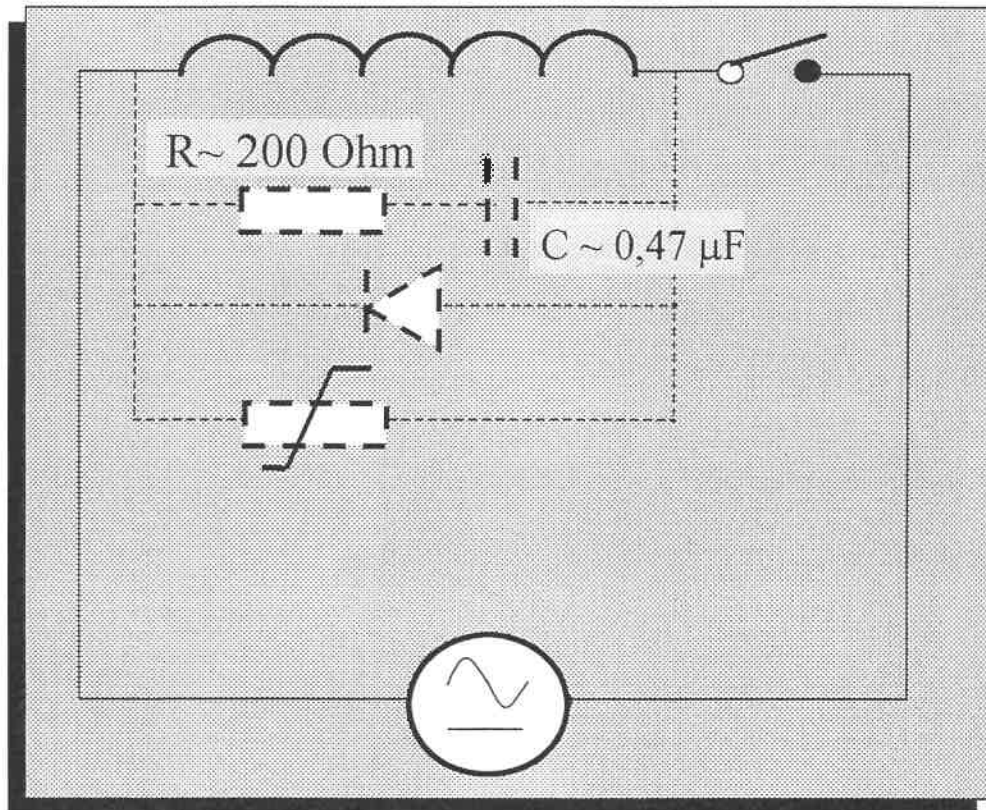


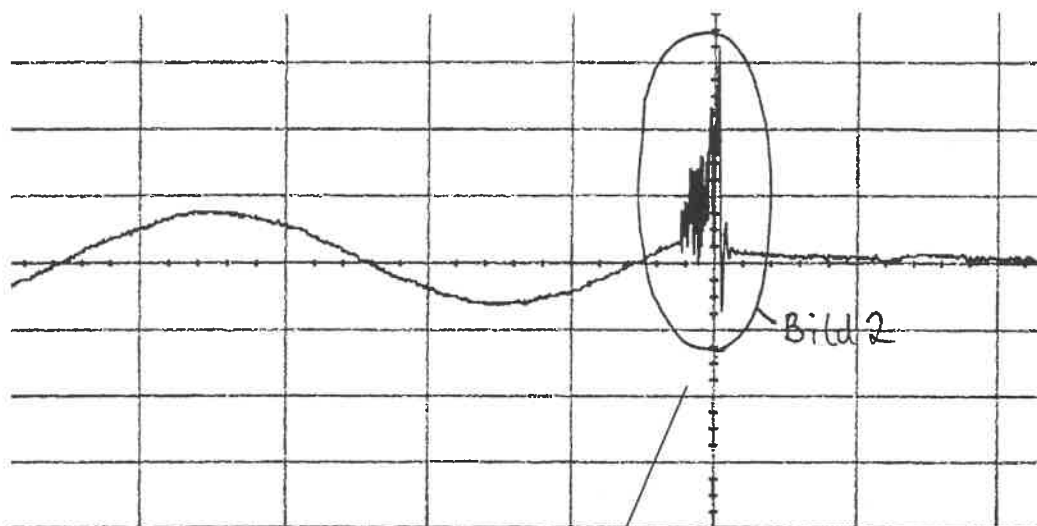
# Entstörung, Filterung



Beim Schalten von Induktivitäten können transiente Überspannungen bis max. **4 kV** entstehen.

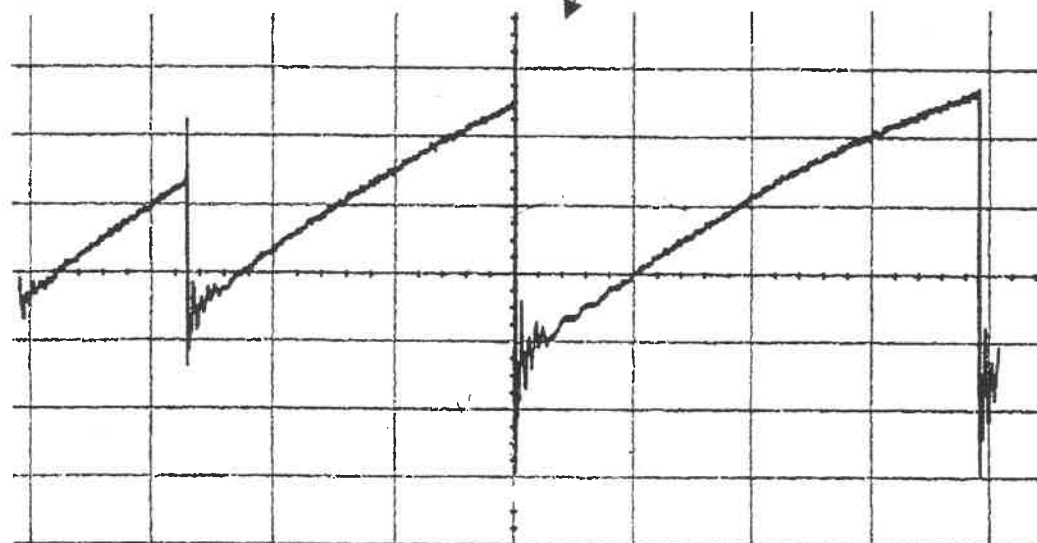
Dabei werden Frequenzen bis ca. **200 MHz** erzeugt.

Wegen der oft großen Anzahl von Kontakten erfolgt die Entstörung meistens an der Spule.



ch. 1 = 500 Volts/div  
timebase = 5.00 ms/div

Ausschaltvorgang



= 500.0 Volts/div  
 = 10.0 us/div

Offset = 000 m  
Delay = 0.00000

Transiente Überspannung an einer geschalteten Induktivität (Schütz, Relais, Magnetventil, Motor etc.).

# Abhilfemaßnahmen für geschaltete Induktivitäten

Geschaltete Induktivitäten sind z. B. Schütze, Relais, elektromechanische Betriebsstundenzähler, Motoren.

