



# Verdrahtungs- Richtlinie

Rev. 1.9

© 2008 by Indel AG, all Rights Reserved  
Indel AG  
Tüfiwis 26  
CH-8332 Russikon

**Revision**

<b>Rev.</b>	0.1	950911-M.Koch	Erster Entwurf
<b>Rev.</b>	1.0	950924-M.Koch	Erste ausgelieferte Version
<b>Rev.</b>	1.1	970120-M.Koch	Kapitel Erdung
<b>Rev.</b>	1.2	971001-M.Koch	Kapitel Frequenzumformer ergänzt
<b>Rev.</b>	1.3	981104-M.Koch	Kapitel Frequenzumformer ergänzt
<b>Rev.</b>	1.4	990525-M.Koch	Kapitel Frequenzumformer ergänzt, Kapitel Ferrite eingefügt
<b>Rev.</b>	1.5	000218-M.Koch	Kapitel Schirmung ergänzt
<b>Rev.</b>	1.6	020530-M.Koch	Kapitel Beschaltung von Lasten und Kontakten erweitert
<b>Rev.</b>	1.7	020704-M.Koch	Schirmung FU
<b>Rev.</b>	1.8	080807-M.Koch	Diverse Erweiterungen
<b>Rev.</b>	1.9	090617-M.Koch	Diverse DC-Motor

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zweck der Richtlinie .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Eingangsfiler, Netzfilter .....</b>	<b>5</b>
2.1	Filterung von Baugruppen .....	5
2.2	Netzeinführungs-Filter .....	5
<b>3</b>	<b>Ferrite .....</b>	<b>6</b>
3.1	Filtertypen .....	6
3.2	Applikationen .....	6
<b>4</b>	<b>Schirmung .....</b>	<b>7</b>
4.1	Potentialausgleichsleiter .....	8
4.2	Erdleiter .....	8
4.3	Schnittstellenkabel .....	8
<b>5</b>	<b>Erdung.....</b>	<b>9</b>
5.1	Schrankerdung .....	9
5.2	Kupal.....	9
<b>6</b>	<b>Schrankbeleuchtung.....</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>ESD-Sicherheit .....</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Kapazitive Endschalter .....</b>	<b>11</b>
8.1	Montage der Sensoren .....	11
8.2	Verdrahtung der Sensoren .....	11
8.3	Einsatz.....	11
<b>9</b>	<b>Drahtführung .....</b>	<b>12</b>
9.1	Kabelkategorien .....	12
9.2	Beispiel für Schaltschrank-Layout.....	14
9.3	Im Schaltschrank.....	15
<b>10</b>	<b>Beschaltung von Lasten und Kontakten .....</b>	<b>16</b>
10.1	Wirkung der Beschaltung von Lasten .....	16
10.2	Schalten von kapazitiven Lasten .....	16
10.3	Schalten von induktiven Lasten.....	17
10.4	Beispiele.....	20
<b>11</b>	<b>Frequenzumformer .....</b>	<b>21</b>
11.1	Schirmung der Motorenkabel .....	21
11.2	Ausführung der Motorleitung.....	22
11.3	Netzdrossel .....	23
11.4	Netzfilter .....	23
11.5	Motorleitungs-drosseln / Motorleitungsfilter .....	25

11.6	DC-Motoren entstören.....	25
------	---------------------------	----

## 1 Zweck der Richtlinie

Diese Verdrahtungsrichtlinie richtet sich an Anlagen- und Steuerungsbauer die mit den Normen für EMV-Kompatibilität konfrontiert sind. Sie richtet sich auch an den Elektromonteur der beim Verdrahten und Aufstellen der Anlage ebenfalls Verantwortung für die Sicherstellung der EMV übernimmt. In diesem Sinne sind gewisse Kenntnisse zur Thematik unerlässlich.

Sinn und Zweck dieses Dokumentes ist es die EMV-Sicherheit in der Konzeptionierungsphase und in der Seriefertigung miteinzubeziehen.

Werden alle Vorschläge und Regeln dieser Richtlinie sorgfältig umgesetzt, besteht eine grosse Wahrscheinlichkeit, dass das Produkt ohne zusätzliche Anstrengungen und mit einem minimierten Kostenaufwand die CE-Konformität erreicht und sich beim Kunden robust gegenüber Störeinflüssen verhält.

Die Massnahmen zur Verminderung der Störanfälligkeit der Maschine oder Anlage wirkt sich auch positiv auf die Emissionen des Produktes aus.

## 2 Eingangsfiler, Netzfilter

### 2.1 Filterung von Baugruppen

Grundsätzlich empfiehlt es sich, alle dezentralen Steuerungsmodule, Messwandler, Elektronik-baugruppen, usw. mit einem Netzfilter zu versehen, sofern diese nicht bereits über ein internes, den Anforderungen genügendes Filter verfügen. Siehe auch Kapitel 0 Filterung der Umformer.

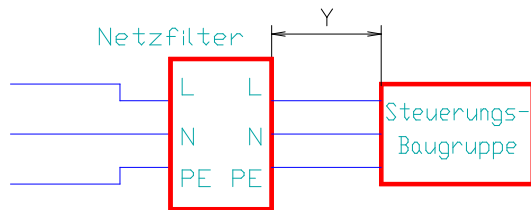


Abb. 1 korrekte Filterung einer Baugruppe

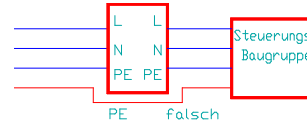


Abb. 2 falsche Filterung einer Baugruppe

Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Das Filter muss auf einem blanken, leitenden Untergrund montiert werden, der zur Geräte-Masse gehört. *Isoliert montierte Filter verhindern das Abfließen von Störungen und machen es wirkungslos.*
- Der Absand Y zwischen Filter und Baugruppe muss so kurz wie möglich gehalten werden. (cm)
- Filter Ein- und Ausgangsleiter dürfen nicht parallel geführt werden.
- Auf dem Kabelabschnitt Y möglichst keine anderen Leitungen parallel führen.
- Sämtliche Pol-, Null- und Erdleiter durch das Filter führen. (Abb. 1, Abb. 2,) *Kapazitive und induktive Kopplung.*

### 2.2 Netzeinführungs-Filter

Für die Niederspannungs-Einführung in Steuerschränke, Geräte, usw. ist ein Netzfilter vorzusehen. *Reduziert Störeinkopplung und Störabstrahlung.*

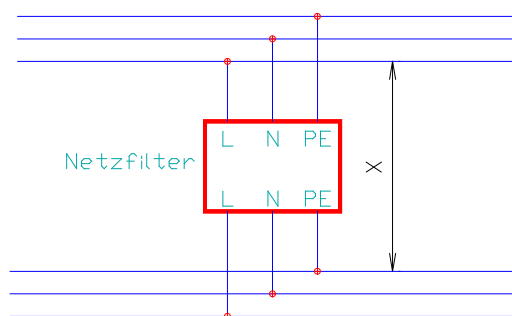


Abb. 3 Netzfilter

Um die volle Wirksamkeit des Filters zu erreichen sind folgende Punkte einzuhalten:

- Das Filter direkt bei der Kabeleinführung auf metallischem Untergrund montieren. *Wird das Filter zu weit weg von der Kabeleinführung montiert, können Leitungsgebundene Störungen ins innere des Schrankes gelangen und sich verteilen oder den Schrank verlassen.*
- Parallele Kabelführung von Filter Ein- und Ausgangsleitungen vermeiden.
- Der Abstand X zwischen Ein- und Ausgangsleitungen soll mindestens 10..20cm betragen.

