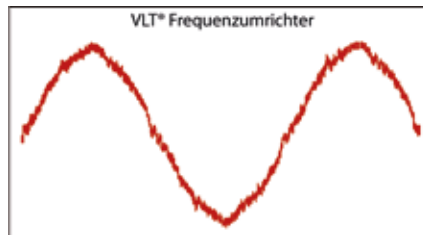
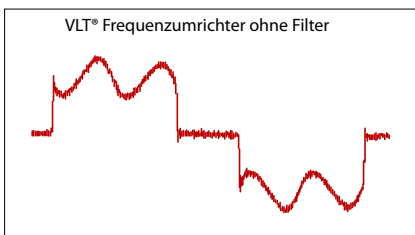
## Vorteile passiver Filter

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 Oberwellenstromgehalts 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 %

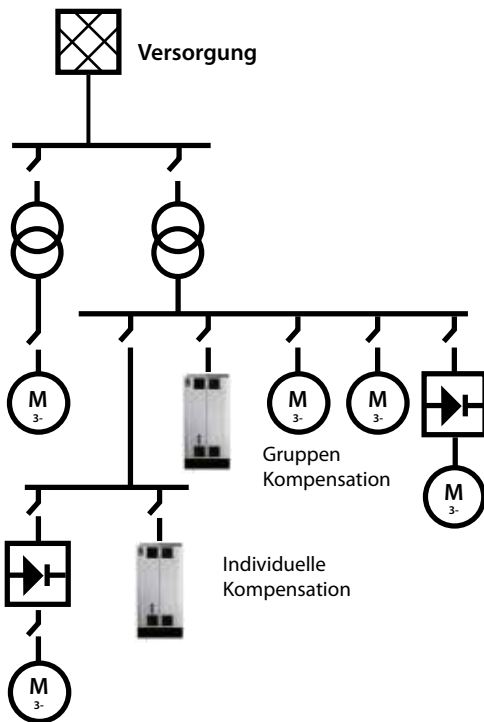
# Praxis – Reduzierung von Netzurückwirkungen

## Aktive Filter

Sind die Anforderungen bzgl. der Netzurückwirkungen noch höher, kommen aktive elektronische Filter zum Einsatz. Aktive Filter sind elektronische Saugkreise, die Betreiber parallel zu den Oberschwingungserzeugern anschließen. Sie analysieren

den von nichtlinearen Verbrauchern erzeugten Oberschwingungsstrom und liefern einen gegenphasigen Kompensationsstrom. Dies neutralisiert die entsprechenden Oberschwingungsströme am Anschlusspunkt vollständig.

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



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

## 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 THD<sub>r</sub>-Wert  $\leq 2\%$ .

## Nachteile aktiver Filter

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

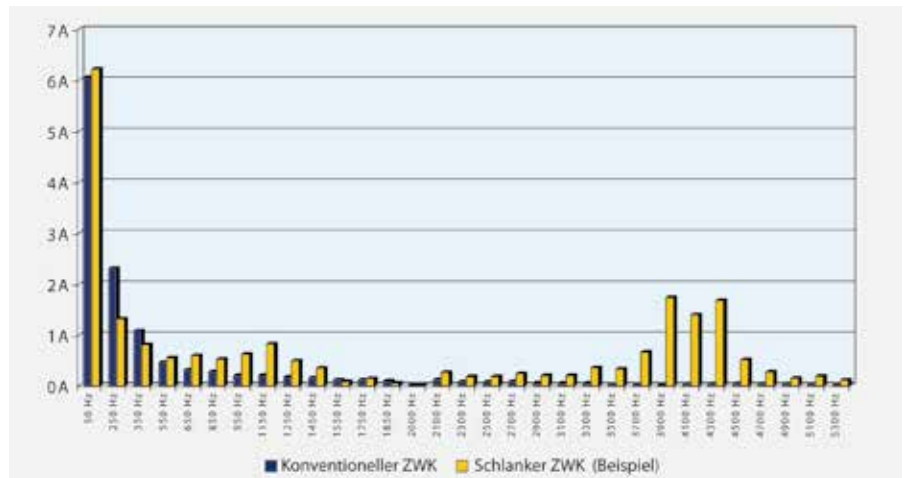


# Praxis – Reduzierung von Netzurückwirkungen

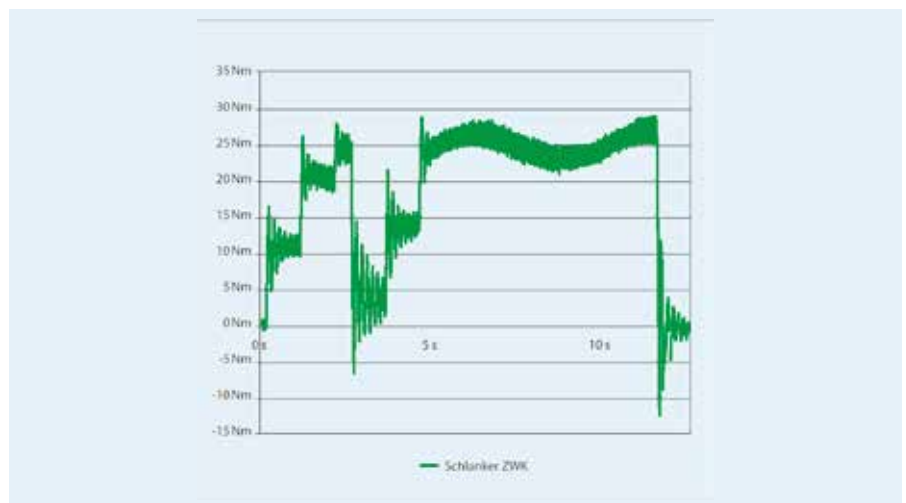
## Schlanker Zwischenkreis

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

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



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



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



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

#### **Active Front End und Low Harmonic Drive**

Active Front End (AFE) und Low Harmonic Drive (LHD) bei Frequenzumrichtern oder Power Factor Correction (PFC) bei Netzteilen sind elektronische Eingangsschaltungen, die den herkömmlichen Gleichrichter ersetzen. Diese Schaltungen erzwingen mit sehr schnell schaltenden Halbleitern einen annähernd sinusförmigen Strom und sind ebenfalls sehr effizient in der Bedämpfung niederfrequenter Netzurückwirkungen.

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

Ein Active Front End Gerät ist die teuerste Maßnahme zur Reduktion von Netzurückwirkungen, 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 Oberschwingungsstromgehalt sinkt auf einen  $THD_i$ -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.



# Praxis – Reduzierung von Netzurückwirkungen

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

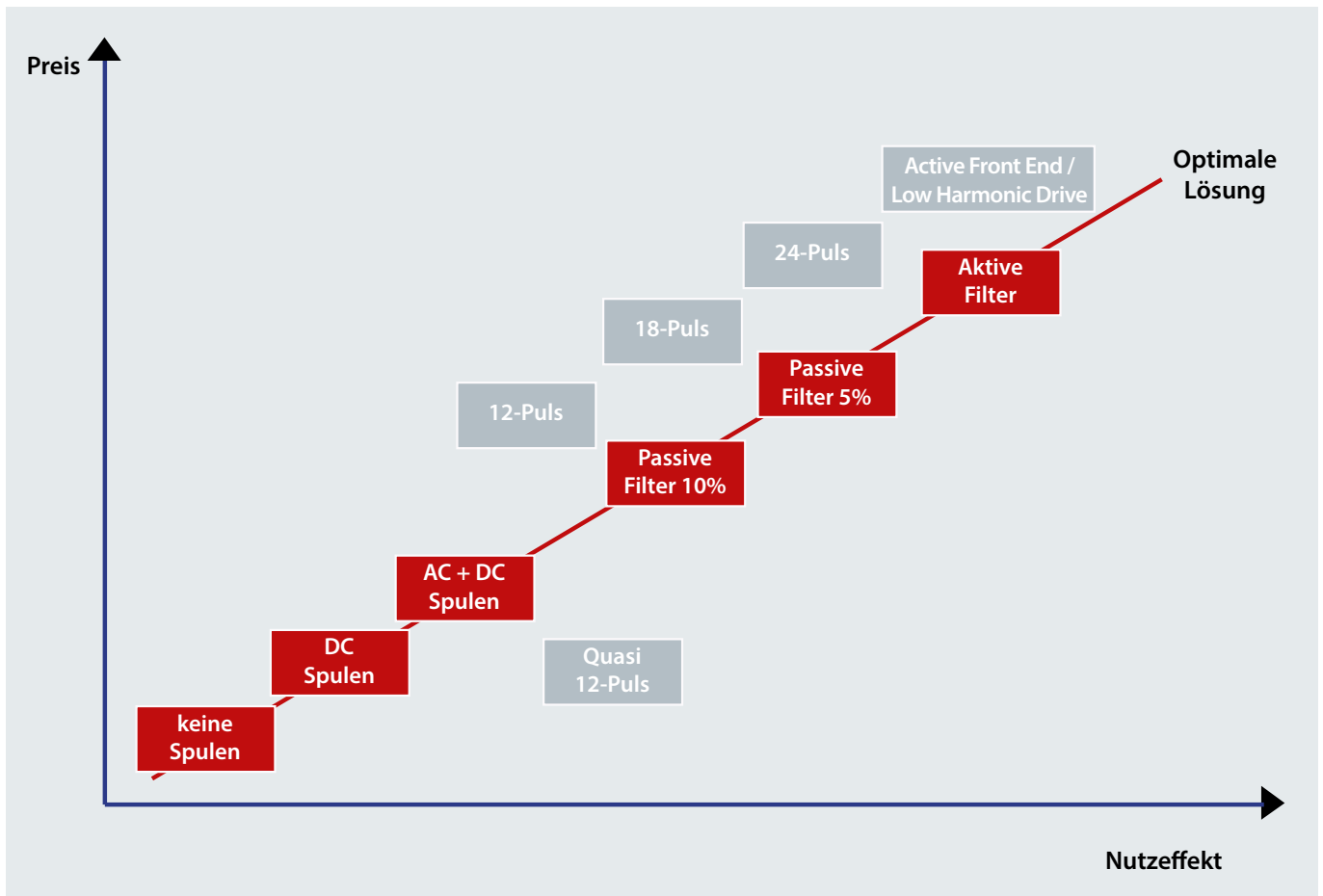
mit der die Geräte die Korrektur des Eingangsstroms vornehmen. Sie liegt zwischen 4-20 kHz. Gute, technisch aufwändigere Geräte filtern diese Taktfrequenz vor der Einspeisung ins Netz wieder heraus. Die derzeit gültigen Normen und Gesetze decken diesen Frequenzbereich bislang nicht ab. Aktuelle Netzanalysatoren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

Frequenzrichter erzeugen variable Drehfeldfrequenzen bei entsprechenden Motorspannungen durch rechteckige Spannungspulse verschiedener Breite. In den steilen Spannungsflanken sind hochfrequente Anteile enthalten. Motorkabel und Frequenzrichter strahlen sie ab und leiten sie auch über die Leitung zum Netz hin. Zur Reduzierung derartiger Störgrößen auf der Netzeinpeisung nutzen die Hersteller Funkentstörfilter (auch RFI-Filter, Netzfilter oder EMV-Filter genannt). Sie dienen einerseits dem Schutz der Geräte vor hochfrequenten leitungsgebundenen Störgrößen (Störfestigkeit), andererseits der Reduzierung der hochfrequenten Störgrößen eines Geräts, die es über das Netzkabel oder die Abstrahlung des Netzkabels aussendet. Die Filter sollen diese Störaussendungen auf ein vorgeschriebenes gesetzliches Maß begrenzen, dementsprechend sollten sie möglichst von Anfang an in den Geräten eingebaut sein. Wie bei Netzdrosseln ist auch bei Funkentstörfiltern die Qualität des einzusetzenden Filters klar zu definieren. In den 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 Anforderung	Installation und Inbetriebnahme durch einen EMV-Fachkundigen		EMV-Plan erforderlich
Grenzwerte nach EN 55011	Klasse B	Klasse A1 (+Warnhinweis)	Klasse A2 (+Warnhinweis)	Werte überschreiten Klasse A2