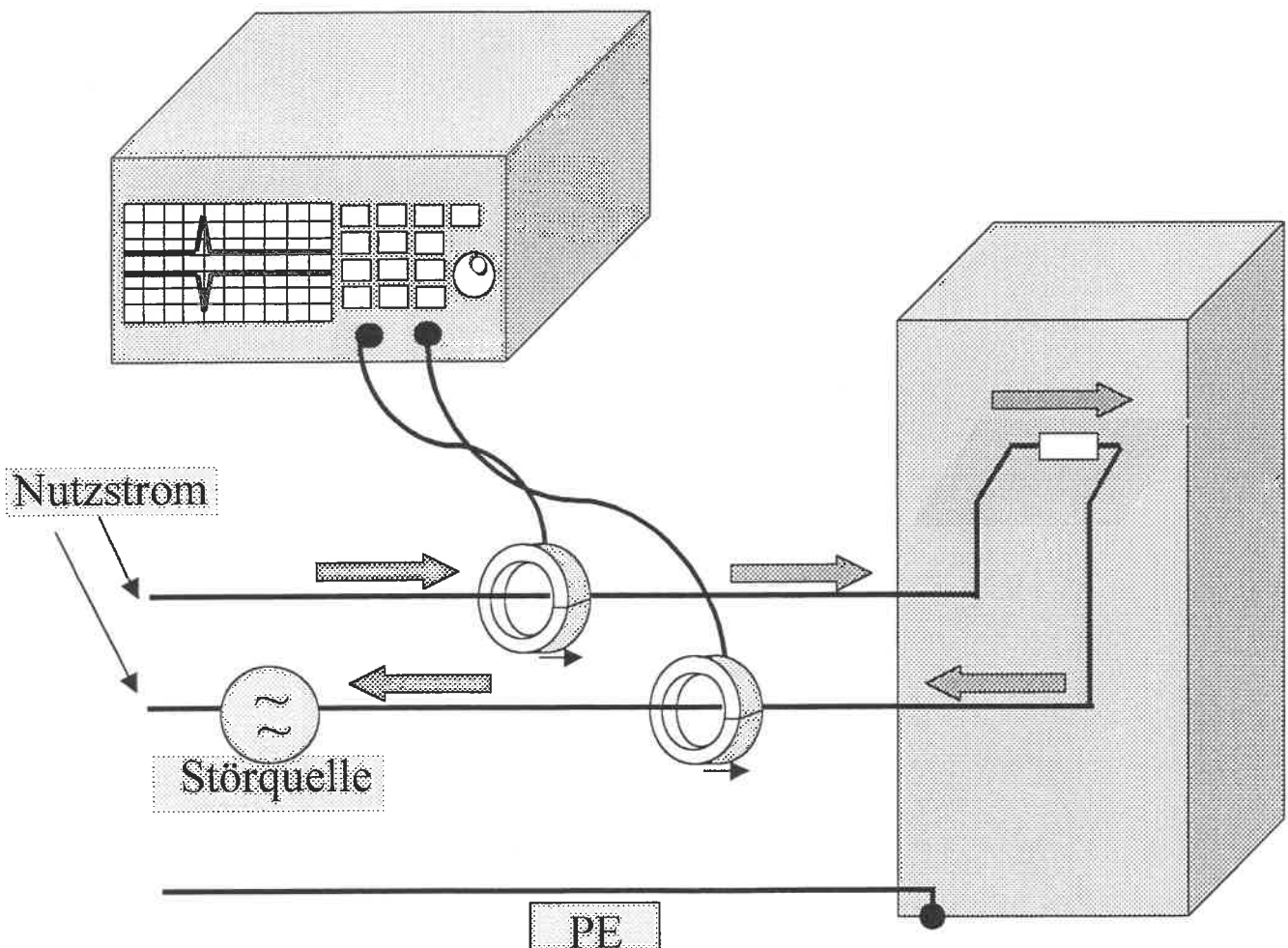
Die Entstörung erfolgt immer direkt am Störer oder direkt am Störopfer (Abstand der Entstörglieder zum Störer **elektrisch kurz**)



**Achtung:** Schaltzeiten werden bei RC-Gliedern und Dioden erheblich verlängert.  
Kompromiß: Varistoren einsetzen.

Bei Verlängerung der Schaltzeiten wird der Kontaktabbbrand bei Leistungsschützen erhöht.

# Ausbreitung leitungsgebundener Gegentakt-Störströme

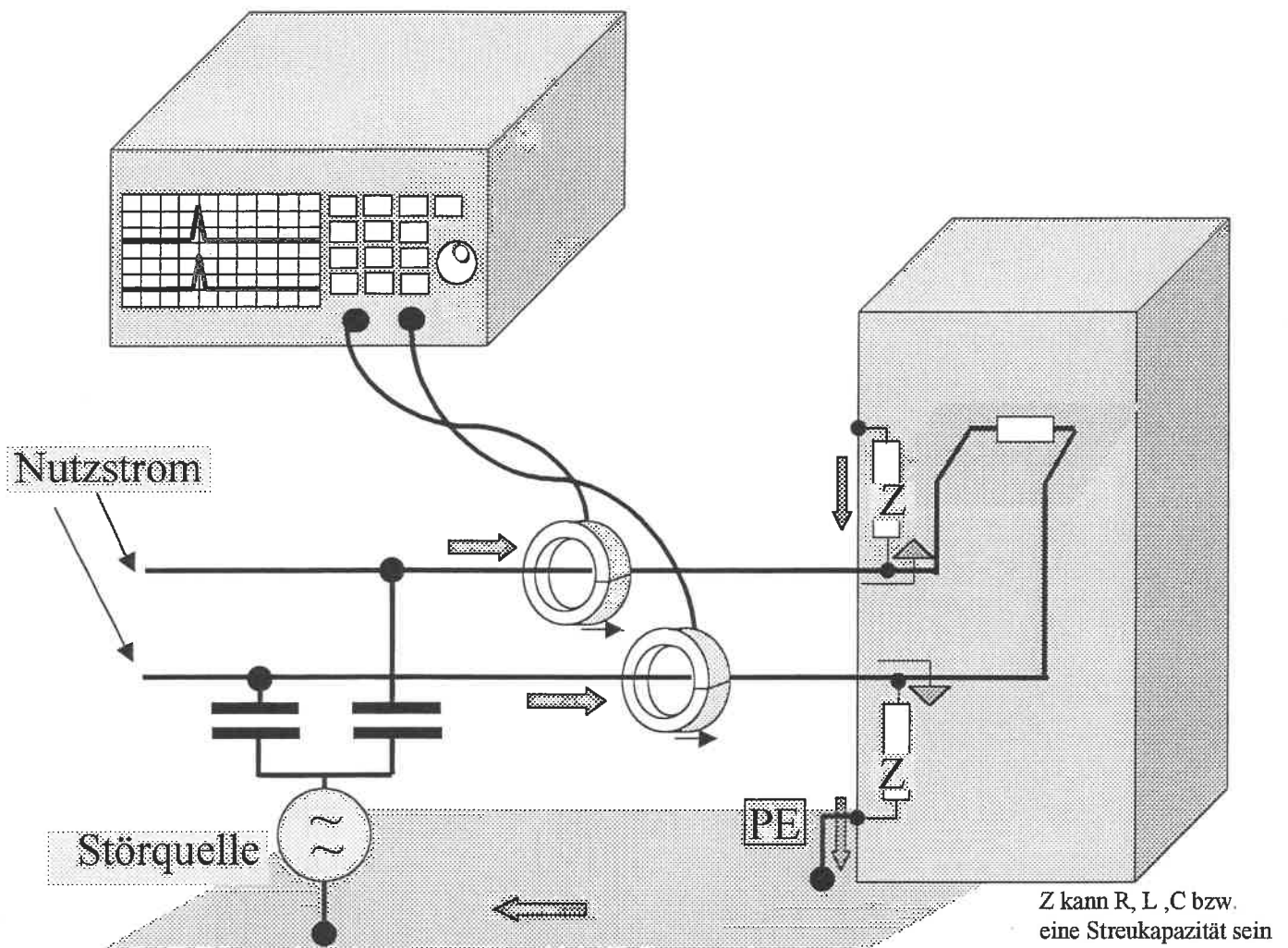


Gegentakt-Störströme sind direkt dem Nutzsignal überlagert (im Bereich  $< 1$  MHz vorherrschend)

Ursache der Störströme können parallel verlegte Leistungskabel sein -> Kopplung durch magn. Feld