Der Erdanschluss am Filtergehäuse ist kein EMV-Schutz sondern eine Sicherheitsmassnahme gegen ungewollte Berührung.

### 3 Ferrite

#### 3.1 Filtertypen

##### Vakuumschmelze Ferrite

Ferrite mit grösstmöglicher Permeabilität. Nur für symmetrische Störungen verwenden, da diese bei asynchronen Störungen sehr schnell in die Sättigung geraten. (z.B. für Geräte mit doppelter Isolierung → nur Phase und Neutralleiter)

#### 3.2 Applikationen

##### Filterung von niederfrequenten, leitungsgebundenen, symmetrischen Störungen

Wenn selbst hohe Kapazitäten (800F) bei symmetrische Störungen im Bereich ab 150kHz keine Verbesserung bringen, kann mit Eisenpulverferriten eine starke Verbesserung der Filterwirkung erreicht werden:

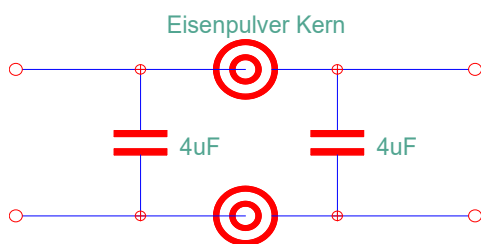


Abb. 4 Eisenpulver-Kern

Anstelle von einem 800F Kondensator werden zwei 400F Kapazitäten parallel geschaltet. Dazwischen werden zwei Eisenpulver Kerne geschaltet. Die Induktivitäten bewirken eine optimale Fehlanpassung zwischen Quelle und Last, sodass die Filterwirkung verbessert wird.

## 4 Schirmung

Empfindliche Leitungen wie z.B. Analogsignale, Datenleitungen, Messleitungen, usw. werden mit geschirmten Kabeln vor Störeinflüssen geschützt. Die fachgerechte Montage des Schirmes entscheidet über die Wirksamkeit des Schirmschutzes.

*Der Schirm hat die Aufgabe das „Gehäuse“ um die Kabel herum zu verlängern.*

Bei der Kabeleinführung in den Schaltschrank ist eine Schirmschiene vorzusehen. Diese Schiene muss gut leitend mit der Montageplatte oder mit dem Chassis verbunden sein. Sämtliche Schirme werden auf dieser Schiene aufgelegt. Zur Befestigung eignen sich metallische Briden die eine rundum-Kontaktierung des Schirmes ermöglichen. (Abb. 5)

Die Rundum-Kontaktierung ist das Wesentliche bei der Schirmauflegung. Schlechte Masse-verbindungen machen sich bei starken Elektromagnetischen Feldern bemerkbar.

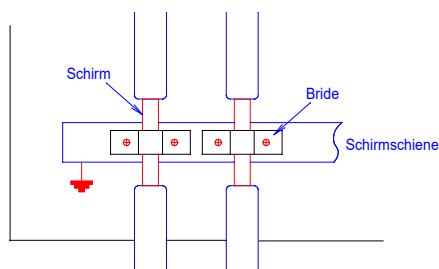


Abb. 5 Schirmerdung mit Briden

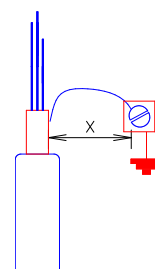


Abb. 6 Schirmerdung mit Draht

**X=3cm max.**

### Motorzuleitung

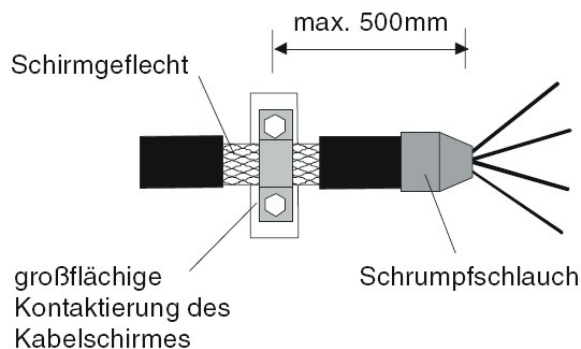
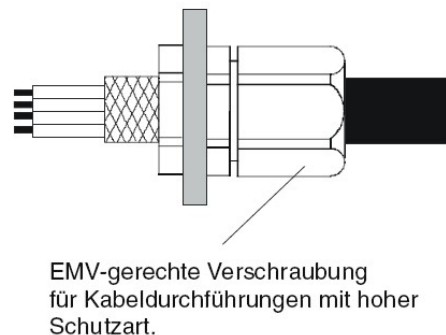


Abb. 6 Schirmung

### Kabeldurchführung



Schirme die nicht auf einer Sammelschiene oder direkt auf der Gerätemasse geerdet werden können, dürfen mit maximal 3cm langen Leiterstücken (X) mit Erde verbunden werden. (Abb. 6)

Die herausragenden Drähte müssen so kurz wie möglich gehalten werden (max. 3cm). Sie dürfen nicht parallel zu anderen evtl. gestörten Drähten verlegt werden.

## 4.1 Potentialausgleichsleiter

Kabelschirme werden generell beidseitig aufgelegt. Über grosse Strecken und zwischen einzelnen Maschinenkomponenten muss evtl. parallel zum geschirmten Kabel ein Potential-Ausgleichsleiter ( $\geq 6\text{mm}^2$ ) verlegt werden, damit allfällige Ausgleichs- oder Ableitströme abfliessen können.

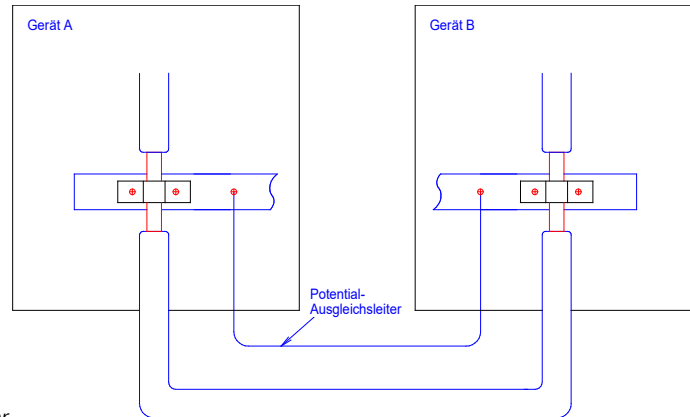


Abb. 7 Potentialausgleichsleiter

Es besteht die Möglichkeit den Schirm einseitig kapazitiv aufzulegen. (Ein ZNR, Mehrlagenvaristor parallel zur Kapazität verhindert einen Kondensatordurchschlag bei Burst oder ESD.)