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

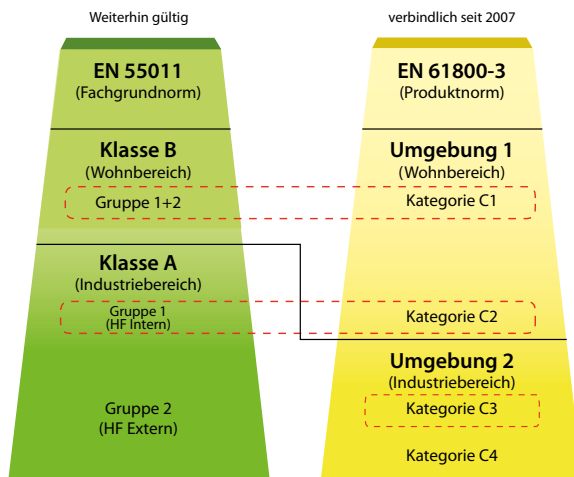
### Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte

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

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

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

### Gegenüberstellung der Grenzwerte\*



\* Störaussendung

\*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

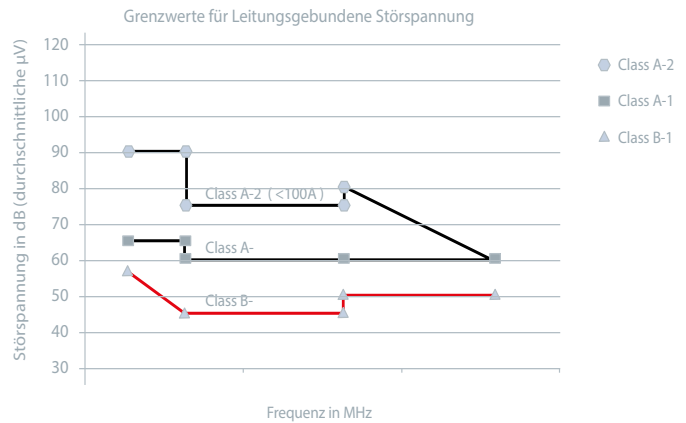
Als Wohn- bzw. Geschäftsbereich, sowie Kleinbetrieb gelten alle Einsatzorte, die direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen sind. Sie besitzen keine eigenen Hoch- oder Mittelspannungs-Verteil-Transformatoren zur separaten Versorgung. Die Umgebungsbereiche gelten sowohl innerhalb als auch außerhalb der Gebäude. Beispiele hierfür sind: Geschäftsräume, Wohngebäude/ Wohnflächen, Gastronomie- und Unterhaltungsanlagen, 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

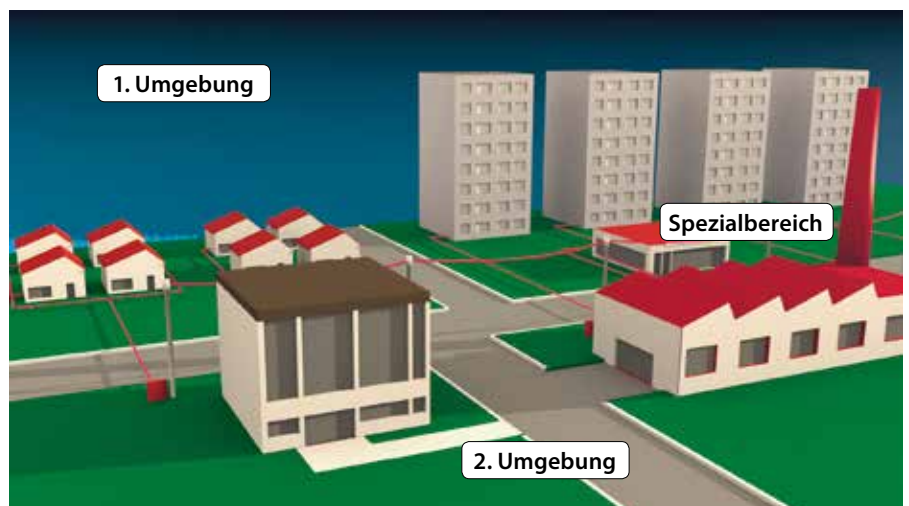
Hier entscheidet der Anwender, welchem Umgebungsbereich er seine Anlage zuordnen möchte. Voraussetzung ist ein eigener Mittelspannungs-Transformator und eine eindeutige Abgrenzung zu anderen Bereichen. Innerhalb seines Bereichs muss er eigenverantwortlich die notwendige elektromagnetische Verträglichkeit 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  $\varphi$  zwischen Spannung und Strom sowie der Verschiebung des Leistungsfaktors  $\cos \varphi$  in Richtung 1. Dies ist erforderlich, wenn viele induktive Verbraucher (Motoren, Vorschaltgeräte für Lampen, etc.) in einem Versorgungsnetz zum Einsatz kommen. Frequenzumrichter nehmen je nach Ausführung des Zwischenkreises keinen Blindstrom aus dem Versorgungsnetz auf und erzeugen keine

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

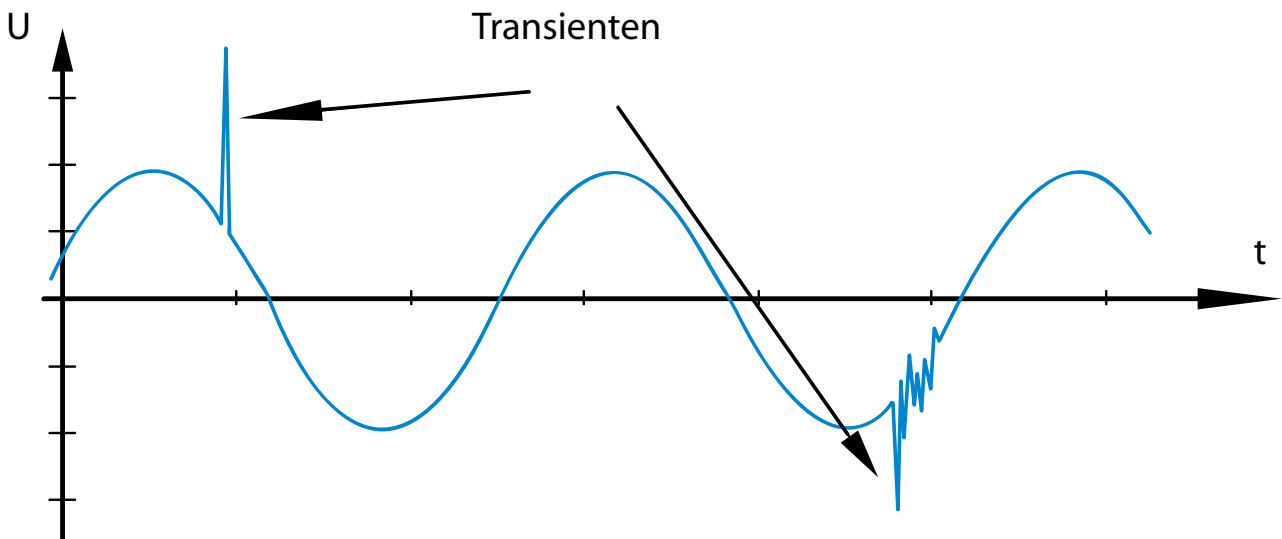
Betreiber seine Blindstromkompensationsanlagen verdrosselt ausführen. Zudem verhindert die Verdrosselung, dass Resonanzen zwischen den Induktivitäten der Verbraucher und der Kapazität der Kompensationsanlage entstehen. Ebenso erfordern Umrichter mit  $\cos \varphi < 1$  eine Verdrosselung der Kompensationsanlage.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

## Netztransienten

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

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

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



*Blitzeinschläge gehören zu den häufigsten Verursachern von Netztransienten in wasser- und abwassertechnischen Anlagen.*



# Praxis – Betrieb am Transformator oder Notstromgenerator

## Maximale Transformatorauslastung

Betreiber können in Niederspannungsnetzen (400 V, 500 V, 690 V) drehzahlregelte 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 Industriernetzen (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](http://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® AQUA Drive verfügen alle über eine standardmäßig integrierte NetZRückwirkdrossel.*

## Betrieb am Notstromgenerator

Betreiber setzen immer dann Netzersatzanlagen ein, wenn sie 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:

- 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.

[www.danfoss.de/hcs.software](http://www.danfoss.de/hcs.software)

### Beim Betrieb von Oberschwingungserzeugern gelten die Grenzen wie folgt:

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

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

# 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.

### 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 Schrankes gegenseitig beeinflussen können und daher dem EMV-konformen Aufbau des Schaltschranks besondere Bedeutung zukommt. Außerdem steigen die Investitionskosten für geschirmte Motorkabel, da Schaltschrank und Antrieb in der Regel deutlich weiter voneinander getrennt stehen, als bei der dezentralen Lösung. Die Wandmontagevariante ist aufgrund der räumlichen Nähe zwischen

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

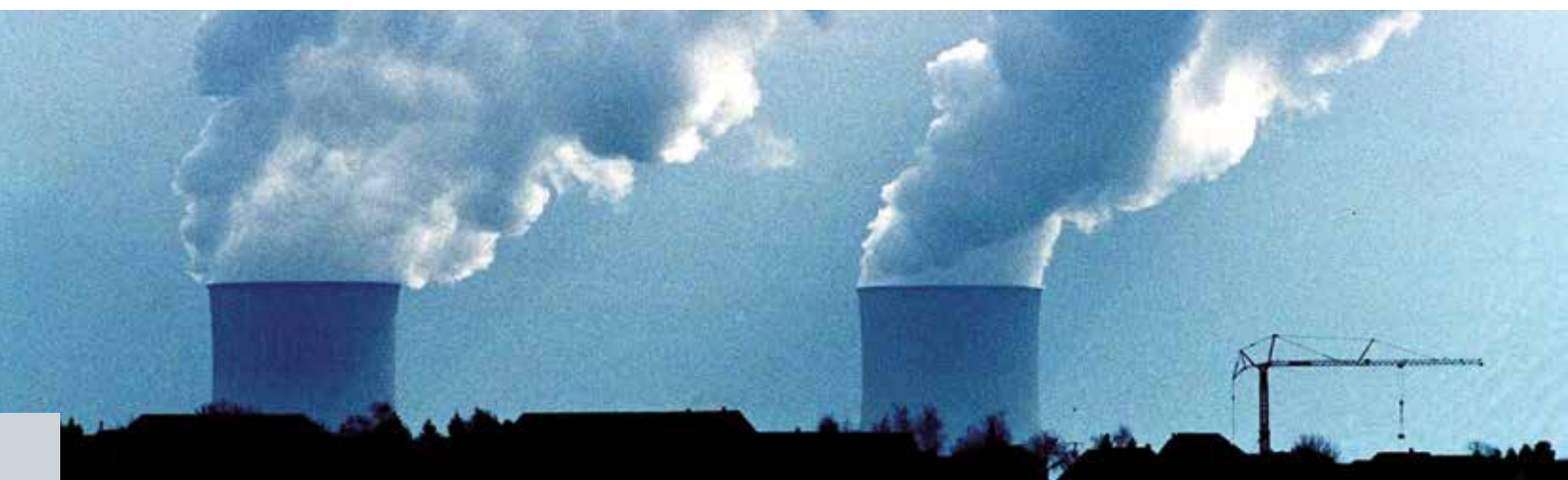
Frequenzumrichter und Antrieb aus EMV-Sicht einfacher zu handhaben und kommt deswegen auch mit deutlich geringeren Kosten für geschirmte Motorkabel aus. Der geringe Mehrpreis für einen Frequenzumrichter in Schutzart IP54 fällt kaum ins Gewicht. In der Praxis kommen allerdings ca. 70 % der Geräte in Schaltschränken zum Einsatz.

**Bemerkung:**  
Danfoss Frequenzumrichter stehen in drei Schutzarten zur Verfügung:

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



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



# Praxis – IP Schutzklassen

## Struktur der IP-Schutzklassen nach IEC 60529

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

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

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

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

Fehlende Kennziffern werden durch ein >X< ersetzt.



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

# 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  $-10^{\circ}\text{C}$  funktionieren, garantieren Hersteller den Betrieb bei Bemessungsleistung erst ab  $0^{\circ}\text{C}$ . 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  $10^{\circ}\text{C}$ , die es über seiner Auslegungstemperatur betrieben wird. Dies gilt nicht nur für Geräte, die in Schaltschränken eingebaut sind. Auch bei Einsatz von Geräten den 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 Geräts 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 Wärmester 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.