# Ausbreitung leitungsgebundener Gleichtakt-Störströme

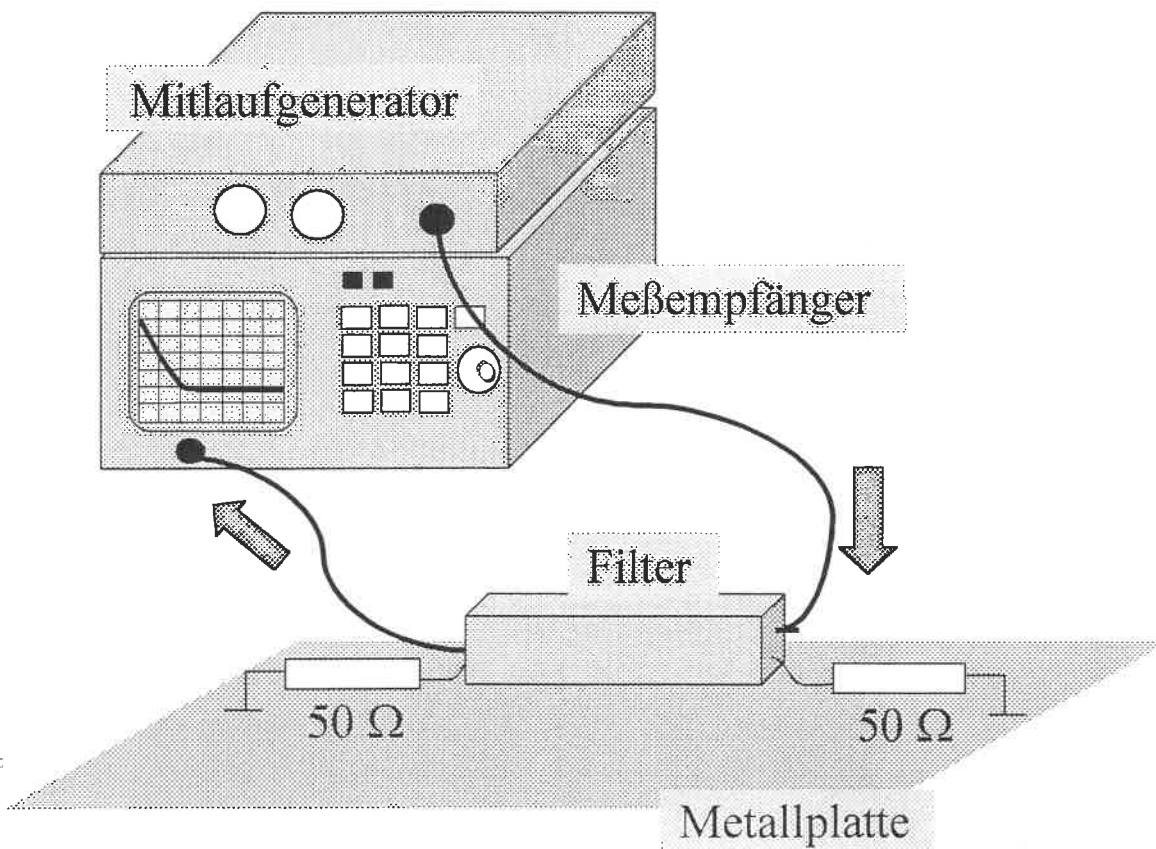


Gleichtakt-Störströme (common mode) bevorzugen Erde, Metallteile als Rückleiter.  
Frequenzbereich > 1 MHz vorherrschend.

Ursache der Störströme können Spannungssprünge auf parallel verlegte Kabel sein -> Kopplung durch elektrisches Feld.

# Messung der Einfügungsdämpfung eines Filters

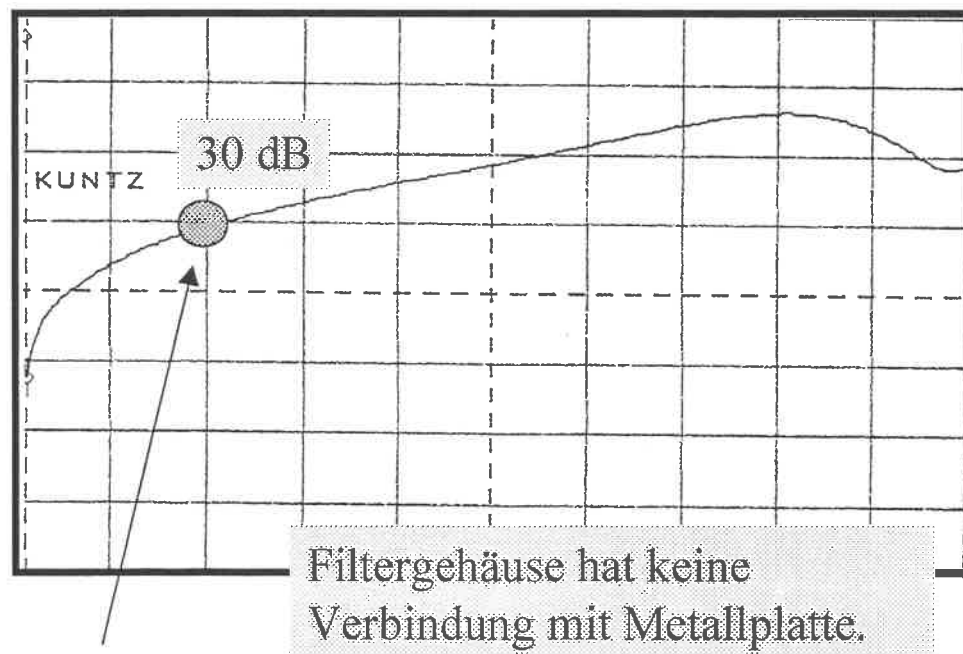
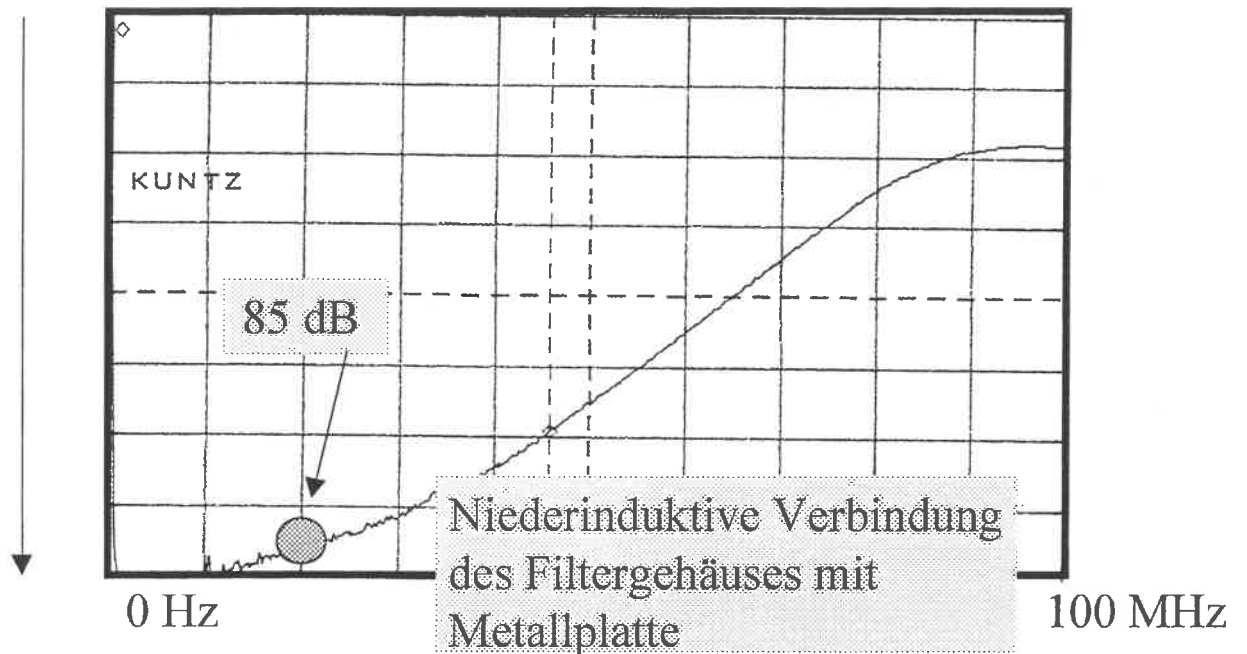
Gleichtakt- und Gegentakt-Störströme können durch Einsatz von Filtern reduziert werden



Der **Mitlaufgenerator** erzeugt kontinuierlich Sinusschwingungen von 0 Hz bis in den Giga Hertz Bereich, der Meßempfänger ist mit der aktuellen Sendefrequenz synchronisiert.