Mit dieser Massnahme kann auf einen Potential-Ausgleichsleiter verzichtet werden.

## 4.2 Erdleiter

Runde Querschnitte wirken für schnelle Störungen sehr stark induktiv. Zusätzlich nimmt die Leitfähigkeit des Leiters wegen des Skin-Effektes ab. (Hochfrequente Ströme fließen nur auf der Oberfläche des Leiters).

Bei flachen Leitern (Seitenverhältnis 1 : 10) ist die Induktivität sehr viel geringer.

Für stark störungsbelastete Erdverbindungen sind flache Erdleiter besser. ESD-Entladungen über Potentialausgleichsleiter fließen besser über flache Leiter ab.

## 4.3 Schnittstellenkabel

Besondere Beachtung muss Schnittstellenkabeln geschenkt werden z.B. RS232.

### Steckverbindungen:

- Immer metallische oder metallisierte Steckergehäuse verwenden. Das Steckergehäuse am Gerät muss gut kontaktierend mit der metallischen Gehäusewand montiert werden evtl. Federn dazwischen montieren.
- Der Schirm darf nicht über ein Pin des Steckers geführt werden. Für vollständigen Schutz muss er im Gehäuse aufgelegt werden. (Schirmgeflecht über den Mantel zurückklappen und unter Zugentlastung befestigen.)
- Kabelschirme immer beidseitig erden.

Kommunikationsverbindungen können auch sehr wirkungsvoll mit verdrehten Zweidrahtleitungen gegen EMV-Einflüsse geschützt werden.

### Anmerkung:

Bei parallel geführten verdrehten Zweidrahtleitungen wo die Möglichkeit von gegenseitiger Beeinflussung besteht ist darauf zu achten, dass die Maschenweite der Verdrehung nicht gleich gross ist.



## **5 Erdung**

### **5.1 Schrankerdung**

Schaltschranktüren mit mindestens drei Erdbändern erden. Ein Drahtstück für den Berührungsschutz ist EMV-mässig kein Schutz.

### **5.2 Kupal**

Verbindungen zwischen Kupfer und Aluminium (z.B. bei Stromschienen) werden vorteilhaft mit Kupal-Scheiben vorgenommen.

## **6 Schrankbeleuchtung**

Leuchtstofflampen produzieren in ihrer unmittelbaren Nähe sehr starke elektrische Felder, deshalb sollte bei der Beleuchtung im Schrankinneren auf Leuchtstofflampen verzichtet werden.

Kann aus einem bestimmten Grund nicht auf Leuchtstofflampen verzichtet werden, muss das Anschlusskabel auf seiner ganzen Länge geschirmt verlegt werden. Die Leuchtstoffröhre sollte in einem metallischen Gehäuse untergebracht sein; evtl. muss ein Drahtgeflecht über die Lampe gespannt werden wenn sich sehr empfindliche Komponenten unmittelbar unter der Lampe befinden.

## 7 ESD-Sicherheit

Bedienpanel, Tastaturen, usw. die an der Maschine angebracht sind, müssen in ein metallisches Gehäuse eingebaut werden. Zusatzgeräte in Kunststoffgehäusen verursachen oft ESD-Probleme. Das Gehäuse ist gut zu erden. Ein normaler Erdleiter ( $\geq 6\text{mm}^2$ ) genügt in den meisten Fällen um die Entladeströme abzuleiten. Die Ströme erreichen eine Stärke von 5...300A.

Der Erdleiter sollte räumlich von der übrigen Verdrahtung getrennt werden um Kopplungen zu vermindern.

Werden die Vorschriften der Niederspannungsrichtlinie bezüglich Berührungsschutz angewendet, sollten bei Gehäusedeckeln, Schottwänden, usw. keine Probleme mit ESD entstehen. Es ist darauf zu achten, dass die Erdverbindungen möglichst kurz gehalten werden. Evtl. Massebänder verwenden.

Durch die hohen Entladeströme entstehen schon bei kleinen Übergangswiderständen wesentliche Spannungsabfälle die sich in Logik-Baugruppen bemerkbar machen.

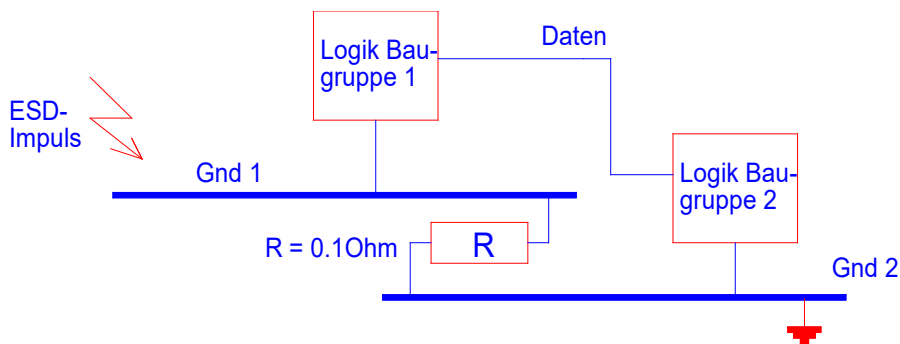


Abb. 8 ESD-Fehlfunktion

Obiges Beispiel zeigt die Wichtigkeit niederohmiger Masseverbindungen. Ein ESD-Impuls mit einer Stromstärke von 50A erzeugt über dem Übergangswiderstand R von Gnd 1 zu Gnd 2 einen Spannungsabfall von 5V! Da beide Logikbaugruppen direkt mit Masse verbunden sind und untereinander Daten austauschen, entsteht bei einer elektrostatischen Entladung eine Fehlfunktion.

Erhöht sich der Widerstand R um das 10fache können bereits Zerstörungen eintreten.

Alle mechanischen Elemente eines Maschinenständers, Chassis, usw. sollten an ihren Verbindungsstellen leitend miteinander verbunden werden. Die entsprechenden Stellen werden vor einer allfälligen Pulver- oder Farbbeschichtung abgedeckt. Ist dies nicht möglich, können Massebänder oder Schraubverbindungen eingesetzt werden.

## 8 Kapazitive Endschalter

Da kapazitive Endschalter oft sehr sensibel auf Störungen reagieren und zudem in der Regel mit ungeschirmten Kabeln betrieben werden, ist eine fachgerechte Montage besonders wichtig. Dabei ist zu bemerken, dass sich der empfindliche Teil der Näherungsschalter in der Spitze des Endschalters befindet. Werden Frequenzumformer in der gleichen Maschine, Anlage eingesetzt, ist die Beachtung der Hinweise besonders wichtig.