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

# Praxis – Besondere Anforderungen

## Aggressive Luft oder Gase

In Kläranlagen 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 Projektierungsphase 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® AQUA Drive verfügt serienmäßig über eine Beschichtung der Klasse 3C2. Auf Wunsch ist auch eine Beschichtung nach Klasse 3C3 erhältlich.*

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

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 Lager-schäden.

### 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.*

## Zoneneinteilung

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

\*Definitionen aus Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)

Die obenstehende Tabelle beschreibt in einfacher Form, wie die Zoneneinteilungen definiert sind. Die Zonen geben Auskunft darüber, mit welcher Häufigkeit und welcher Zeitdauer mit dem Auftreten einer explosionsgefährlichen Atmosphäre zu rechnen

ist. Zu beachten gilt, dass bei der Auswahl der im Ex-Bereich eingesetzten Komponenten, diese in ihrer Kategorie mindestens der vorherrschenden Zone entsprechen müssen. Weitere Kriterien sind die Temperaturklassen, sowie die Explosionsgruppen. So ist

der Einsatz eines Elektromotors in Zone 0 generell nicht möglich. Unbedingt erforderlich ist, dass die bestimmungsgemäße Zulassung eines eingesetzten Geräts der Art der explosionsfähigen Atmosphäre gerecht werden muss: Gas (Kennzeichen G).

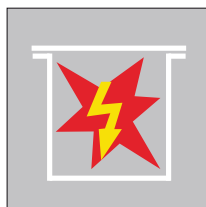
# Ex-Bereich

## Ex-gefährdete Bereiche

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

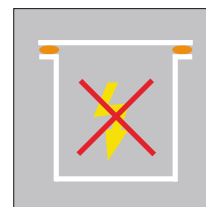
Regeln Frequenzumrichter Motoren in Ex-gefährdeten Bereichen, müssen diese Motoren unter anderem mit einer Temperaturüberwachung durch Kaltleitertemperaturfühler ausgestattet sein. Zur Auswahl stehen Motoren der Zündschutzart „d“ und auch „e“. Der Unterschied zwischen den Zündschutzarten besteht in der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

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



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

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



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

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

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

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

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

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

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



# Schritt 3: Praxis – Motor und Verkablung

## Geltungsbereich der Mindestwirkungsgradklassen (MEPS)

### 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.

#### 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.





# Motor und Verkabelung

## Verbindliche Mindestwirkungsgrade

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

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

## Betroffene Drehstrommotoren

Die Einhaltung der MEPS ist verpflichtend für folgende Drehstromasynchronmotoren:

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

Die Einführung der MEPS soll zur Energieeinsparung beitragen. Allerdings kann in seltenen Fällen die Lösung auch mehr Energie verbrauchen. Deshalb sind in der EU-Verordnung Nr. 640/2009 technisch sinnvolle Ausnahmen für verschiedene Anwendungsbereiche beschrieben. Nach einer ersten Phase, werden im 2. Quartal 2014 die Rahmenbedingungen für die Ausnahmen weiter verschärft (in Klammern sind die Bedingungen angegeben, die bis zum Inkrafttreten der Verschärfung gelten):

- Motoren in explosionsgeschützten Bereichen (im Sinne der Richtlinie 94/9/EG) und Bremsmotore.
- Sondermotoren, die für eine der folgenden Betriebsbedingungen bestimmt sind:
  - Umgebungstemperaturen über 60 °C (40 °C).
  - Umgebungstemperaturen unter -30 (-15°C) (Bei Wasserkühlung unter 0 °C).
  - Betriebstemperatur über 400 °C.
  - Kühlwassertemperatur ist kleiner 0 °C (5 °C) oder größer als 32 °C (25 °C).
  - Betrieb über 4000 m (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 gilt in Europa der Motor nicht als integraler Bestandteil und wird separat gemessen. Ähnlich ist die Vorgehensweise bei Sondermotoren. Es wird der Basismotor gemessen und die Wirkungsgradklasse auf Varianten des Motors übertragen.

## Alternativen zu den geforderten IE3-Motoren

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

## Motorkompatibilität

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

## Getriebemotoren

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

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

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

# IE-Klassifizierung von Motoren

## Vorteil PM-Motoren – mehr Energieeffizienz

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

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

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

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

Energiekostenvorteil IE-Motor zur nächst besseren IE-Klasse

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

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

## VLT® AQUA Drive:

### PM-Motoren optimal steuern

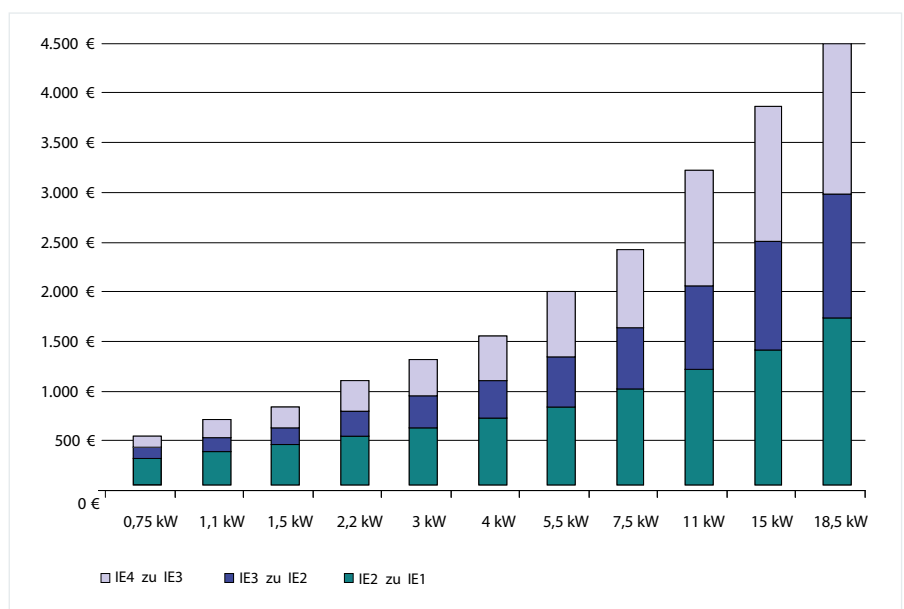
Danfoss liefert jetzt eine verbesserte Version seiner bewährten feldorientierte VVC+ Steuerung; VVC+ PM. Diese umfasst neue Regelalgorithmen, da die Steuerung der PM-Motoren die Winkelposition des Rotors erfordert. Dafür hat Danfoss beispielsweise eine Open-Loop-Lösung entwickelt, die bei Initialisierung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

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

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

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

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



# Praxis – EC- und PM-Motore

## Viele Namen für eine vergleichbare Technologie

Bei Drehstromasynchronmotoren (DASM) sind Steigerungen des Wirkungsgrads nur noch mit viel Aufwand zu erreichen. Eine Alternative stellen deshalb permanenterregte Synchronmotoren dar. Im Vergleich zu Asynchronmotoren mit ähnlichen Wirkungsgraden (z.B. IE 3) bauen diese Motoren deutlich kompakter.

In der Praxis begegnet der Anwender verschiedenen Unterarten dieser Motoren mit unterschiedlichen Namen. Während die Industrie häufig die Abkürzungen PM (Permanent Magnet) und PMSM (Permanent Magnet Synchron Motor) verwendet, sind in der Gebäudeautomation eher die Bezeichnungen EC (Electrical Commutated) und BLDC (Brush Less Direct Current) gängig.

Die Vielfalt und unterschiedliche Benennung der permanent erregten Motoren zeigt sich sehr gut am Beispiel EC. Industrielle Anwendungen nutzen EC-Motoren meist als Stell- oder Schrittmotoren. In einer kleinen kompakten Bauform decken sie einen Leistungsbereich bis ca. 300 Watt ab. Als Versorgungsspannung kommen häufig 24 V zum Einsatz.

Anders sieht es in der Lüftungstechnik für die Gebäudeautomation aus. Dort laufen die EC-Motoren in 1-phasiger und 3-phasiger Ausführung in kompakten Lüftereinheiten und decken Anwendungen bei Leistungen im einstelligen kW-Bereich ab.

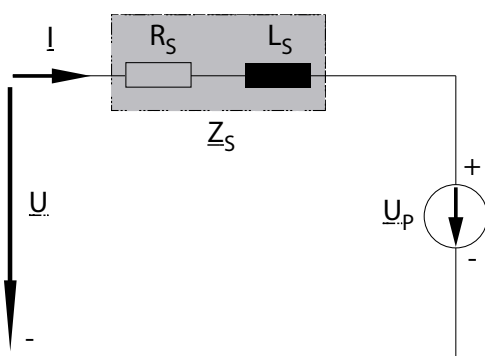
## Die Technologie

Aufgrund der eingebauten Dauermagnete benötigen permanent erregte Motoren keine separate Erregerwicklung. Allerdings erfordert ihr Betrieb einen elektronischen Regler, der ein Drehfeld erzeugt. Ein direkter Betrieb am Netz ist meist nicht möglich. Für die Ansteuerung des Motors muss der Regler immer die aktuelle Position des Rotors kennen. Es gibt zwei Verfahren für diese Bestimmung: mit und ohne Rückmeldung der aktuellen Rotorposition durch einen Sensor bzw. Positionsgebers.

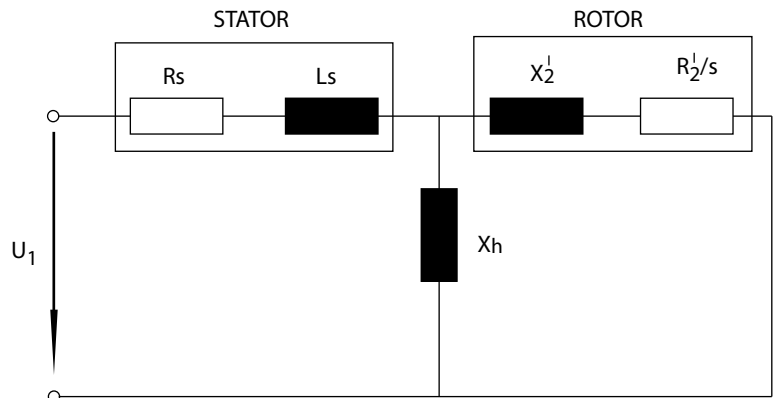
## Hoher Wirkungsgrad

Durch die Dauermagnete entstehen im Rotor des Motors praktisch keine Verluste.

Ersatzschaltbild PSM



Ersatzschaltbild DASM (Drehstromasynchronmotor)



Ein Vergleich der vereinfachten Ersatzschaltbilder zeigt, dass bei PM/EC-Motoren die Verluste im Rotor wegfallen. Daraus ergeben sich im Vergleich zu einem Drehstromasynchronmotor höhere Wirkungsgrade.

### „Übersynchroner“ Betrieb

Prinzipiell ist ein Betrieb eines EC- bzw. PM-Motors über der Bemessungsfrequenz bzw. der Bemessungsdrehzahl möglich – falls vom Motorhersteller zugelassen. Diese Betriebsart heißt bei der DASM übersynchroner Betrieb oder Betrieb im Feldschwächbereich. Der Effekt der Feldschwächung ermöglicht den Betrieb mit einer höheren Drehzahl, allerdings nimmt mit ihm das an der Welle verfügbare Drehmoment ab. Im Gegensatz zum DASM muss beim EC- bzw. PM-Motor eine geeignete Ansteuerung des Motors die Feldschwächung „erzwingen“. Wie bei der DASM nimmt dabei das an der Welle verfügbare Moment ab.

Ob ein Motor für den Betrieb im Feldschwächbereich geeignet ist, muss beim Motorhersteller nachgefragt werden.