# Einfügungsdämpfung

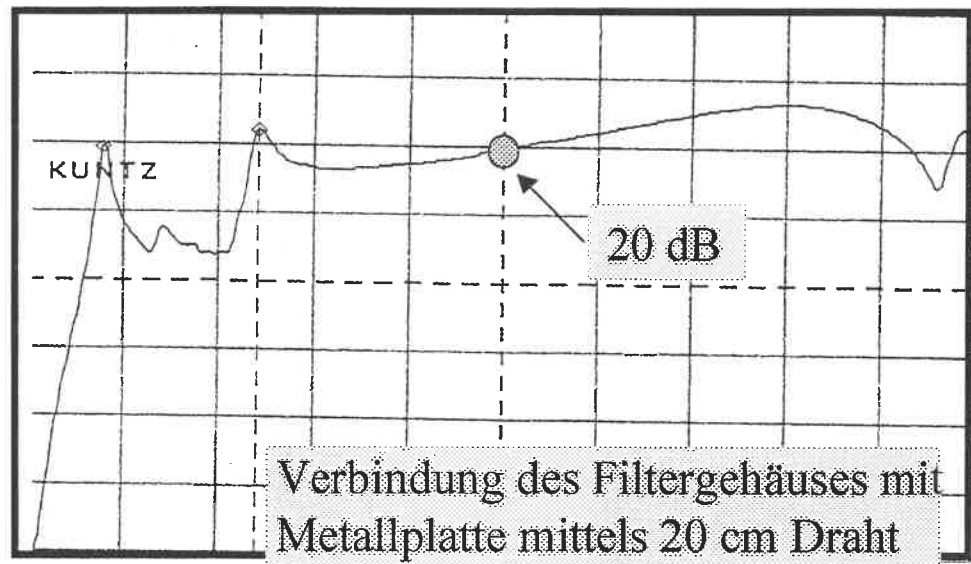
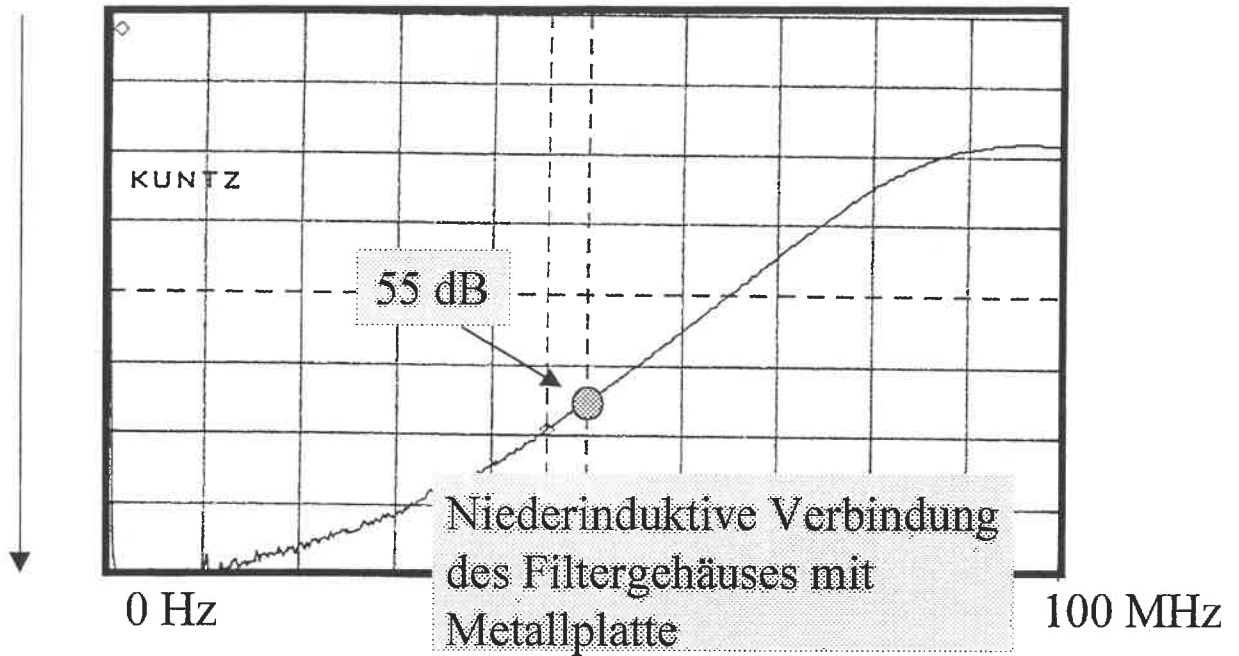
Dämpfung  
10 dB/Div



Die Dämpfung beträgt z. B. bei 20 MHz hier nur noch 30 dB.

# Einfügungsdämpfung

Dämpfung  
10 dB/Div



Bereits ab ca. 1 MHz ist die  
Drahtverbindung völlig nutzlos.



## Bauelemente sind nicht ideal

Immer wenn ein Strom fließt kann eine **Induktivität** definiert werden. Die Induktivität verhindert, daß der Strom unendlich schnell eingeschaltet, bzw. ausgeschaltet werden kann.

Die Induktivität eines Leiters, dessen Rückleiter weit entfernt ist, beträgt ca. **1,5 µH**.

Der **induktive Widerstand**  $X_L$  eines Leiters beträgt

$$X_L = \omega * L = 2 * \pi * f * L/m * \text{Länge}$$

z. B. für  $f = 20 \text{ MHz}$  und Länge ist  $0,2 \text{ m}$  gilt:

$$X_L = 2 * 3,14 * 20 \text{ MHz} * 1,5 \mu\text{H} * 0,2 \text{ m} \sim \mathbf{40 \Omega}$$

Der **ohmsche Widerstand** beträgt hier vielleicht nur

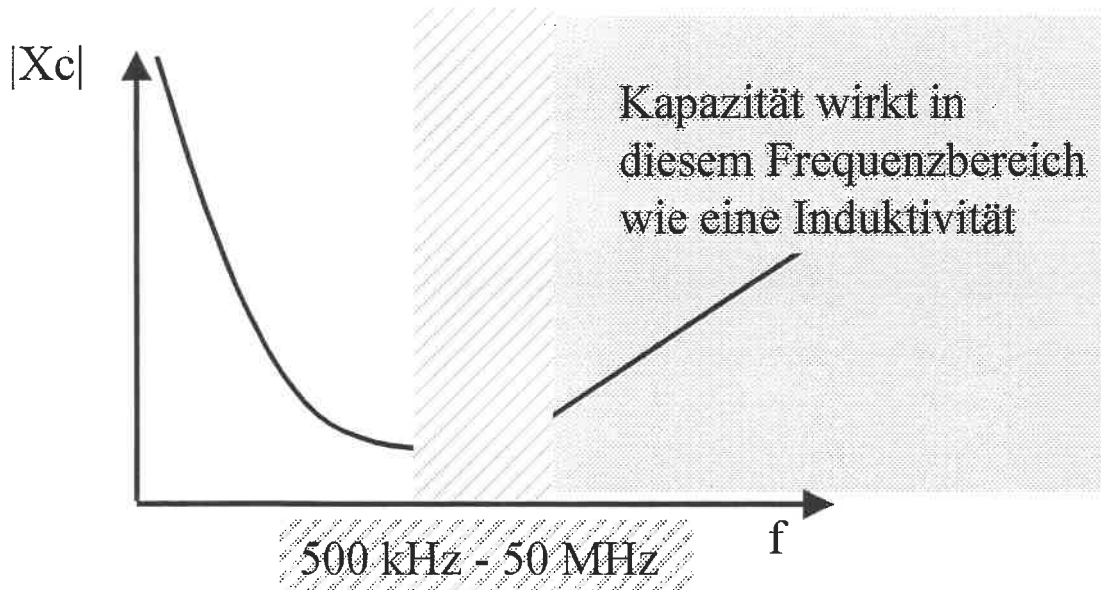
**2 mΩ** und kann gegenüber dem induktiven Widerstand vernachlässigt werden.

Daher Verbindungen im MHz-Bereich **niederinduktiv**, flächig ausführen.