### 8.1 Montage der Sensoren

Der metallische Endschalter muss an seinem hinteren Ende fixiert werden damit die Störungen nicht durch den Näherungsschalter hindurchfließen sondern direkt auf Masse abfließen können.

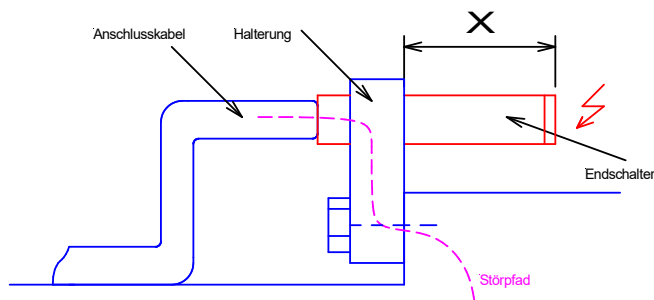


Abb. 9 Montage Näherungsschalter

### 8.2 Verdrahtung der Sensoren

Für etliche Näherungsschalter gilt eine maximale Verdrahtungslänge von 2m die ungeschirmt verlegt werden darf; diesem Sachbestand sollte nach Möglichkeit Rechnung getragen werden. Es genügt die Endschalterkabel in ein metallisches Rohr oder einen metallischen Kabelkanal zu verlegen, jedoch nur mit Kabeln aus der gleichen Kategorie (siehe Kap.9). Die offen verlegten Anschlusskabel müssen über einer metallischer Grundfläche montiert werden. Damit können Störungen kapazitiv gegen Masse abfließen und die Einkopplung über Luft z.B. von Funkgeräten, Handy verschlechtert sich.

### 8.3 Einsatz

Unter Störeinwirkung verschiebt sich die Schalthysterese der Sensoren z.T. massiv. Das hat zur Folge, dass bei Anwendungen wo das abgetastete Objekt sich langsam dem Näherungsschalter entgegenbewegt massive Fehler auftreten können.

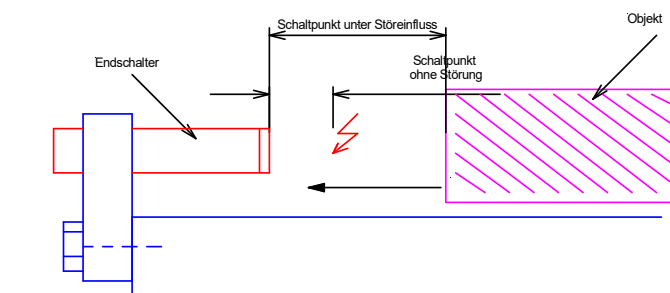


Abb. 10

Besonders kritisch eingestellte Sensoren reagieren ebenfalls viel sensibler auf Störeinflüsse z.B. wenn Material durch Acrylglas o.ä. abgetastet wird.

## 9 Drahtführung

### 9.1 Kabelkategorien

Kabel werden in verschiedene EMV-Kategorien eingeteilt:

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1. Stark störende Kabel unempfindlich | z.B. Frequenzumformer, Kabel die hohe Leistungen führen, Spannungen über 1000VAC |
| 2. Störend und unempfindlich          | z.B. Motorenkabel, Leitungen mit geschalteten Induktivitäten                     |
| 3. Nicht störend und unempfindlich    | z.B. Ohmschen Verbraucher, Digitalleitungen (16p I/O)                            |
| 4. Nicht störend und empfindlich      | z.B. Analoge Signale im mA- oder V-Bereich, Näherungsschalter                    |
| 5. Nicht störend und sehr empfindlich | z.B. Temperaturelemente, Drucksensoren, Kommunikationsleitungen                  |

Kabel und Kabelbündel unterschiedlicher Kategorien werden in verschiedenen Abständen zueinander verlegt. Die folgende Tabelle gibt Aufschluss über die Abstände:

Kategorie [cm]	1	2	3	4	5
1	-	5	10	15	20
2	5	-	5	10	15
3	10	5	-	-	-
4	15	10	-	-	-
5	20	15	-	-	-

Tab. 1 Kabelkategorien

Im Schaltschrank ist pro Kabelkategorie ein Kabelkanal-System vorzusehen. Nur Kabel des gleichen Types dürfen in Bündeln zusammengefasst geführt werden.

Die selben Regeln gelten auch für die Kabelführung ausserhalb der Steuerung.

Müssen Kabel verschiedener Kategorien auf der selben Kabelschiene angeschlossen werden, gelten die Abstände aus Tab. 1. für den Abstand X in Abb. 11

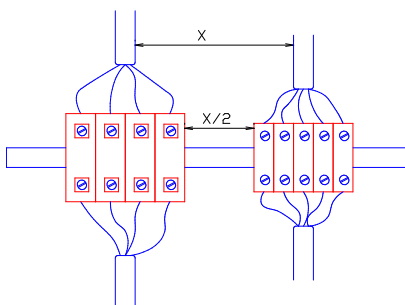


Abb. 11 Klemmen

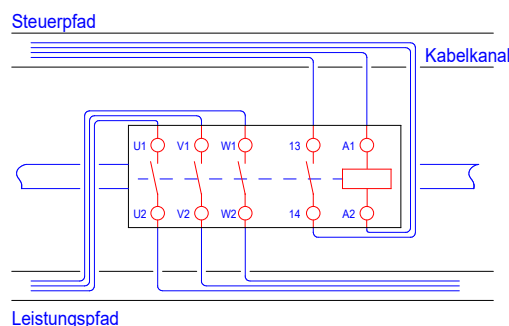


Abb. 12 Schützenverdrahtung

Abb. 12 gibt ein Beispiel für getrennte Kabelführung (Schützenbeschaltung).

Je dichter die Kabelstränge über einer metallischen Grundfläche verlegt werden können, desto weniger Störungen können eingekoppelt werden und desto mehr Störungen werden kapazitiv über die Masse abgeleitet.

## 9.2 Beispiel für Schaltschrank-Layout

Folgende Abbildung zeigt ein allgemeines Beispiel für eine Anordnung der Kabelführung und der Komponenten innerhalb des Schaltschranks.

Es wird zwischen drei Kabelkategorien unterschieden: Starkstrom-Leitungen, Digitale- und Analoge Leitungen. Jede Kabelart wird in separaten Kabelkanälen geführt. Bei der Anordnung der Klemmen ist auf Abb. 11 Klemmen zu achten.