Für den Frequenzumrichter wird ein solcher Betrieb erst kritisch, wenn die im EC- bzw. PM-Motor durch die Dauermagneten erzeugte Spannung die maximal erlaubte Zwischenkreisspannung des Umrichters überschreitet. So kann beispielsweise ein Motor

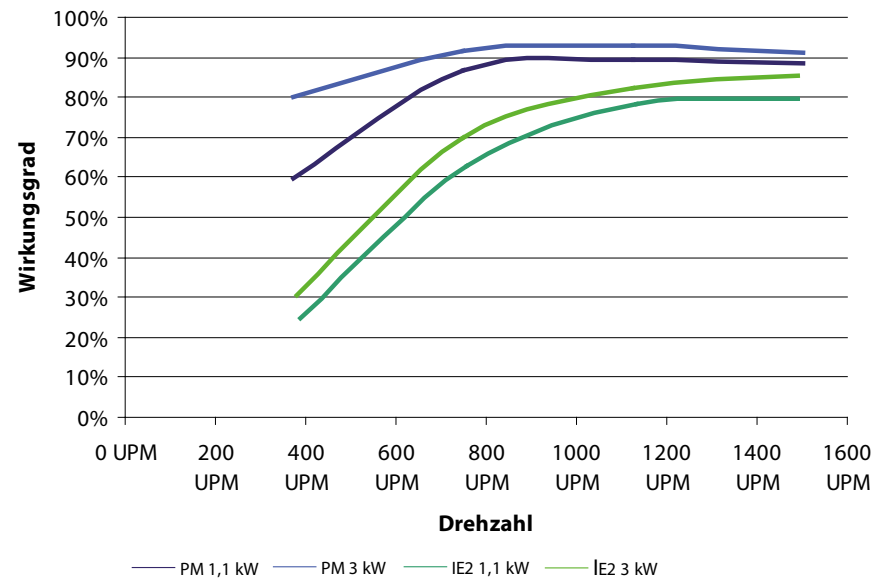
### IEC-Normgehäuse

In vielen Anwendungen arbeiten Drehstromasynchronmaschinen, deren Anschlussmaße und Baugröße in der IEC EN 50487 bzw. IEC 72 genormt sind.

Die meisten PM-Motoren folgten aber bisher einer anderen Bauformen. Ein typisches Beispiel sind Servomotoren. Mit ihrer kompakten Bauform und langgestreckten Rotoren sind sie für hochdynamische Vorgänge optimiert.

Um die Vorteile des hohen Wirkungsgrads der permanent erregten Motoren auch in den bestehenden Industrieanwendungen nutzen zu können, sind mittlerweile PM-Motoren in IEC Norm-Motorgehäusen erhältlich. Dies ermöglicht auch in bestehenden

Vergleich Wirkungsgrade PM zu IE2 (Quadratischer Lastverlauf)



(erzeugte Spannung bei 1000 UPM = 200 V) an einem Umrichter mit einer zulässigen Zwischenkreisspannung von 900 V mit einer Drehzahl von bis zu 3192 UPM laufen. Auch höhere Drehzahlen lassen sich realisieren, allerdings besteht dann im Falle eines

Fehlers die Gefahr, dass eine Spannung von über 900 V den Umrichter elektrisch zerstören kann. Dies tritt beispielsweise bei einem Netzausfall auf.

Anlagen den Austausch älterer Standard-Drehstromasynchronmotoren (DASM) gegen Motoren mit höherem Wirkungsgrad. Aber auch die Konstruktion bestehender Maschinen muss der Maschinen-/Anlagenbauer nicht ändern, um die Motoren mit dem höheren Wirkungsgrad einsetzen zu können.

Aus Kompatibilitätsgründen sind aber beide PM-Motorvarianten auf dem Markt zu finden.

### Variante 1 - Baugrößengleichheit:

PM/EC und DASM haben die gleiche Baugröße  
*Beispiel: Ein 3 kW DASM kann durch einen EC/PM Motor gleicher Größe ersetzt werden.*

### Variante 2 - Leistungsgleichheit:

PM/EC und DASM haben die gleiche Leistung. Prinzipiell können PMSM Motoren kompakter bauen als ein DASM vergleichbarer Leistung. Je nach Baugröße beträgt die Leistungsdichte eines PM/EC ca. 1,5 bis 2-mal höher als bei einer DASM.

*Beispiel 1: Eine 3 kW DASM kann durch einen EC/PM Motor mit der Baugröße eines 1,5 kW Motors ersetzt werden.*

*Beispiel 2: Ein 3 kW DASM kann durch einen EC/PM Motor gleicher Baugröße mit 6 kW ersetzt werden.*

Zusätzlich benötigt aber der PM/EC-Motor immer einen Regler zur Ansteuerung.

# 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.

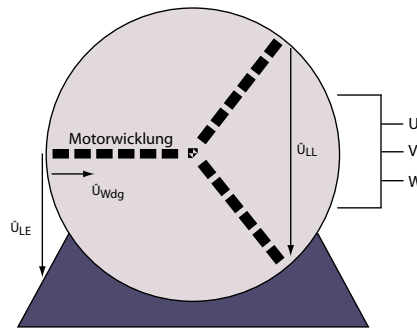
Die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit verursachen die schnell schaltenden Halbleiter im Wechselrichter von Frequenzumrichtern. Diese takten mit einer hohen Frequenz im Bereich von 2-20 kHz und sehr kurzen Schaltzeiten, um einen sinusförmigen Stromverlauf nachzubilden.

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

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

### Lagerbeanspruchung

Unter ungünstigen Umständen kann es vorkommen, dass frequenzgezielte Motoren mit Lagerschäden durch Lagerströme ausfallen. Ein Lagerstrom fließt dann, wenn am Lager schmierspalt eine Spannung anliegt, die hoch genug ist, um die Isolierung des Schmiermittels zu durchschlagen. Tritt dieser Fall ein, so kündigen stei-



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

gende 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)
- 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 DIN VDE 0530-17:2007-12 empfiehlt, Maßnahmen ab einer Achshöhe von 315 mm (ca. 132 kW) zu treffen.*

### Thermische Beanspruchung

Der Betrieb am Frequenzumrichter ruft im Motor zusätzliche Verluste hervor. Durch die zusätzliche Oberschwingungsbelastung entstehen Eisen- und Stromwärmeverluste im Ständer und Rotor. Die Höhe der Verluste hängt von der Amplitude und Frequenz der Oberschwingungen der Strangfrequenz ab. Die zusätzlichen Stromwärmeverluste im Läufer sind von der Nutgeometrie abhängig. Eisen- und Stromwärmeverluste im Motor sind lastunabhängig. Die zusätzlichen Verluste im Motor führen zu einer höheren thermischen Beanspruchung der Wicklungsisolation. Allerdings liegt bei modernen Frequenzumrichtern die zusätzliche Erwärmung von Normmotoren (bis Baugröße 315) im Bereich der Zusatzwärmerung durch Netztoleranzen und ist somit vernachlässigbar. Bei Transnormmotoren (ab Baugröße 355) schreiben Hersteller teilweise eine Leistungsreduzierung vor.

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 wird bei niedriger Motorspannung im Vergleich zum reinen Netzbetrieb um bis zu 10 K größer.

# Ausgangsfiler

## Sinus- oder du/dt-Filter

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

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

### Funktionen und Aufgaben von Sinusfiltern

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

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

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

### Sinusfilter kommen bei folgenden Anwendungen zum Einsatz:

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

### Nachträglicher Einbau/Retrofit

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

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

### Reduzierung von Lagerströmen

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

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

# du/dt-Filter

## du/dt-Filter – einfacher und kostengünstig

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

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

- Anwendungen mit häufigem regenerativem Bremsen.
- Motoren, die nicht für Frequenzrichterbetrieb ausgelegt sind und die IEC 600034-25 nicht einhalten.

- Motoren, die unter aggressiven Umgebungsbedingungen aufgestellt sind oder bei hohen Temperaturen betrieben werden.
- Anwendungen mit Überschlagerisiko.
- Anlagen mit alten Motoren (Nachmontage) oder Universalmotoren, die IEC 600034-17 nicht erfüllen.
- Anwendungen mit kurzen Motorkabeln (unter 15m), da dann die Anstiegszeit kurz ist, wodurch hohe du/dt-Werte entstehen. Diese können eine schädlich hohe Potentialdifferenz zwischen den Wicklungen im Motor hervorrufen, die zu Isolationsdurchschlag und -überschlag führen kann.
- 690-V-Anwendungen.



Common Mode Filter

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

# Praxis – Motorkabel

## Nennspannungsklasse

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

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

## Kabeldimensionierung

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

## Energiesparen

Der Spannungsabfall und die (Wärme-) Verlustleistung eines Kabels ist annähernd proportional zu seiner Länge und zudem frequenz-

abhängig. 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 Öflex 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® AQUA Drive können Sie serienmäßig geschirmte Kabel bis 150 m und ungeschirmte Kabel bis 300 m anschließen, bei voller Spannung am Motor!*



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



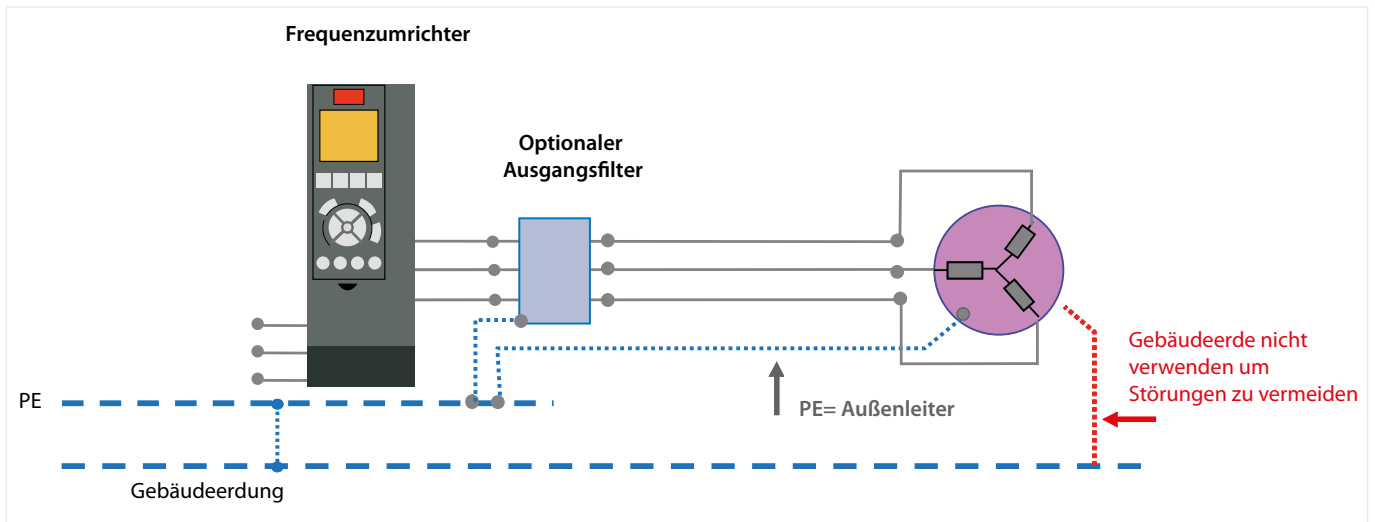
# Praxis – Erdungsmaßnahmen

## Bedeutung von Erdungsmaßnahmen

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

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

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



Grundsätzlich sollte für jede Anlage ein Erdungsplan erstellt werden.

### Leitfähige Materialien

Betreiber müssen darauf achten, metallische Flächen niederimpedant mit Masse zu verbinden. Für EMV-Maßnahmen ist dabei nicht der Querschnitt der Leitung maßgebend, sondern 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 verzinneten, 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

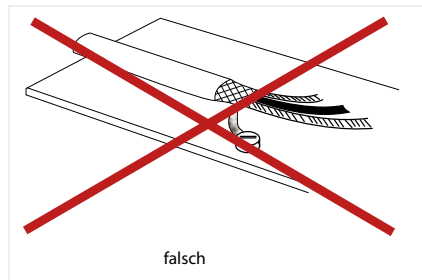
Maßnahmen zur Abschirmung dienen der Reduzierung der abgestrahlten Störenergie (Beeinflussung benachbarter Anlagen und Komponenten) sowie der Verbesserung der Störfestigkeit eines Geräts selbst (Störfestigkeit gegenüber Beeinflussungen von außen). Nachträglich sind sie nur mit erhöhtem Kostenaufwand (z. B. Kabelaustausch, zusätzliche Gehäuse) umzusetzen. Zur Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte geben in der Regel bereits die Hersteller von Frequenzumrichtern entsprechende Informationen, 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.