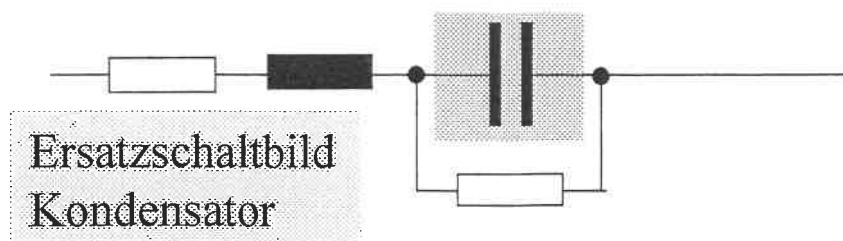
## Bauelemente sind nicht ideal

Zwei oder mehrere leitfähige Gebilde, die durch eine Isolation getrennt sind, bilden eine (Streu-) Kapazität.

Oberhalb Frequenzen von 500 kHz ... 50 MHz kann Zuleitungs- und Wicklungsinduktivität von Kondensatoren nicht mehr vernachlässigt werden.

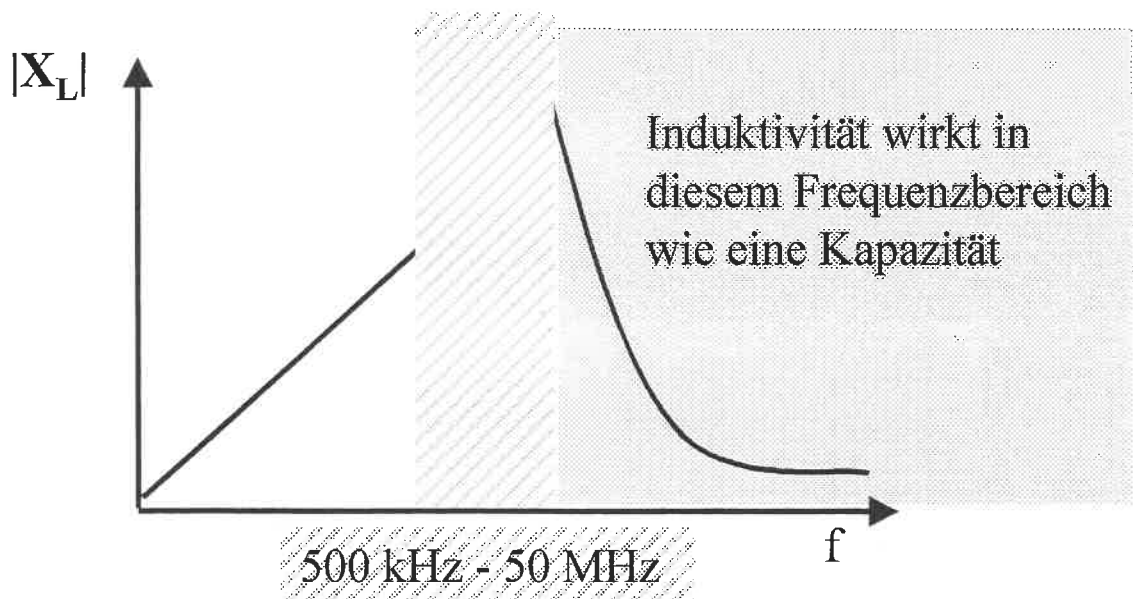


$$|X_c| = \text{kapazitiver Widerstand} = 1/(\omega * C)$$

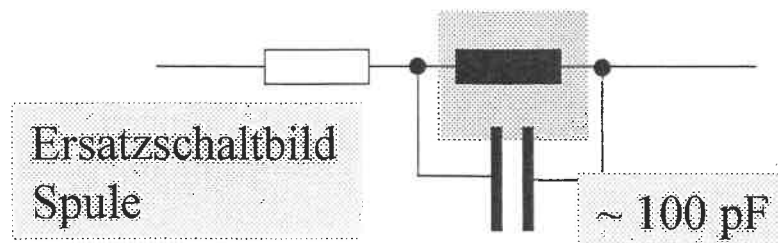


## Bauelemente sind nicht ideal

Bedingt durch die Streukapazität zwischen den Wicklungen verhalten sich Spulen, Transformatoren oberhalb Frequenzen von 500 kHz ... 50 MHz wie Kapazitäten.



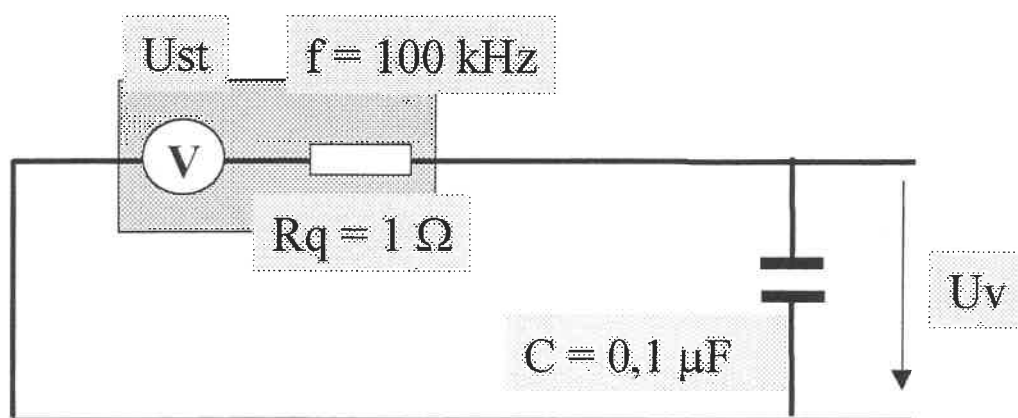
$$|X_L| = \text{induktiver Widerstand} = \omega * L$$



# Optimale Einbaurichtung von Filtern

Optimale Einbaurichtung von Filtern ist nur möglich, wenn die **Impedanzverhältnisse** an der **Störquelle** und an der **Störsenke** bekannt sind.

## Vorbetrachtung



$$X_c = 1 / (2 * \pi * f * C) \sim 16 \Omega$$

$$U_v = X_c / (X_c + R_q) * U_{st}$$

➔  $U_v \sim U_{st}$

D. h. keine Reduzierung der Störung.  
Entstörkondensator nutzlos.

Innenwiderstand der Störquelle  
durch Serieninduktivität erhöhen

# Einbau von Filtern

Die Filter müssen immer **elektrisch kurz** zur Störquelle, bzw. zur Störsenke eingebaut sein ( z. B. von Umrichtern maximal 2 m entfernt).

Filter sind niederinduktiv, großflächig mit Schrankgehäuse (Montageplatte) zu verbinden.