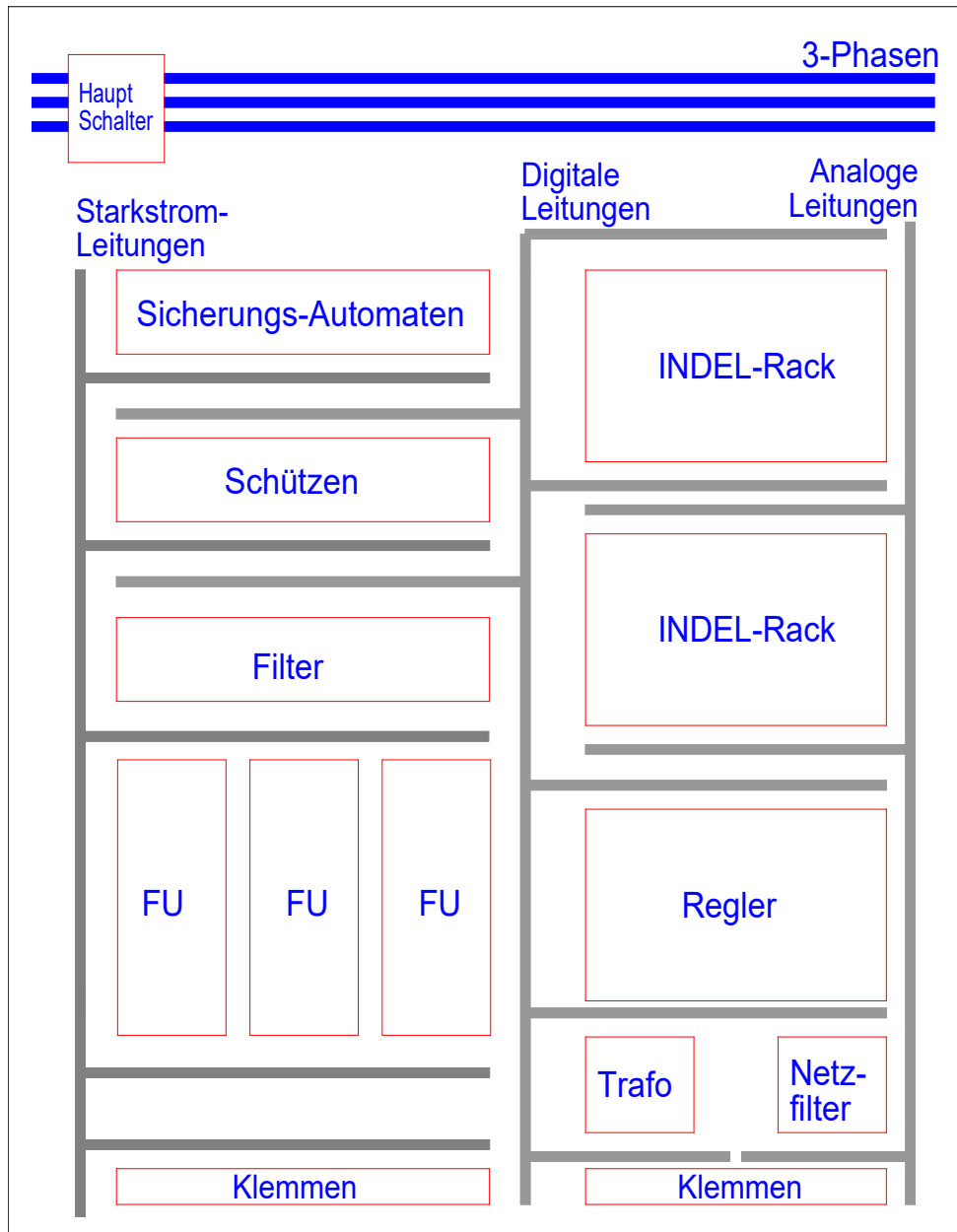


Abb. 13 Schaltschrank-Layout

## 9.3 Im Schaltschrank

### **Eigenschaften der Montageplatte**

- Ausschließlich Montageplatten mit elektrisch leitender Oberfläche (verzinkt oder aus V2A) verwenden.
- Lackierte Montageplatten sind ungeeignet, selbst wenn an den Kontaktflächen der Lack entfernt wird.
- Bei Verwendung mehrerer Montageplatten, müssen diese großflächig leitend miteinander verbunden werden (z. B. mit Masseband).

### **Montage der Komponenten**

- Antriebsregler und Funkentstörfilter großflächig zur geerdeten Montageplatte kontaktieren.
- Keine Hutschieneinstallation!

### **Leitungen richtig verlegen**

- Verlegung der Motorleitung immer getrennt von Steuerleitungen und Netzleitungen.
- Separate Klemmen für die Motorleitung(en) am Schaltschrankeintritt installieren, mindestens 100 mm von allen anderen Klemmen entfernt.
- Verlegung der Leitungen immer nahe an der Montageplatte (Bezugspotential), da frei schwebende Leitungen wie Antennen wirken.
- Leitungsführung möglichst geradlinig zu den Anschlussklemmen (keine "Kabelknäuel")!
- Eigenen Kabelkanal für Netzleitungen und Steuerleitungen verwenden. Unterschiedliche Leitungsarten in einem Kabelkanal nicht mischen.
- Motorleitungen niemals parallel zu Netzleitungen und Steuerleitungen verlegen.
- Motorleitung möglichst senkrecht mit Netzleitungen und Steuerleitungen kreuzen.
- Ungeschirmte Leitungen des gleichen Stromkreises (Hin- und Rückleiter) verdrehen bzw. die Fläche zwischen Hin- und Rückleiter möglichst klein halten.
- Koppelkapazitäten und -Induktivitäten durch unnötige Leitungslängen und Reserveschleifen minimieren.
- Kabelenden unbenutzter Leitungen zum Bezugspotential kurzschließen.

### **Anschlussstechnik der Erdung**

- Alle Komponenten (Antriebsregler, Funkentstörfilter, Filter, Drosseln) an einen zentralen Erdungspunkt (Schaltschrankmontageplatte) anschließen.
- Erdungssystem sternförmig aufbauen.
- Die entsprechenden Mindestquerschnitte der Leitungen einhalten.

## 10 Beschaltung von Lasten und Kontakten

Kapazitive und induktive Lasten erzeugen beim Ein- bzw. Ausschalten elektromagnetische Störungen. Um diese Störungen zu vermeiden müssen diese Lasten „beschalten“ werden. Häufig ist auch die Rede von „Kontaktbeschaltung“, damit wird die Beschaltung der Kontakte die induktive oder kapazitive Lasten schalten bezeichnet. Grundsätzlich sollte die Last und nicht der Kontakt beschalten werden, frei nach dem Verursacher-Prinzip.

### 10.1 Wirkung der Beschaltung von Lasten

Die Beschaltung von Lasten wirkt auf mehreren Ebenen:

#### **Störungen dämpfen**

In erster Linie soll die Beschaltung die EMV-Störungen minimieren und so die Zuverlässigkeit der Installation erhöhen.

#### **Lebensdauererhöhung**

Die Beschaltung soll auch die Lebensdauer des Kontaktes erhöhen. Nicht jede Beschaltung erhöht die Lebensdauer im gleichen Ausmass!

#### **Rückfallzeit / Rückfallspannung**

Je nach Art der Beschaltung wird die Rückfallzeit z.B. eines Relais, Schützen verlängert. Eine Diode verursacht eine um ca. 3 x längere Rückfallzeit einer Relaispule, statt 10ms resultieren bis zu 30ms.