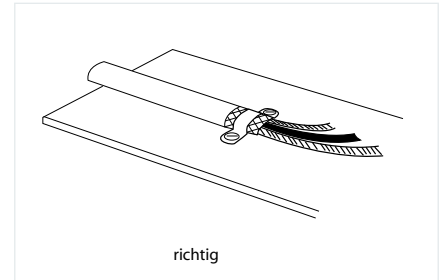
### Geschirmte Kabel und Leitungen

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

feldern 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 23 dieser Broschüre.



falsch



richtig

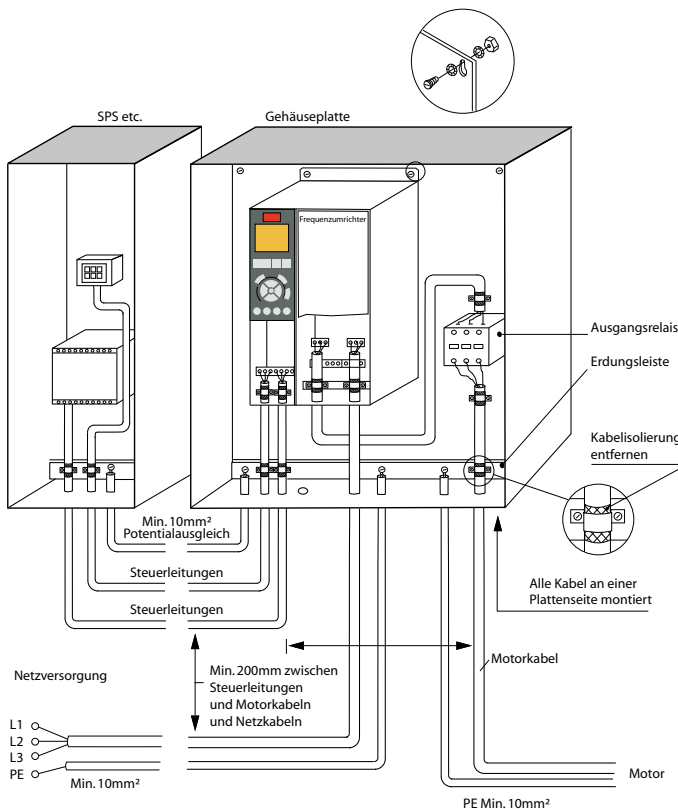
Feldern zu rechnen, die im Umfeld platzierter Komponenten und Anlagenteile ohne Beeinträchtigung ihrer Funktion aushalten müssen. Die Norm verlangt hierbei die Einhaltung der Grenzwerte in einer vorgegebenen Entfernung (z.B. Klasse B entspre-

### Schirmanschluss

Eine wirksame Kabelschirmung lässt sich nur mit Rundumkontaktierung des 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  $< 10 \text{ mm}^2$  zum Einsatz, ist ein separater PE-Leiter mit mindestens  $10 \text{ mm}^2$  vom Umrichter zum Motor zu führen.

## Motorzuleitung

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

## Signalleitung

Der Abstand Motorleitung zu Signalleitung sollte mehr als 20 cm betragen, 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. Trennsteg). 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 NY-CWY) lässt lange Schlitzlängen unbedeckt, aus denen HF-Anteile ungehindert entweichen können. Außerdem ist die Oberfläche für den Ableitstrom deutlich geringer.

Für eine Nachrüstung gibt es Schirmgeflecht als Meterware, das dann – über das Kabel gezogen - die Schirmung übernimmt. Für kurze Verbindungen dienen alternativ Metallschläuche oder -rohre. Kabelkanäle

können nur unter bestimmten Bedingungen eine Schirmung ersetzen (strahlungsdichter Kanal, gute Verbindung der Deckel und der Kanalteile zur Masse).

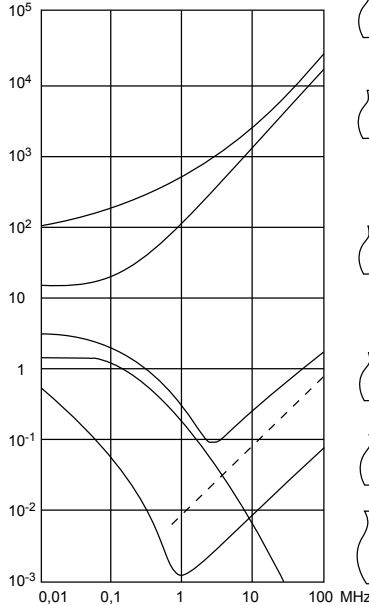
Kabel mit Doppelschirmung verbessern die Bedämpfung der Störaussendung und der Störeinstrahlung weiter. Der Anschluss erfolgt beim inneren Schirm einseitig und beim äußeren zweiseitig. Verdrillte Leitungen reduzieren magnetische Felder. Signalleitungen lassen sich mit Doppelschirm und verdrillt einsetzen. Die Dämpfung steigt dabei bei magnetischen Feldern von etwa 30 dB bei Einzelschirmung auf 60 dB bei Doppelschirmung und auf ca. 75 dB bei zusätzlichem Verdrillen.

## Schirm als Masseleiter?

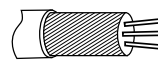
Bei der Nutzung eines Schirmes als Masseleiter, verliert er seine Schirmwirkung. Bei EMV-Problemen kann der Umrichterhersteller deshalb auf mangelnde Schirmung hinweisen.

Übertragungsimpedanz,  $Z_t$

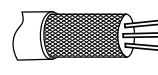
$\text{m}\Omega/\text{m}$



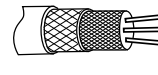
Alu-umantelt mit Kupferdraht



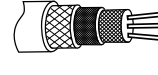
Gewundener Kupferdraht oder bewehrtes Stahlkabel



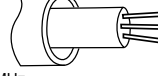
Kupferdraht einlagig, geflochten mit prozentual unterschiedlicher Schirmabdeckung



Kupferdraht zweilagig, geflochten.



Kupferdraht zweilagig, geflochten mit magnetisch abgeschirmter Zwischenlage.



In Kupfer- oder Stahlrohr geführtes Kabel.

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

# 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 Motor-nennstroms  $I_{Nenn}$  bei höchster Belastung der Anlage erfolgen. Dieses Auswahlkriterium ist sicherer, da sich die Motorleistung nicht auf die elektrische Anschlussleistung, sondern auf die mechanische Wellenleistung bezieht. Der Motorwirkungsgrad bleibt dabei also unberücksichtigt. Die kW-Angabe zu einem Frequenzumrichter dagegen bezieht sich auf die Motornennleistung  $P_{Nenn}$  von 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.

### 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 (Drehkolbengebläse).

Bei den meisten Antriebssystemen in der Wasser-/Abwassertechnik 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.

*Bemerkung: Ein 11 kW Frequenzumrichter der VLT® AQUA 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. 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® AQUA Drive sorgt ein spezielles Modulationsverfahren für die volle Motorspannung. Sogar mit bis zu 10 % Unterspannung am Netz werden Motornennspannung und Motornenn Drehmoment aufrecht erhalten.*

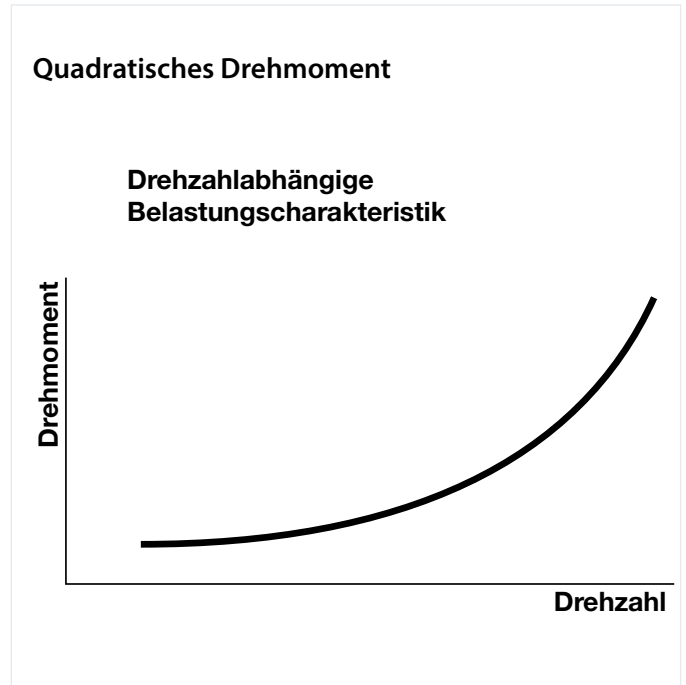
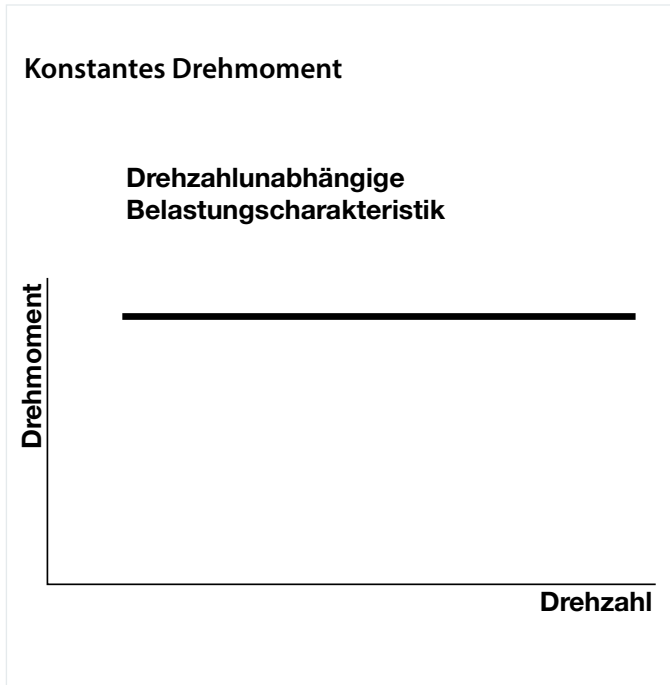
Bei Anwendungen mit konstant hohem Drehmoment sind meist noch Anforderungen für die Beschleunigung bzw. bei Schweranlauf zu beachten. Der Frequenzumrichter muss dann in der Lage sein, dem Motor für kurze Zeit, über das Motornennmoment hinaus, zusätzliche Antriebskraft zur Verfügung zu stellen, um beispielsweise 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 Drehkolbengebläsen 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 Wasser-/Abwassertechnik

## Zuordnung: Kennlinie zur Applikation



### Anwendungen mit konstantem Drehmoment

#### normales Anlaufmoment [110 % Überlast]

- Dosierpumpen
- Drehkolbengebläse
- Oberflächenbelüfter
- Rezirkulationspumpen
- Seitenkanalverdichter

#### hohes Anlaufmoment [150 % Überlast]

- Axialkolbenverdichter
- Drehkolbenverdichter
- Exenterschneckenpumpen (Anlaufmoment beachten!)
- Kolbenpumpen
- Rührwerke
- Schlammwässerungspressen
- Verdichter (außer Turboverdichter)
- Verdrängerpumpen
- Zahnradpumpen
- Zahnradschleusen

### Anwendungen mit quadratischem Drehmoment

- Kreiselpumpen
- Brunnenpumpen <sup>1)</sup>
- Druckerhöhungspumpen
- Filterbeschickungspumpen
- Grundwasserpumpen <sup>1)</sup>
- Heisswasserpumpen
- Heizungspumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)
- Kanalradpumpen (feste Stoffe)
- Kühlwasserpumpen (Primär- & Sekundärkreislauf)
- Regenbeckenentleerungspumpen
- Rücklaufschlammumpen
- Tauchmotorpumpen <sup>1)</sup>
- Turboverdichter
- Unterwasserpumpen <sup>1)</sup>
- Überschußschlammumpen
- Ventilatoren

<sup>1)</sup> Empfehlung eines Sinusfilters.