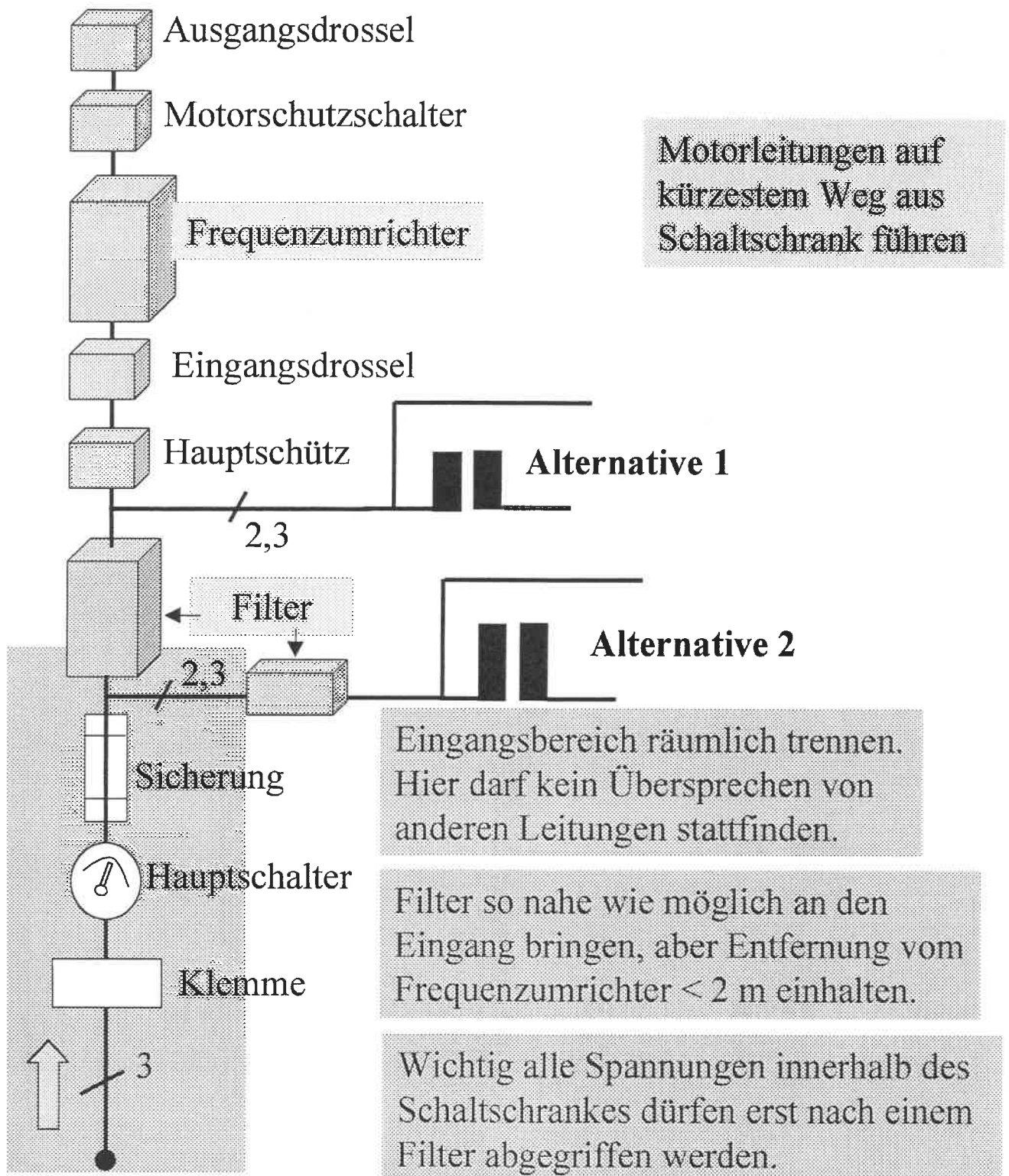
Ein- und Ausgangsleitungen sind räumlich zu trennen (mindestens 20 cm). Insbesondere dürfen keine Motorleitungen parallel zu den Netzleitungen liegen.

Bei Netzfiltern schaut normalerweise die Seite zum Netz, an der sich der Aufdruck "**Line**" oder "**Netz**" befindet, bzw. der **Schutzleiter** angeschlossen wird. Optimal wäre Einbaurichtung nach den Impedanzverhältnisse zu wählen (siehe Seite vorher).

Da Standard-Netzfilter erst ab ca. 50 kHz eine merkliche Dämpfung besitzen, können sie auch zur Filterung von Analogsignale eingesetzt werden. Wobei die Einfügungsdämpfung für das Nutzsignal beachtet werden muß.