Die Rückfallspannung einer Diode beträgt typisch  $< -1V$ . Bei einem RC-Glied entstehen deutlich höhere Rückfallspannungen. Je nach Dimensionierung z.B.  $-70 V$ . Werden Suppressor-Dioden oder Zehner-Dioden verwendet entspricht die Rückfallspannung der Durchbruch- bzw. der Zehnerspannung.

#### **Kosten**

Im Gegensatz zu Dioden, die einige Rappen kosten, muss für RC-Glieder bis zu mehreren Franken kalkuliert werden.

### 10.2 Schalten von kapazitiven Lasten

Beim Einschalten von kapazitiven Lasten (Kondensatoren) entstehen hohe Einschaltströme. Dadurch entstehen Einschaltfunken mit entsprechendem Kontaktabbrand.

#### **Beschaltungen von kapazitiven Lasten**

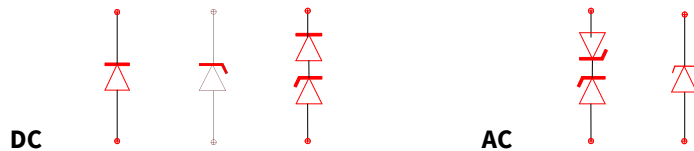
- Serie-Widerstände (können auch überbrückt werden nachdem die Kapazität geladen ist)
- Drosseln



### 10.3 Schalten von induktiven Lasten

Beim Abschalten von induktiven Lasten entstehen Burstimpulse. Der Spulen-Strom fließt weiter, auch wenn sich der Kontakt öffnet, dadurch entsteht eine hohe Spannung am Kontakt und es kann sich ein Lichtbogen entwickeln mit entsprechenden Kontaktabbrand.

#### Beschaltung mit Dioden



#### Dimensionierung

Durchlassstrom: Betriebsstrom während min. 50ms  
 Sperrspannung: 2 x Betriebsspannung min. 200V  
 Impulsfestigkeit beachten → Suppressordioden

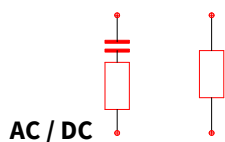
#### Eigenschaften

Störungs-Dämpfung: Sehr gute Wirkung, bidirektionale Suppressordioden für AC sind 10 ... 100 mal langsamer!  
 Lebensdauererhöhung: Sehr gut bis 24V, 1A  
 Rückfallzeit: x 3  
 Rückfallspannung: < 1V  
 Preis: günstig

#### Beispiel

1N4007: 10A/10ms, Sperrspannung 1000V

#### Beschaltung mit RC-Gliedern



#### Dimensionierung

Kapazität: 1µF / 1A  
 Widerstand: Betriebsspannung unter 60V 120Ω  
 Betriebsspannung 250V 470Ω

Achtung! X2 Kondensator verwenden, Impulsfeste Widerstände z.B. Kohlemassewiderstände verwenden.

#### Eigenschaften

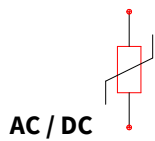
Störungs-Dämpfung: Sehr gute Wirkung ab C > 100nF  
 Lebensdauererhöhung: Sehr gut ab 1µF  
 Rückfallzeit: mittlere Verzögerung, je nach Dimensionierung  
 Rückfallspannung: 3...5 x Betriebsspannung  
 Preis: relativ teuer

Beschaltungen mit nur einem Widerstand sind sehr kostengünstig und zuverlässig eignen sich aber nur bei kleinen Betriebsspannungen. Widerstände als Beschaltung werden häufig in der Automobiltechnik eingesetzt.

Niemals nur einen Kondensator ohne Widerstand zur Beschaltung verwenden! Niemals einen Kontakt mit einem RC-Glied beschalten! Bei defektem C zieht das Relais immer an.



### **Beschaltung mit Varistoren**



#### *Dimensionierung*

Bemessungsspannung: min. 1.5 x Betriebsspannung  
Auf den Bauteilen ist üblicherweise die AC-Spannung aufgedruckt

#### *Eigenschaften*

Störungs-Dämpfung:	Gute Wirkung
Lebensdauererhöhung:	Gering, wirkt kapazitiv
Rückfallzeit:	kleine Verzögerung
Rückfallspannung	2 x Betriebsspannung
Preis:	günstig

VDR eignen sich nicht zur Begrenzung der Versorgungs-Spannung! Zu klein dimensionierte VDR haben eine stark verkürzte Lebenserwartung.

VDR eignen sich gut bei langen Leitungen.

#### *Beispiel*

AC275V, 10mm Typ

Der AC275 vermag einen einmaligen Impuls von 60A / 1ms zu verkraften. Impulse mit 7A / 1ms kann er unbegrenzt aufnehmen. Die Dauerverlustleistung beträgt lediglich 400mW!

#### **Fazit**

Grundsätzlich sollten in einer Steuerung alle Kontakte die induktive oder kapazitive Lasten schalten mit entsprechenden Entstörgliedern beschalten werden. Das vermindert die Störbeeinflussung und verlängert massiv die Lebensdauer der Kontakte. Eine grundsätzliche Beschaltung ist somit wirtschaftlich, weil Unterhaltskosten gespart, EMV-Probleme, Fehlersuche und teure Nachrüstung vermieden werden.

## 10.4 Beispiele

Geschaltete Induktivitäten und getaktete Geräte erzeugen Burstimpulse. Vorsicht ist geboten wenn solche Komponenten zusammen mit Steuerungseinheiten, oder Näherungsschalter an der selben Speisung (z.B. 24V) betrieben werden.

Unsachgemäße Beschaltung kann zu Störungen oder gar zu Zerstörungen von Elementen führen.

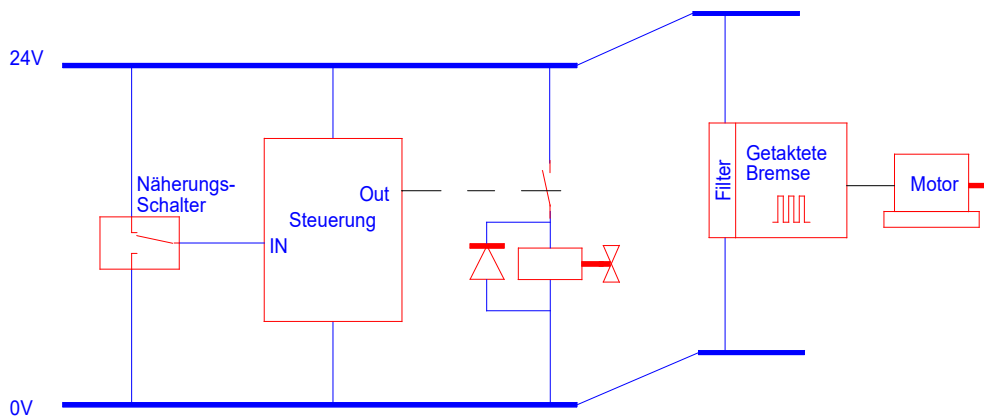


Abb. 14 Geschaltete Induktivitäten

Das Magnetventil muss mit einer Freilaufdiode versehen werden da die Steuerung an derselben 24V-Speisung angeschlossen ist.