*Hinweis: Fragen Sie beim Pumpen-/Motorenhersteller nach der Drehmomentkennlinie  $du/dt$  und zulässiger Spitzenspannung am Motor*

# 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.

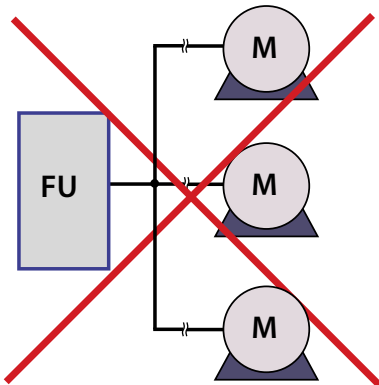
- Für den Motorschutz muss der Betreiber die Kaltleiter der Motoren durchschleifen und der Frequenzumrichter wertet dann dieses durchgeschleifte Signal aus.
- Die angeschlossenen Motoren arbeiten, bezogen auf ihre Nenn-drehzahl, gleich. Das heißt, der Frequenzumrichter steuert sie alle mit derselben 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!*

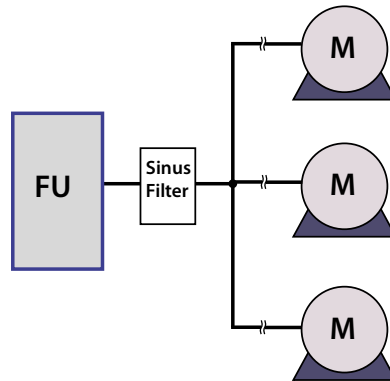
*Beachten Sie auch die Hinweise zum Motorschutz auf der Seite 55.*

## Kabelführung

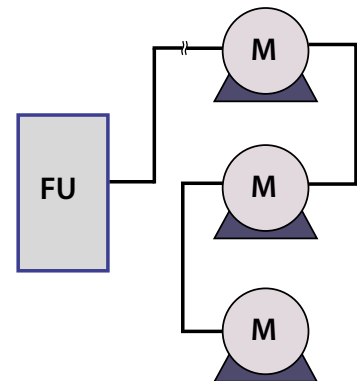
zu vermeiden



Empfehlung



Empfehlung



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 aus.*

## Funkstörungen

### Empfehlungen für die Praxis

Bereits auf den Seiten 18 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 einhalten.

Kommen Funkentstörfilter zum Einsatz, die nicht der Kategorie C1 entsprechen, sondern nur den Kategorien C2 und niedriger, so sind zusätzlich Warnhinweise auf den Frequenzumrichtern anzubringen. Die Verantwortung dafür liegt letztendlich 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 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. Für Funkentstörfilter 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.

Wichtig ist auch die maximal anschließbare Motorkabellänge, bei der der Frequenzumrichter die EMV-Grenzwerte noch einhält. Hier gibt es in der Praxis Unterschiede von 1 m bis zu 50 m. Steigende Motorkabellängen setzen bessere Funkentstörfilter voraus.

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

*Bemerkung: Die Serie VLT® AQUA 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® AQUA Drive hält C1 bis max. 50 m und C2 bis max. 150 m geschirmtes Motorkabel ein.*

# Praxis – EMV-Maßnahmen umsetzen

## Netzurückwirkungen

### Zwischenkreis beeinflusst Netzurückwirkungen

Auf den Seiten 14 ff sind die allgemeinen Grundlagen zu niederfrequenten Netzurückwirkungen und Maßnahmen zu deren Reduktion beschrieben. Der zunehmende Einsatz von Gleichrichterlasten verschärft das Auftreten von Netzurückwirkungen. Gleichrichter nehmen einen nicht sinusförmigen Strom aus dem Netz auf. Netzurückwirkungen bei Frequenzumrichtern entstehen vorwiegend durch die

Zwischenkreiskondensatoren, hervorgerufen durch die Stromnachladung. Dabei fließt der Strom immer nur kurzzeitig in der Nähe des Netzspannungsscheitelpunkts. Durch die hohe Stromstärke bricht die Netzspannung kurzfristig etwas zusammen, die Sinusform der Netzspannung geht verloren. Um das Versorgungsnetz sauber zu halten ist es heute erforderlich, die 5. Harmonische des Stromes auf einen Wert von ca. 40 % THD zu begrenzen. Die Anforderungen sind

in der Netznorm EN 61000-3-12 beschrieben.

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

### Reduzierungsmaßnahmen

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

### Netzdrosseln

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

Der Einsatz einer Netzdrossel im Frequenzumrichter verlängert den Stromfluss zur Aufladung der Zwischenkreiskondensatoren, setzt die Stromstärke (Amplitude) herab und reduziert die Verzerrungen der

Netzspannung deutlich (weniger Netzurückwirkungen). Die Stärke der Verzerrungen der Netzspannung hängt auch von der Güte des Netzes (Trafoimpedanz, Leitungsimpedanzen) ab. Als Faustformel für die angeschlossene Frequenzumrichterlast (bzw. andere 3-phasige Gleichrichterlasten) im Verhältnis zur Speisestrafoleistung gelten die Werte in der Tabelle unten. Bei Überschreitung der Maximalwerte sollten Sie Rücksprache mit dem Hersteller des Frequenzumrichters halten.

Neben der Reduktion der Netzurückwirkungen erhöht die Netzdrossel die Lebensdauer der Zwischenkreiskondensatoren, da sich diese durch das Kappen der Stromspitzen schonender aufladen. Zusätzlich verbessern Netzdrosseln die Spannungsfestigkeit der Frequenzumrichter bei Netztransienten. Aufgrund des geringeren

Eingangstroms fallen die Kabelquerschnitte und Netzsicherungen kleiner aus. Die Drossel kostet jedoch zusätzlich Geld und beansprucht Platz.

*Bemerkung: Bei Frequenzumrichtern der Serie VLT® AQUA 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 (UK 4%) vergleichbar. Der an der Zwischenkreisdrossel auftretende Spannungsabfall, wird vom Frequenzumrichter kompensiert. Dem Motor steht damit die volle Spannung (400 V) zur Verfügung.*

→ Maximal 20 % Frequenzumrichter-Last am Transformator bei FU's ohne Maßnahmen zur Netzurückwirkung, das bedeutet unverdrosselt oder gering verdrosselt (z.B. mit  $U_K 2\%$ )

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

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



# Praxis – EMV-Maßnahmen umsetzen

## 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.

## 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.

## Empfehlung

Eine grundsätzliche Empfehlung für eine der genannten Maßnahmen zur Reduktion von Netzurückwirkungen gibt es nicht. Wichtig ist, bereits während der Planungs- und Projektierungsphase, die Weichen für ein Antriebssystem mit hoher Verfügbarkeit und geringen Netzurückwirkungen und Funkstörungen richtig zu stellen. Prinzipiell gilt:

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

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

*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)*



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

# Praxis – FI-Schutzschalter

## Allstromsensitive Schutzeinrichtung

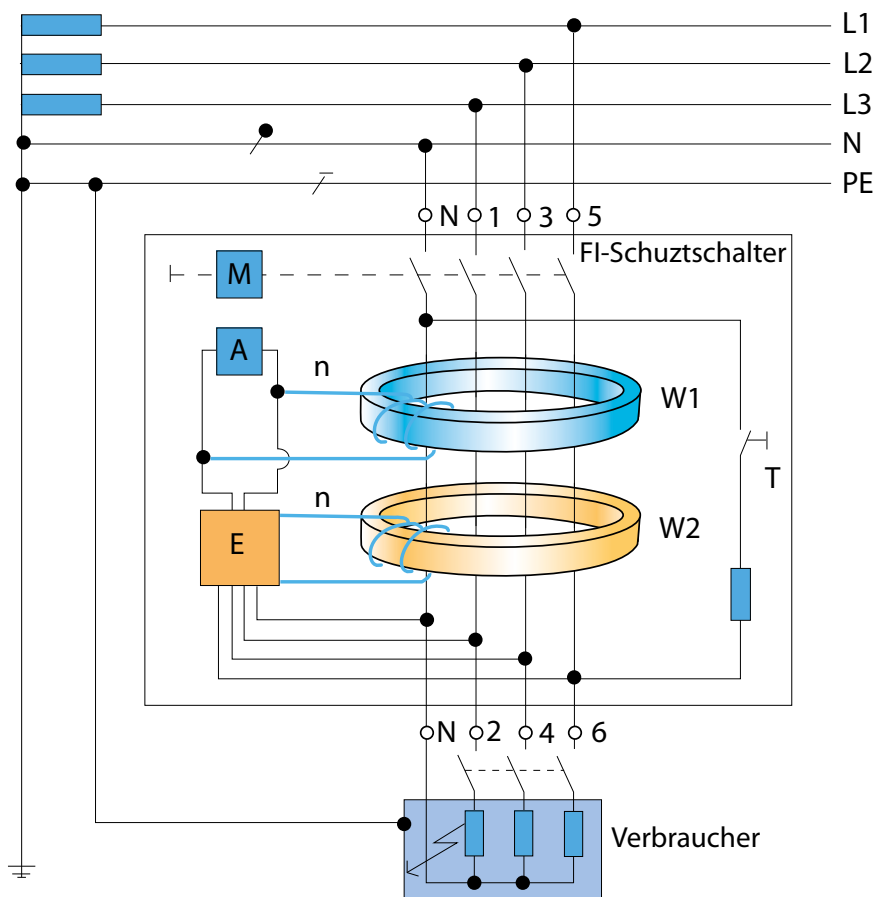
Der Begriff FI-Schutzschalter für spannungsunabhängige Geräte und Differenzstrom-Schutzschalter für spannungsabhängige Geräte wurde bisher im deutschsprachigen Raum verwendet. International werden diese Geräte als Residual Current operated Circuit-Breaker (RCCB) bezeichnet. Der übergeordnete Begriff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

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

### Höhe des Ableitstromes

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Höhe des auftretenden Ableitstromes. Generell gilt: je größer die eingesetzte Leistung, desto höher die Ableitströme, die im Frequenzumrichter und Motor auftreten. Ein Frequenzumrichter ohne Funkentstörmaßnahmen und mit kurzer Leitungslänge (ca. 2 m) zum Motor wird in der Leistungsklasse 1,5 kVA einen Ableitstrom von ca. 4 mA erzeugen. Wird Funkentstörgrad B gefordert, steigt der Ableitstrom bei gleicher Konstellation auf ca. 22 mA an. Ein 20 kVA Frequenzumrichter wird mit Funkentstörgrad B und kurzer geschirmter Motorleitung einen Ableitstrom von ca. 70 mA erzeugen. Für das Motorkabel kann der Anwender mit 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 33 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 Geräte-seite 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, Schief-last) erheblich über die Nennwerte ansteigen können. Um gefährliche Spannungen zu vermeiden, sind

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

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

Es handelt sich bei Ableitströmen um hochfrequente Störgrößen. 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  $> 3,5 \text{ mA}$  schreibt die EN 50178 besondere Erdungsmaßnahmen vor.*

## Motorschutz und Motorkaltleiter

Frequenzumrichter übernehmen den Motorschutz gegen Überstrom. Für bestmöglichen Motorschutz kommen Thermistorfühler oder Thermokontakte in der Motorwicklung zum Einsatz. Die Auswertung erfolgt über entsprechende Eingangsklemmen am Frequenzumrichter.

Die Gerätschutzfunktion von Motorschutzschaltern ist auf den direkten Netzbetrieb beschränkt. In Schaltanlagen mit Frequenzumrichtern würden sie nur noch bei Umgehung des Frequenzumrichters im Notfall, über eine Bypass-Schaltung, als Motorschutz wirken können. Die eigentliche Motorschutzfunktion des Schalters

geht beim Umrichterbetrieb verloren. Dennoch kann er bei korrekter Dimensionierung als Dreiphasen-Leistungsschalter 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 Grundsatzschutz für den Motor zu gewährleisten.*

# 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 Hand- und Fernbetrieb zulassen.



Einfache numerische Bedieneinheiten sind preisgünstig.  
Grafische Bedieneinheiten bieten besseren Bedienkomfort und Informationen im Klartext.



**design award  
winner**

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

# 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 teure Stillstands- und Ausfallzeiten der Anlage. Ebenso sollte das Display über eine integrierte Hilfefunktion für die einzelnen Funktionen verfügen, um dem

Inbetriebnehmer oder Servicetechniker jederzeit eine Hilfestellung – vor allem bei selten benutzten Parametern – zu geben, um auch hier eine Fehlbedienung weitestgehend auszuschließen.