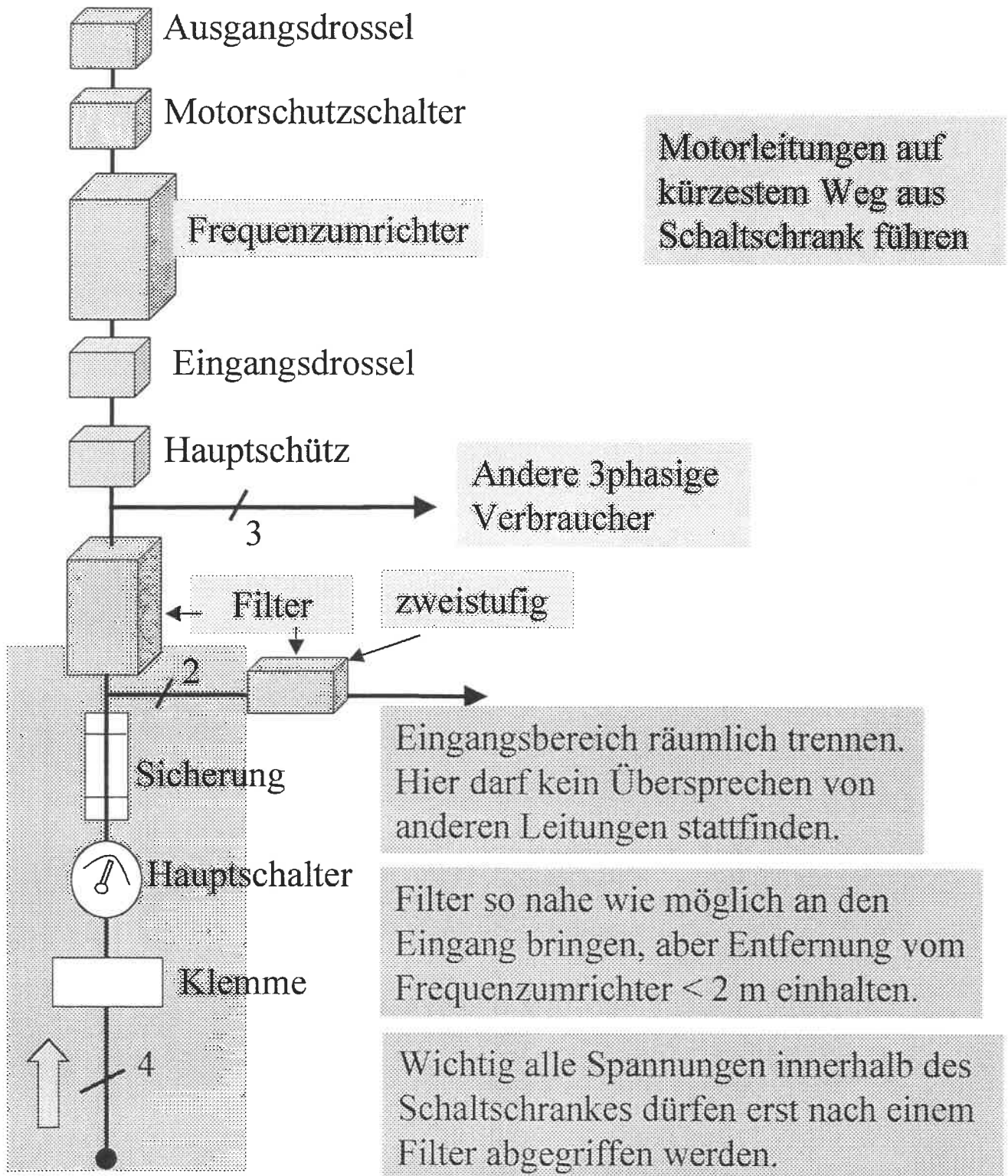


# Einbau von Umrichterfiltern - 3 Phaseneinspeisung -

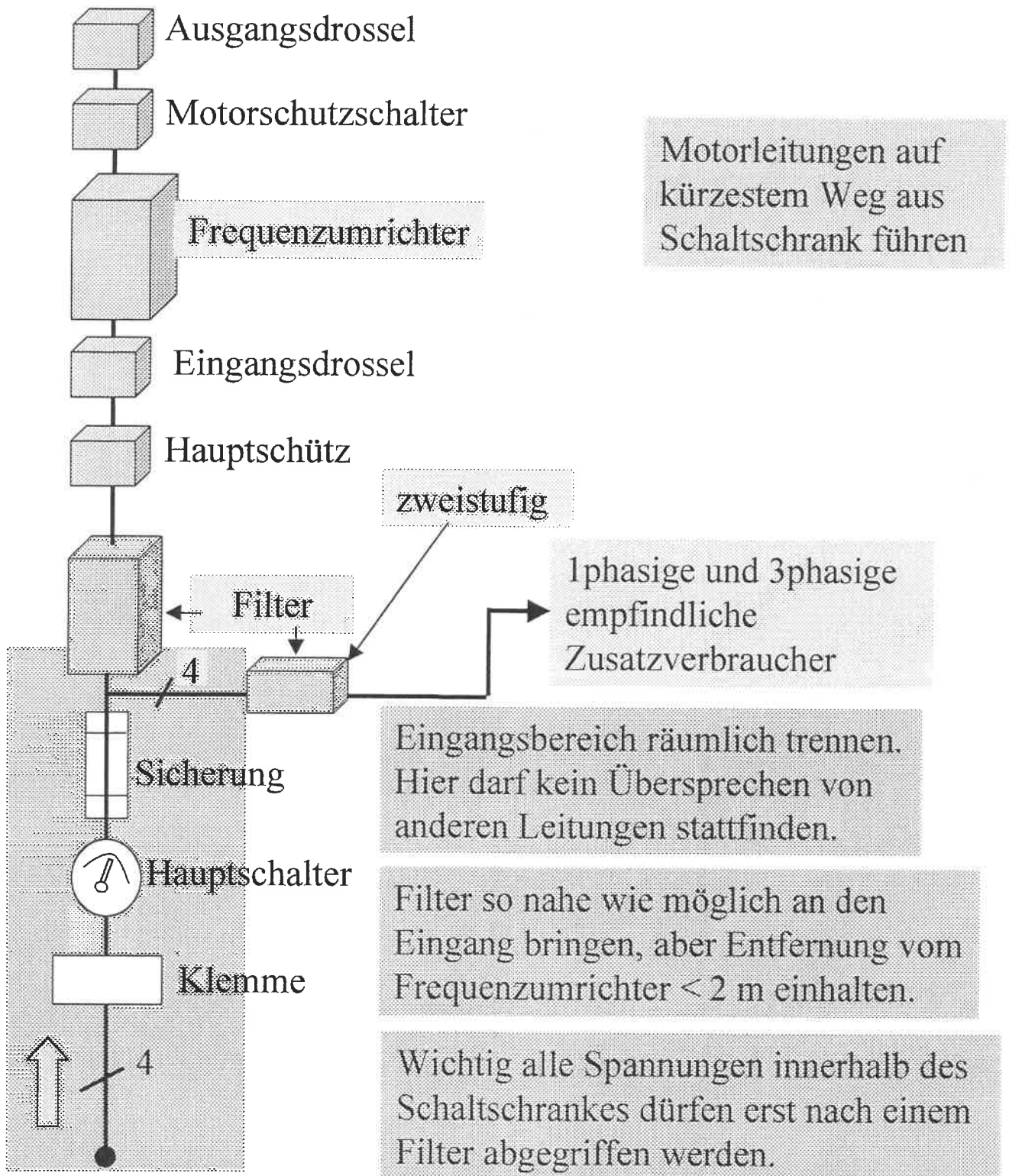


# Einbau von Umrichterfiltern

## - 4 Phaseneinspeisung -

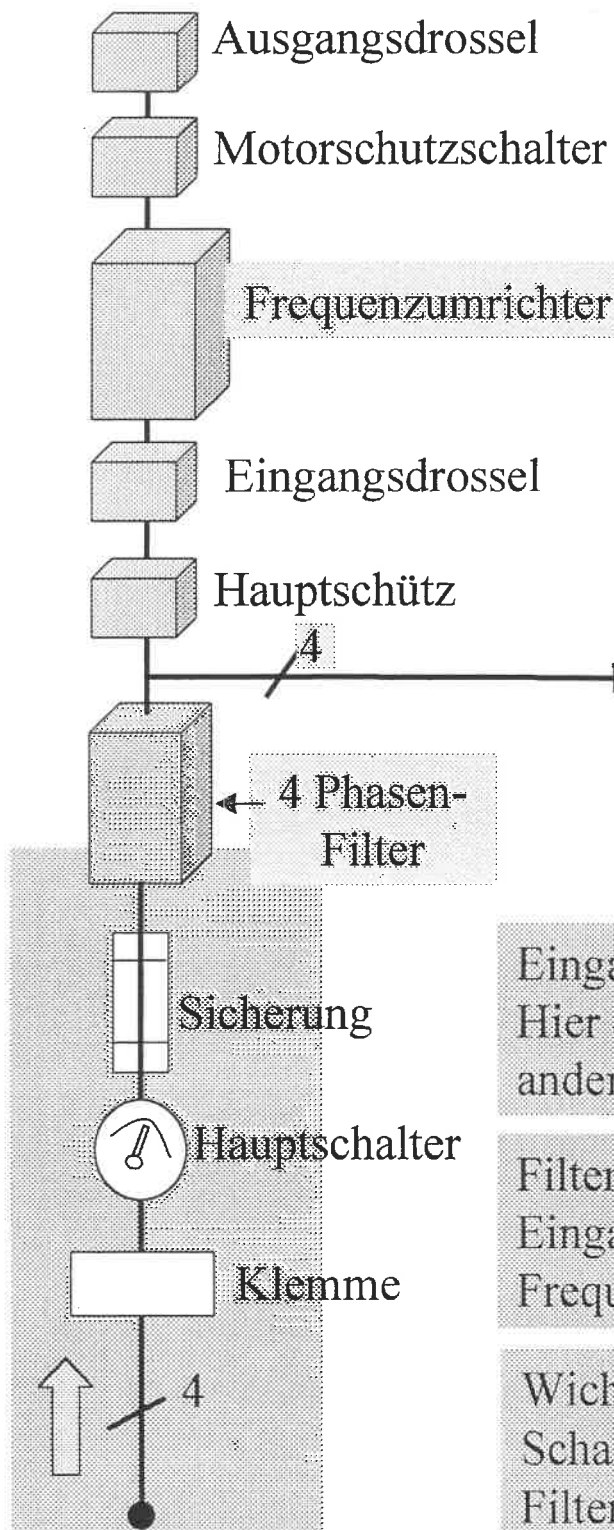


## - 4 Phaseneinspeisung -



# Einbau von Umrichterfiltern

## - 4 Phaseneinspeisung -



Motorleitungen auf kürzestem Weg aus Schaltschrank führen

1phasige und 3phasige Zusatzverbraucher

4 Phasen-Filter

Eingangsbereich räumlich trennen. Hier darf kein Übersprechen von anderen Leitungen stattfinden.

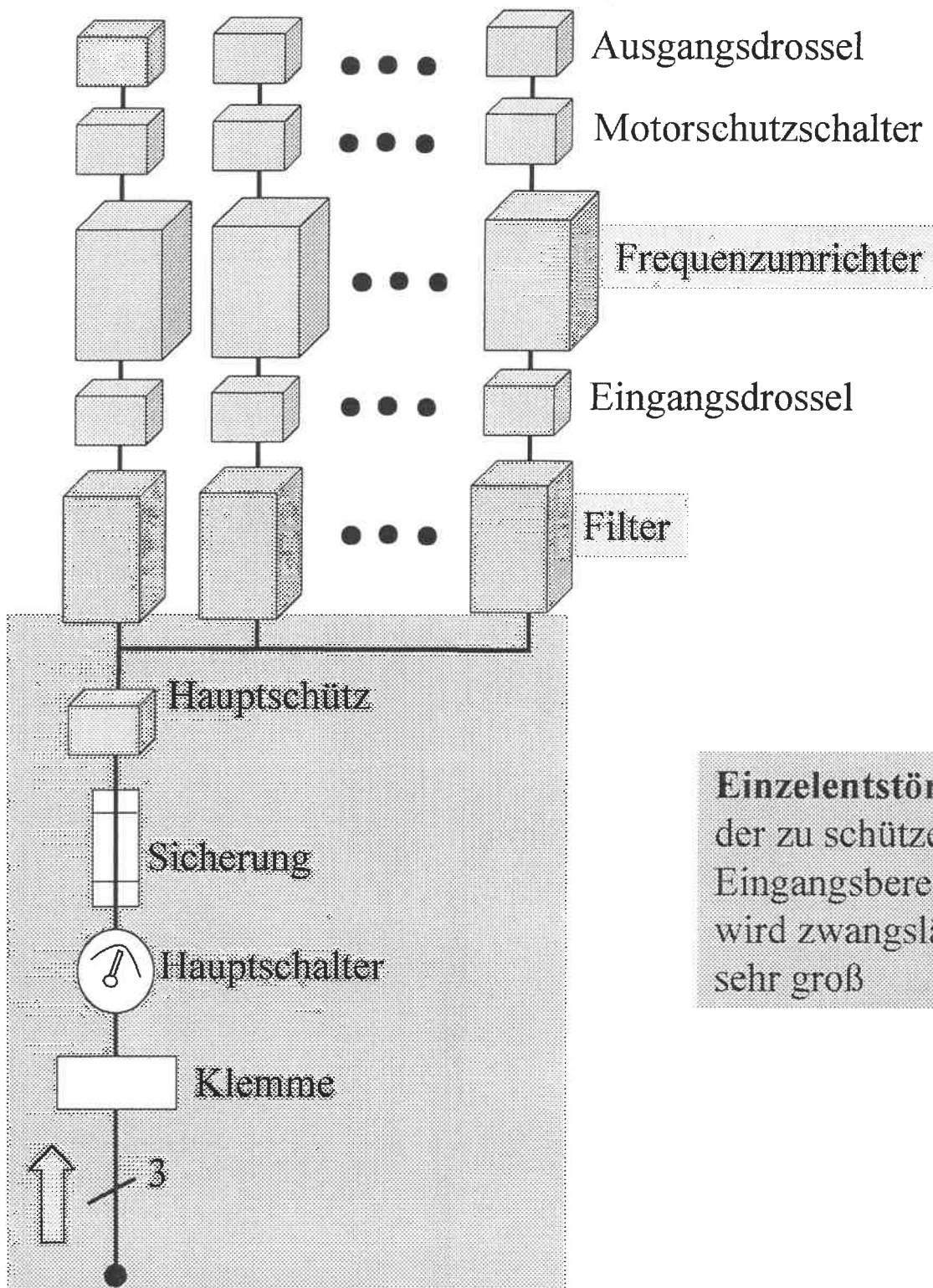
Filter so nahe wie möglich an den Eingang bringen, aber Entfernung vom Frequenzumrichter  $< 2 \text{ m}$  einhalten.