Ebenso die getaktete Bremse: sie muss mit einem Netzfilter versehen werden damit der kapazitive oder induktive Endschalter nicht beschädigt wird.

Befindet sich die geschaltete Induktivität (z.B. Schütze, Magnetventil AC, DC) nicht in demselben Schrank sondern z.B. in einem Schützenschrank und erfolgt der Schaltprozess ebenfalls im Schützenschrank sollte trotzdem nicht auf eine Beschaltung mit RC-Gliedern o.ä. verzichtet werden.

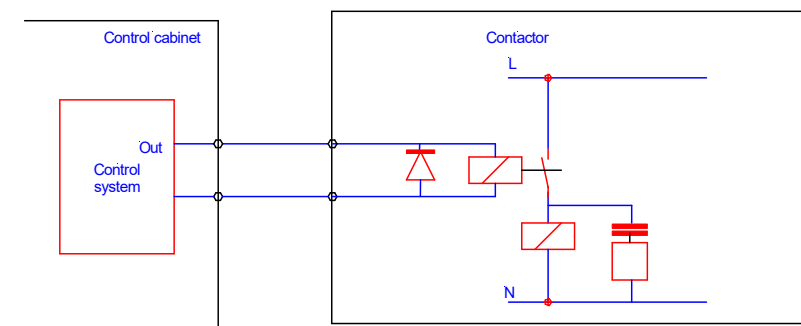


Abb. 15 Schützenverdrahtung

Verdrahtung des Schützen siehe Kap.9 Abb. 12

## 11 Frequenzumformer

Frequenzumformer, getaktete DC-Motorsteuerungen und Schrittmotoren gehören zu den stärksten Störquellen. Werden Geräte dieser Art aus EMV-Sicht falsch installiert sind Störungen garantiert.

Abgeschirmte Motorenkabel sind zwingendermassen zu verwenden. Einerseits um direkte Beeinflussung auf empfindliche Geräte zu verhindern andererseits um die Emissionen im Rahmen zu halten.

Alle Angaben die im Zusammenhang mit Frequenzumformern (FU) gemacht werden, gelten auch für getaktete Servo-Antriebe, DC-Motorsteuerungen, Schrittmotoren, Stromrichtern.

### 11.1 Schirmung der Motorenkabel

Beide Schirmenden müssen aufgelegt werden. Motorenseitig kann der Schirm auf das Gehäuse aufgelegt werden.

FU-seitig muss darauf geachtet werden, dass der Schirm direkt am Umformer angeschlossen werden kann. Auf diese Weise können die Störströme direkt zur Quelle zurückfliessen. Es können Störströme von 5 ... 20A durch den Schirm gemessen werden!

Die Schrimanschlüsse dürfen maximal 3cm betragen; idealerweise sollten Schirmbriden verwendet werden.

Werden die Motorkabel über ausserhalb des Steuerschranks über Klemmenleisten geführt, muss der Schirm über eine isolierte Klemme geführt werden. Wenn immer möglich muss der Schirm direkt bei der Schrankeinführung und am Frequenzumformer aufgelegt werden. Ansonsten in dessen direkter Nähe. Selbstverständlich muss der Schirm mit möglichst kurzen Anschlss-Drähten an die Klemme angeschlossen werden.

Die Störströme müssen direkt zum Verursacher (FU) zurückgeleitet werden. Wird der Schirm bei den Klemmen aufgelegt, entsteht eine sog. Fusspunkteinkopplung.

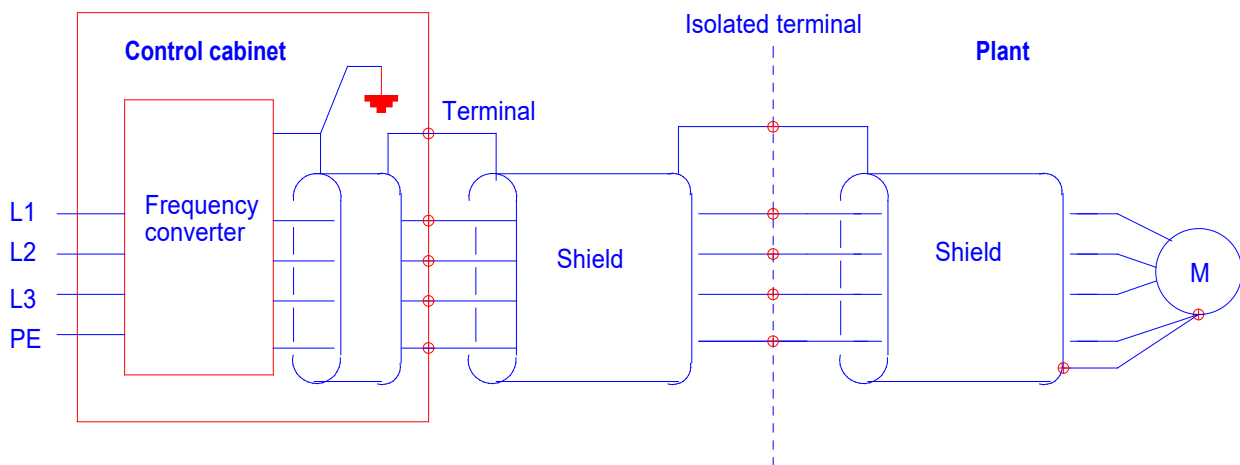


Abb. 16 Schirmung von Frequenzumrichtern

### 11.2 Ausführung der Motorleitung

- Nur abgeschirmte, 4-adrige Motorleitung verwenden (Ader U, V, W, PE und Außenschirm).
- Gute Abschirmwirkung erreichen Leitungen mit einem YCY-Kupfergeflecht, weniger geeignet sind Leitungen mit SY-Stahlarmierung (hoher Schirmwiderstand).
- Überdeckungsgrad des Schirmgeflechts:
  - o Mindestens 70 bis 80 % mit Überdeckungswinkel 90°
- **Kapazitätsarme Leitungen** verwenden, um die Ableitströme zu minimieren.
  - o Die Werte sind abhängig vom Querschnitt der Leitungen.
- Die Nennspannung der Motorleitung für den Umrichterbetrieb beträgt  $U_0/U = 0,6/1$  kV.
- Die Eignung der Leitungen für die geforderten Approbationen am Einsatzort (z. B. UL) beachten.

Die EMV-Sicherheit des Anschlusses für die Temperaturüberwachung des Motors ist abhängig von der Verlegeart der geschirmten Verbindungsleitung.