Für die optimale Nutzung von integrierten Diagnosefunktionen ist neben einer alphanumerischen Anzeige auch die Möglichkeit zur Darstellung von grafischen Verläufen (sogenannte Scope-Funktion) sehr hilfreich. Häufig erleichtert eine solche Visualisierung, beispielsweise der Rampenformen und/oder des Drehmomentverlaufes, die Fehlersuche.

## Einheitliches Konzept

In wasser- und abwassertechnischen 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 gleichen Bedieneinheit über den gesamten Leistungsbereich, bietet dem Anlagenbauer und auch dem Anlagenbetreiber Vorteile.

Grundsätzlich gilt: Je einfacher die Bedienung, desto schneller und effektiver kann eine Inbetriebnahme oder eventuelle Fehlersuche erfolgen. Bewährt haben sich daher Konzepte mit während des Betriebs steckbaren Bedieneinheiten.

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

## Integriert in die Schaltschranktür

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

*Frequenzumrichter lassen sich auch bei geschlossener Schaltschranktür parametrieren und auslesen.*

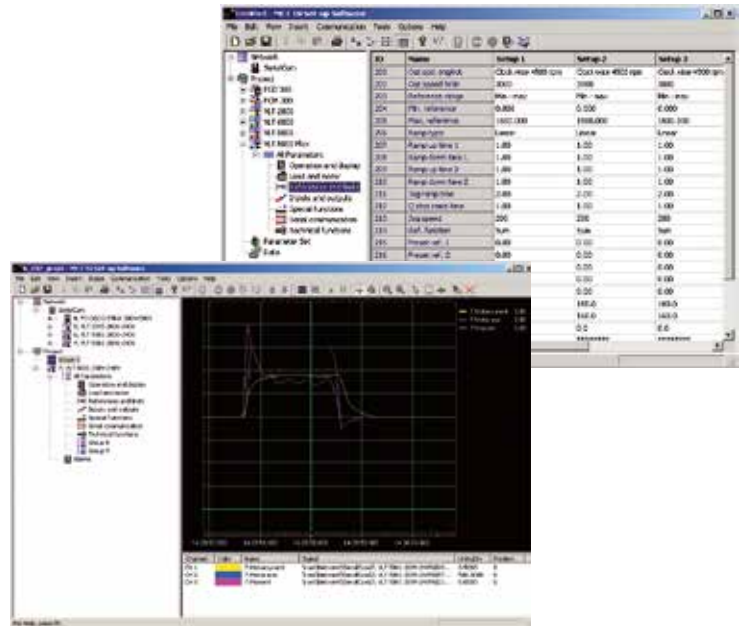


# Praxis – Bedienung und Parametrierung mittels PC

## Erweiterte Möglichkeiten

Neben der Bedienung über ein Bedienteil, bieten modernere Frequenzumrichter, in der Regel, die Möglichkeit der Parametrierung und Datenauslese über eine PC-Software. Diese Software ist meist Windows-basiert und unterstützt mehrere Kommunikationsschnittstellen. Sie erlauben den Datenaustausch über die klassische RS-485-Schnittstelle, über Feldbus ( PROFIBUS DPV1, 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® AQUA Drive Serie bereit. Die Basis Version der Software ist kostenlos und kann von der Webseite [www.danfoss.de/software](http://www.danfoss.de/software) geladen werden.*



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



# 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 einer SPS 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. PROFIBUS in das Leitsystem integrieren. Mit nur einem einzigen Hardware-Datenpunkt haben sie dann den vollen Zugriff auf alle Parameter der installierten Frequenzumrichter. Inbetriebnahme und Verdrahtung vereinfachen sich, was bereits bei der Installation zu Kosteneinsparungen führt. Ohne zusätzliche Komponenten steht eine Vielzahl von Daten für ein effektives Anlagenmanagement zur Verfügung. Die Aufschlüsselung der Sammelstörmeldungen ermöglicht es, bereits aus der Ferne Ursachen einzugrenzen und die richtigen Schritte zur Fehlerbehebung einzuleiten.

## Besseres Alarmmanagement

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

*Bemerkung: Die Remote Guardian Option RGO 100 setzt Maßstäbe bei Monitoring, Wartung und Alarmierung von Frequenzumrichtern innerhalb einer oder mehrerer Anlagen. Sie ermöglicht typische Aufgaben wie Fernwirken, Fernwarten, Alarmierung, Daten-Logging bei der Anlagenkonfiguration und -überwachung.*

## 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 Hardware-Datenpunkt ausreicht.
- Ohne zusätzliche Komponenten stehen Überwachungsfunktionen wie Motorkaltleiterüberwachung, Trockenlaufschutz, usw. sowie Leistungs- und Betriebsstundenzähler zur Verfügung.

## Vereinfachte Inbetriebnahme

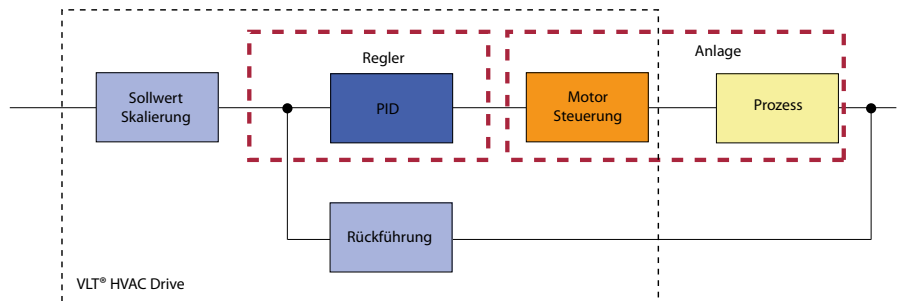
Die Parametrierung erfolgt von der Leitwarte aus. Alle Einstellungen lassen sich schnell und einfach von Frequenzumrichter zu Frequenzumrichter kopieren. Im Speicher des Displays lässt sich eine Sicherung der Einstellungen dauerhaft ablegen. Planer und Inbetriebnahmepersonal können eine Dokumentation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



# Praxis – Weitere Auswahlfaktoren

## Prozessregler

Frequenzumrichter sind heutzutage intelligente Antriebsregler. Sie sind in der Lage Aufgaben oder Funktionen der SPS zu übernehmen. Durch implementierte Prozessregler lassen sich auch unabhängiger Regelkreise mit hoher Genauigkeit aufbauen. Dieser Aspekt ist vor allem beim nachträglichen Einbau interessant, wenn in der Anlage nicht mehr genügend SPS-Kapazität zur Verfügung steht oder gar keine SPS 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 Geräts. Je nach Qualität der eingesetzten Kondensatoren altern sie langsamer oder schneller. Die Formierung wirkt diesem Prozess entgegen.

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



# VLT® AQUA Drive

Danfoss hat den VLT® AQUA Drive speziell für Anwendungen in der Wasser-/ Abwassertechnik entwickelt. Im Gegensatz zu vielen anderen Fabrikanten 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 Netzurückwirkdrossel ( $U_k$  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
- Trockenlaufschutz
- Durchflussüberwachung auf der Druckseite
- Laufzeitgesteuerter Pumpenwechsel
- Verschleißmindernder Pumpenstart
- Rohrfüllfunktion zur Vermeidung von Wasserschlägen
- Optional mit integrierter PROFIBUS- oder PROFINet Anbindung (auch mit ext. 24 V DC Spannungsversorgung)
- Integrierter Kaskadenregler für 3 Pumpen
- Optional mit einfachem oder erweiterten Kaskadenregler
- Optional aktive und passive Netzfilter zur weiteren Oberwellenreduzierung
- Optional Sinusfilter und du/dt-Filter für alle Leistungsgrößen
- VLT® AQUA 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](http://www.danfoss.de/vlt)  
[www.danfoss.at/vlt](http://www.danfoss.at/vlt)  
[www.danfoss.ch/vlt](http://www.danfoss.ch/vlt)



Der VLT® AQUA Drive ist in den Leistungen 0,37 kW bis 1,4 MW und den Spannungen 400 V und 690 V erhältlich. Zur Reduktion von Netzurückwirkungen ist er auch als Low Harmonic Drive erhältlich.

# Richtlinien in Bezug auf Frequenzumrichter

## CE-Zeichen

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

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

richtlinie, die EMV-Richtlinie und die Niederspannungsrichtlinie zu beachten.

## Maschinenrichtlinie

Die Anwendung der 2006/42/EG Maschinenrichtlinie ist ab dem 29.12.2009 verbindlich. Die Maschinenrichtlinie 98/37/EG tritt damit außer Kraft. Die Kernaussage darin 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 Maschi-

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

## EMV-Richtlinie

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

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

## Symbole

1. Umgebung / Klasse B	23
1. und 2. Umgebung	23
2. Umgebung / Klasse A	23
12, 18- oder 24-pulsige	17

## A

Abgeschirmten Kabel	38
Ableitstrom	43, 50
Ableitströme	51
Abschirmung	43
Active Front End	20, 49
Active Front End und Low Harmonic Drives	49
AEO-Funktion (Automatische Energie Optimierung)	8
Aggressive Luft oder Gase	29
Aktive Filter	18, 49
Allstromsensitive Schutzeinrichtung	50
Anlagenmanagement	55
Anlaufstrombegrenzung	7
Anschlussleistung	44
ATEX-Richtlinie	31
Ausgangsfilter	37, 38
Ausgangsspannung	40
Auslegung	46
Auswahl der Frequenzumrichter	44

## B

Bedieneinheiten	52
Bedienkonzept	52
Beschichtung	29
Besseres Alarmmanagement	55
Besseres Anlagenmanagement	55
Betrieb	36
BLDC	35
Blindstromkompensation	24
Brush Less Direct Current	35
Bussysteme	55

## C

CE-Zeichen	58
Common Mode Filter	39

## D

DASM	35, 36
Datenanzeige	52
Datenaustausch	54, 55
Display	53
Drehmomentkennlinie	45
Drehstromasynchronmotoren	35, 36
Drehstrommotoren	32
Drosseln	16
Druckfeste Kapselung „d“	31
du/dt-Filter	39

## E

EC	35
eff-Klassifizierung	32
Einbauort	26
Einheitliches Konzept	53
Einsparpotenzial	10
Einsparung bei der Installation	55
Electrical Commutated	35
Elektrische und magnetische Felder	12
Elektromagnetische Einflüsse	12
Elektromagnetische Störungen	13
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	12
elektronische Drehzahlregelung	7
Empfehlung	49
EMV-Richtlinie	58
EN 55011	22, 23, 47
EN 61000-4-1	24
EN 61800-3	22, 23, 47
Energiekosten senken	9
Energiesparen	40
Erdungsmaßnahmen	41, 51
Erdungsplan	41
Erhöhte Lebensdauer	7
Erhöhte Sicherheit „e“	31
Erhöhte Verluste	15
Ersatzschaltbild	35
Erweiterter Regelbereich	7
Ex-gefährdete Bereiche	31

## F

Feldschwächbereich	36
Feldschwächung	36
Filtermatten	30, 56
FI-Schutzschalter	50
Frequenzumrichter	15, 43
Funkentstörung	47
Funkstörgrenzwerte	43
Funktstörungen	47

## G

Galvanische Kopplung	13
Geringere Geräuschentwicklung	7
Geschirmte Kabel	43
Geschirmte Kabel und Leitungen	42
Gesetzliche Grundlage	14
Gleichrichter	17, 49

## H

Harmonic Calculation Software	15
HCS	15
Hochfrequente Einflüsse	13
Hochfrequente Funkstörungen	22
hochfrequenten Störgrößen	22
Hoher Wirkungsgrad	35
Hohes Energieeinsparpotenzial	7