EMV-Sicherheit	Verlegeart		Bemerkung
<b>sehr gut</b>	Motorleitung und PTC/Thermokontakt-Leitung getrennt verlegt		Ideale Verlegeart mit sehr geringen Störeinkopplungen PTC/Thermokontakt-Leitung wie eine Steuerleitung behandeln
<b>mittel</b>	Motorleitung und PTC/Thermokontakt-Leitung gemeinsam verlegt mit getrennten Schirmen		Verlegeart erlaubt, aber höhere Störeinkopplungen
<b>ungünstig</b>	Motorleitung und PTC/Thermokontakt-Leitung gemeinsam verlegt mit gemeinsamem Schirm		Energierreiche Störeinkopplungen

#### Filterung der Umformer

Die Filterung der Umrichter kann an verschiedenen Stellen mit unterschiedlicher Wirkung vorgenommen werden.

Um die EMV-Richtlinie zu erfüllen, ist der Einsatz von Netzfiltern zwingend.

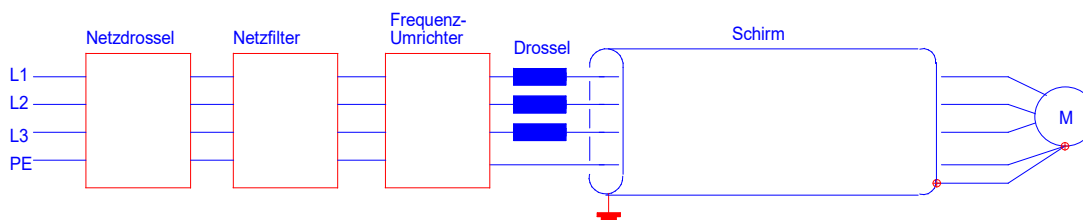


Abb. 17 Filterung der Frequenzumformer

### **11.3 Netzdrossel**

Netzdrossel werden bei FU's eingesetzt, wenn die Oberwellen die durch den Frequenzumformer erzeugt werden nicht tolerierbar sind. Ein weiterer Vorteil ist die Dämpfung von Spannungsspitzen die in Netzen vorkommen können, welche z.T. die Zerstörung des FU's bewirken können.

### **11.4 Netzfilter**

Mit Netzfiltern werden hochfrequente Störungen, die rückwirkend auf das Netz andere Geräte stören können, ausgefiltert.

#### **Leitungslänge**

Die durch den Frequenzumformer erzeugten Störungen sind noch sehr stark von den Motorleitungslängen abhängig. D.h. nicht jedes Filter genügt den Anforderungen, wenn die Motorleitungslängen sehr gross sind (>20 ... 100m).

#### **Dimensionierung**

Bei der Dimensionierung des Filters muss der **maximale Strom** beachtet werden, der vom Motor benötigt wird. Wird das Filter nur für den Nennstrom ausgelegt, gelangen die Ferritkerne im Filter in die Sättigung, wenn Spitzenströme gezogen werden. Im gesättigten Zustand reduziert sich die Dämpfung der Ferritkerne massiv. Der Nennstrom des Filters muss also für minimale Speisespannung und maximale Last dimensioniert werden.

Da übliche Netzfilter erst ab ca. 100..300kHz wirken, können selbst mit Netzfiltern Störungen die sich unter diesen Frequenzen auswirken, nicht immer behoben werden. Lange Leitungslängen verstärken die Störungen mit tiefer Frequenz.

Wird z.B. ein kapazitiver Näherungsschalter welcher mit typisch 150kHz arbeitet, durch FU-Störungen beeinflusst, welche sich rückwirkend über das Netz auf die Speiseeinheit der Näherungsschalter auswirken, so kann diese Störung nicht mit einem FU-Netzfilter welches erst ab 300kHz wirkt behoben werden.

### Temperaturabhängigkeit

Die Magnetisierungskurve von MnZn ist stark Temperaturabhängig. Bei Raumtemperatur wird eine Flussdichte von 350 Tesla gemessen. Steigt die Temperatur auf 100 °C vermindert sich die Flussdichte auf 250 Tesla, die Drossel gerät schneller in die Sättigung.

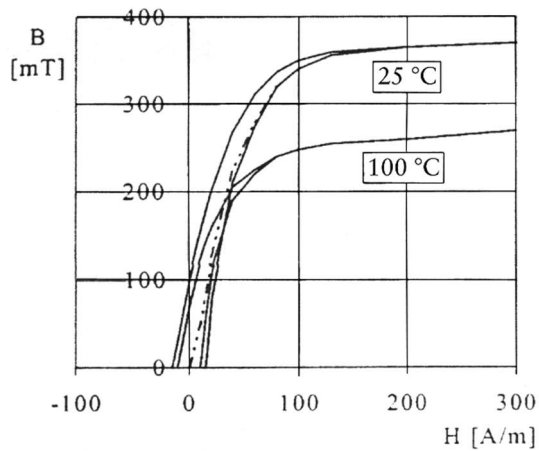


Abb. 18 Filterung der Frequenzumformer

### Abhängigkeit der Speisespannung

Die Speisespannung von FU variieren in der Regel zwischen 400 und 480V d.h. die Zwischenkreisspannung ändert sich zwischen 565 und 479V. Die Wirkung des Eingangsfilters kann sich in diesem Spannungsbereich um bis zu 2 ... 4dB ändern. Wobei die schlechteste Filterwirkung bei der grössten Spannung auftritt.



### **11.5 Motorleitungsdrosseln / Motorleistungsfilter**

Störungen die sich über die Motorleitungen auswirken, können durch entsprechende Motorleistungs-drosseln oder Motorleistungsfilter behoben werden.

Motorleistungsdrosseln einzeln in jeder Phase. Motorleistungsdrosseln mit normalem Eisenkern müssen korrekt dimensioniert sein, d.h. die zulässige Taktfrequenz des vorgeschalteten Frequenzumformers ist zu beachten. Die Strombelastung darf die Drossel nicht in die Sättigung treiben, da sie sonst nicht mehr wirken kann. Am besten setzt man die vom FU-Lieferanten empfohlenen Drosseln ein.

Nebst der Reduzierung von Störungen können mit solchen Drosseln auch unangenehme Motoren-geräusche, wie sie durch FU's verursacht werden, unterdrückt oder mindestens reduziert werden. Der Frequenzbereich solcher Drosseln ist nach oben sehr begrenzt.

Motorleistungsdrosseln mit Ferritkernen wirken dagegen erst ab Frequenzen von einigen MHz. Solche Drosseln können durch einige Wicklungen jeder Motorenphasenleitung um den pro Phase vorge-sehenen Ferritkern selbst hergestellt werden.

### **11.6 DC-Motoren entstören**

Ein DC-Motor kann folgendermassen entstört werden: zwei 10nF-33nF von den Motoranschlüssen an das Gehäuse und ca. 100nF parallel zum Motor, direkt an die Anschlüsse löten, in Reihe zu den Motorleitungen 2 Drosseln ca. 20-47uH.