# Stichwortverzeichnis

<b>I</b>	
IEC 60034-30	32
IEC 60034-31	32
IEC 60529	27
IE-Klassen	32
induktive Kopplung	13
Integriert in die Schaltschranktür	53
IP Schutzklassen	27
Isolationsbeanspruchung	37
IT-Netze	11
<b>K</b>	
Kabeldimensionierung	40
Kabelführung	46
Kabelgebundene und Strahlungseinflüsse	13
Kabel mit geeigneter	40
Kabelquerschnitt	40
Kabelschirmung	42
Kabeltypen	40
Kapazitive Kopplung	13
Kondensatoren	56
Konstantes Drehmoment	45
Konstantes oder quadratisches Drehmoment	44
Kontaktstellen	41
Kopplungsmechanismen	13
Kreisströme	38
Kühlkonzept	28
Kühllüfter	30
Kühlung	28
<b>L</b>	
Lagerbeanspruchung	37
Lagerströme	37, 38
Lagerung	56
Lastmomente in der Wasser-/Abwassertechnik	45
LC-Filter	38
Lebenszykluskosten - LCC	9
Leistungsfaktor	16, 24
Leiteroberfläche	41
Leitfähige Materialien	41
Lokale Bedienung	53
Low Harmonic Drive	20
Low Harmonic Drives	49
Luftfeuchtigkeit	28
<b>M</b>	
Maschinenrichtlinie	58
Masseverbindung	43
Maßnahmen zur Reduzierung von	
Oberschwingungen	21
Mehrmotorenbetrieb	46
MEPS	32, 33
Mindestwirkungsgrade	33
Mindestwirkungsgradklassen	32
<b>Motoreignung</b>	
Motoreignung	37
Motorfilter	38
Motorisolation	37
Motorkabel	38, 40
Motorkaltleiter	51
Motorkaltleiterauswertung	31
Motorkaltleiterüberwachung	55
Motorleistungen	43
Motorleitung	42
Motorschutz	51
Motorschutzschalter	51
Motorzuleitung	43
<b>N</b>	
Nachträglicher Einbau	7
Nennstrom	44
Netzberechnungsprogramme	25
Netzdrosseln	48
Netzeinbrüche	20
Netzform	11
Netzqualität	49
Netzurückwirkungen	13, 14, 15, 48
Netzurückwirkungsfreie Frequenzumrichter	15
Netzspannungsqualität	14, 15, 16
Netztransienten	24
Nicht abgeschirmten Kabel	38
Niederfrequente Einflüsse	13
Niederspannungsrichtlinie	41, 58
Normen und Richtlinien	22
Normgehäuse	36
Notstromgenerator	25
<b>O</b>	
Oberschwingungen	13, 14
Oberschwingungsbelastung	25
Optimale Betriebspunktanpassung	7
Optimierung des Wirkungsgrads	8
<b>P</b>	
Parametrierung mittels PC	54
Passive Filter	17, 49
PC-Software	54
Planer Checkliste	65
PM-Motoren	34
Potentialausgleich	41
Power Factor Correction	20
Produktnorm	22
Proportionalitätsgesetze	8
Prozessregler	56
Pulszahl	49

# Stichwortverzeichnis

<b>Q</b>		
Quadratisches Drehmoment	45	
<b>R</b>		
RCD	50	
Reduzierter Anlagenverschleiß	7	
Reduzierungsmaßnahmen	48	
<b>S</b>		
Schirm	42	
Schirmabdeckung	40	
Schirmanschluss	42	
Schirmarten	43	
Schirmung	40, 41	
Schirmungsmaßnahmen	42	
Schirmunterbrechungen	42	
Schlanker Zwischenkreis	19	
Schutzart IP00/20	26	
Schutzart IP54/55	26	
Schutzart IP66	26	
Signalleitung	43	
Sinusfilter	38	
Skin-Effekt	41	
Spannungsabfall	40	
Spannungsanstiegsgeschwindigkeit	37	
Spannungsqualität	25	
Spezialbereiche	23	
Staubbelastung	30	
Sternförmiges Erdungssystem	41	
Störabstrahlung	47	
Störfestigkeit	42	
Störquelle	13, 42	
Störsenke	13	
Strahlungskopplung	13	
Strombelastbarkeitskriterien	40	
Stromquelle	49	
Strömungsmaschinen	44	
Synchronmotoren	34, 35	
<b>T</b>		
Taktfrequenz	20	
Thermische Beanspruchung	37	
Thermistorfühler	51	
Thermokontakte	51	
TN-C	11	
TN-Netze	11	
TN-S	11	
Total Harmonic Distortion	14	
Transformator	25	
Trockenlaufschutz	55	
TT-Netze	11	
<b>U</b>		
Überlastfähigkeit	44	
Übermoment	44	
Übersichtliche Anzeige	53	
Übersynchron	36	
Übersynchroner Bereich	7	
Übersynchroner Betrieb	36	
Umgebungstemperaturen	28	
Umweltbedingungen	26	
Unterspannungswarnungen	15	
<b>V</b>		
Vereinfachte Inbetriebnahme	55	
Verminderte Kühlung	30	
Versorgungsnetze in Gefahr	14	
<b>W</b>		
Wartung	56	
Wartungsintervalle	30	
<b>Z</b>		
Zoneneinteilung	30	
Zwischenkreis	16, 20, 48	
Zwischenkreisspannung	36	

## 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
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	Dauerbetrieb
S3	Aussetzbetrieb
THD	Total Harmonic Disturbtion (Gesamte harmonische Verzerrung)
Trafo	Transformator





### Motor und Verkabelung

<input type="checkbox"/>	Motorwirkungsgrad- klassen	Auswahl eines energieeffizien- ten Motors.
<input type="checkbox"/>	Motoreignung für FU- Betrieb	FU-Betrieb vom Motorlieferan- ten bestätigen lassen.
<input type="checkbox"/>	Ausgangsfilter: Sinus oder du/dt	Zusätzliche Filter für besondere Einsatzfälle.
<input type="checkbox"/>	Motorkabel	Kabel mit geeigneter Schir- mung verwenden. Max. Kabelanschlußlänge des FU beachten.
<input type="checkbox"/>	Erdungsmaßnahmen	Auf richtigen Potentialausgleich achten. Liegt ein Erdungsplan vor?
<input type="checkbox"/>	Schirmungsmaßnahmen	EMV-Verschraubungen ver- wenden und Schirm richtig auflegen.



### Frequenzumrichter

<input type="checkbox"/>	Dimensionierung und Auswahl	Auslegung nach Motorstrom. Spannungsverluste berücksich- tigen.
<input type="checkbox"/>	Sonderfall Mehrmotorenbetrieb	Hier gelten besondere Bedin- gungen.
<input type="checkbox"/>	Funktstörungen (hochfrequent)	Passenden Funkentstörfilter für vorliegende EMV-Umgebung vorgeben.
<input type="checkbox"/>	Netzurückwirkungen (niederfrequent)	Netzurückwirkdrosseln zur Redu- zierung des Oberwellenstroms einsetzen.
<input type="checkbox"/>	Erdungsmaßnahmen	Sind Maßnahmen gegen Ableit- ströme getroffen?
<input type="checkbox"/>	FI-Schutzschalter	Nur allstromsensitive FI-Schutz- schalter verwenden.
<input type="checkbox"/>	Motorschutz und Motorkaltleiter	Motor Kaltleiter wird vom FU ausgewertet. (EX-Bereich PTB-Zulassung)
<input type="checkbox"/>	Bedienung und Daten- anzeige	Bedienung und Visualisierung über Klartextdisplay (Einbau in Schaltschranktür).
<input type="checkbox"/>	Datenaustausch (Bussys- teme)	Über Bussystem (z.B. PROFIBUS) oder über herkömmliche Klem- menverdrahtung.
<input type="checkbox"/>	Prozessregler	FU können SPS-Aufgaben übernehmen oder Aufbau eines autarken Regelkreises.
<input type="checkbox"/>	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 5040-0, 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 Übernahme und Anwendung zu prüfen. Der Käufer kann aus diesen Unter-  
lagen 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 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.





## Planer Checkliste Frequenzumrichter

### 4 Schritte zur grundsätzlichen FU-Auslegung einer betriebssicheren Anlage in der Wasser-/Abwassertechnik

Beginnend nach der Festlegung der Antriebsaufgabe und der Drehmomentcharakteristik



#### Netzversorgung

<input type="checkbox"/>	Netzform: TN-C, TN-S, TT, IT	TN-S ist günstig bzgl. EMV. In IT-Netzen sind besondere Maßnahmen erforderlich.
<input type="checkbox"/>	EMV	EMV-Normen und deren Grenzwerte beachten.
<input type="checkbox"/>	Netzurückwirkungen (niederfrequent)	Wie hoch ist die Netzvorbelastung? Wie hoch darf der max. Oberwellenstrom (THD) sein?
<input type="checkbox"/>	Funkstörungen (hochfrequent)	Zu welcher EMV-Umgebung (1. oder 2. Umgebung) gehört die Anlage?
<input type="checkbox"/>	Blindstromkompensationsanlagen	Kompensationsanlagen verdrosselt ausführen.
<input type="checkbox"/>	Netztransienten	Sind die FU ausreichend gegen Netztransienten geschützt?
<input type="checkbox"/>	max. Transformatorauslastung	Faustformel für die Trafobelastung: ca. 40 % FU-Last (verdrosselt).
<input type="checkbox"/>	Betrieb am Notstromgenerator	Hier gelten für FU andere Bedingungen als bei Netzbetrieb.



#### Umgebungsbedingung

<input type="checkbox"/>	Einbauort	FU-Montage zentral in Schaltschrank (IP20) oder dezentral an der Wand (IP54, IP 55 oder IP66)?
<input type="checkbox"/>	Kühlkonzept	Kühlung von Schaltschrank und FU; Hohe Temperaturen schädigen alle elektron. Bauelemente.
<input type="checkbox"/>	Aggressive Luft / Gase	Lackierte Platinen gegen die aggressiven Gase Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S, Chlor CL <sub>2</sub> und Ammoniak NH <sub>3</sub> .
<input type="checkbox"/>	Staubbelastung	Staub auf und in den FU beeinträchtigt die Kühlwirkung.
<input type="checkbox"/>	Ex-gefährdete Bereiche	Hier gelten für FU Einschränkungen.

# 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 Fertigungsstätten für VLT® Frequenzumrichter sind gemäß den Standards ISO 14001 und ISO 9001 zertifiziert. Alle Aktivitäten von Danfoss berücksichtigen den Mitarbeiter, die Arbeitsplätze und die Umwelt. So erzeugt die Produktion nur ein absolutes Minimum an Lärm, Emissionen und anderen Umweltbelastungen. Daneben sorgt Danfoss für eine umweltgerechte Entsorgung von Abfällen und Altprodukten.

## UN Global Compact

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

## 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 VLT Drives ist weltweit einer der führenden Antriebstechnikhersteller. Bereits 1968 stellte Danfoss den weltweit ersten in Serie produzierten Frequenzumrichter für Drehstrommotoren vor und hat sich seitdem auf die Lösung 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 VLT Drives Zentrale in Graasten, Dänemark, entwickeln, fertigen, beraten, verkaufen und warten 2500 Mitarbeiter in mehr als 100 Ländern die Danfoss Antriebslösungen.

## Die modularen Frequenzumrichter

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

## Vertrauen Sie Experten – weltweit.

Um die Qualität unserer Produkte jederzeit sicherzustellen, kontrolliert und überwacht Danfoss Drives die Entwicklung jedes wichtigen Elements in den Produkten. So verfügt der Konzern über eine eigene Forschung und Softwareentwicklung sowie eine moderne Fertigung für Hardware, Leistungsteile, Platinen und Zubehör.

VLT® Frequenzumrichter arbeiten weltweit in verschiedensten Anwendungen. Dabei unterstützen die Experten von Danfoss Drives unsere Kunden mit umfangreichem Spezialwissen über die jeweiligen Anwendungen. Umfassende Beratung und schneller Service sorgen für die optimale Lösung bei höchster Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Eine Aufgabe ist erst beendet, wenn Sie als Kunde mit der Antriebslösung zufrieden sind.



### Deutschland:

**Danfoss GmbH**

**VLT® Antriebstechnik**

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

### Österreich:

**Danfoss Gesellschaft m.b.H.**

**VLT® Antriebstechnik**

Danfoss Straße 8, A-2353 Guntramsdorf  
Tel: +43 2236 5040-0, Telefax: +43 2236 5040-35  
[www.danfoss.at/vlt](http://www.danfoss.at/vlt)

### Schweiz:

**Danfoss AG**

**VLT® Antriebstechnik,**

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

Die in Katalogen, Prospekten und anderen schriftlichen Unterlagen, wie z.B. Zeichnungen und Vorschlägen enthaltenen Angaben und technischen Daten sind vom Käufer vor Übernahme und Anwendung zu prüfen. Der Käufer kann aus diesen Unterlagen und zusätzlichen Diensten keinerlei Ansprüche gegen Danfoss oder Danfoss-Mitarbeiter 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 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.