Wichtig alle Spannungen innerhalb des Schaltschranks dürfen erst nach einem Filter abgegriffen werden.



# Einbau von Umrichterfiltern

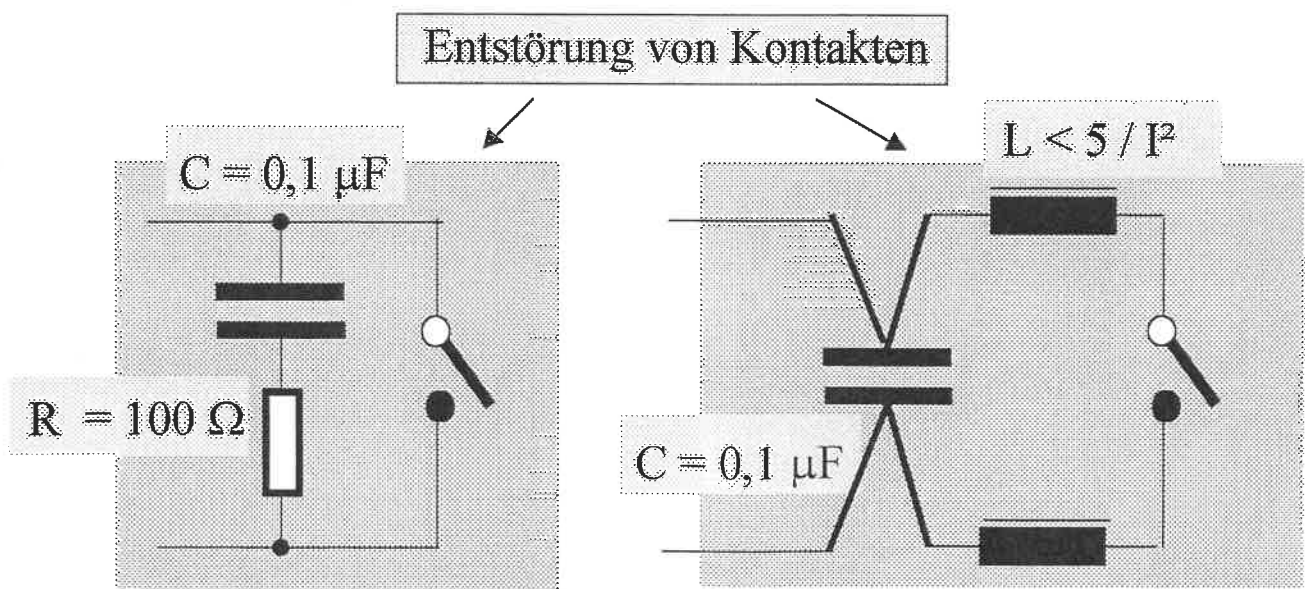
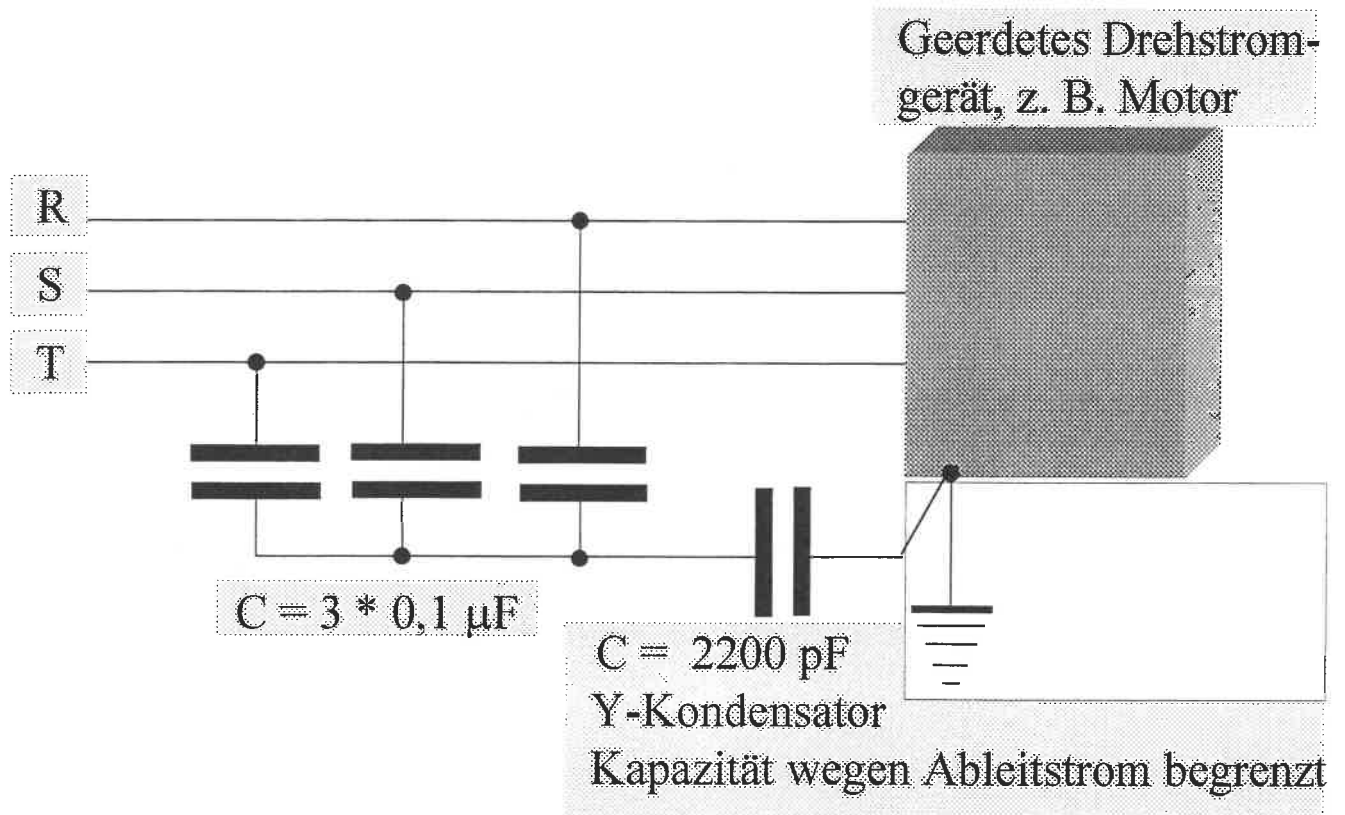
## - Einzelenstörung -



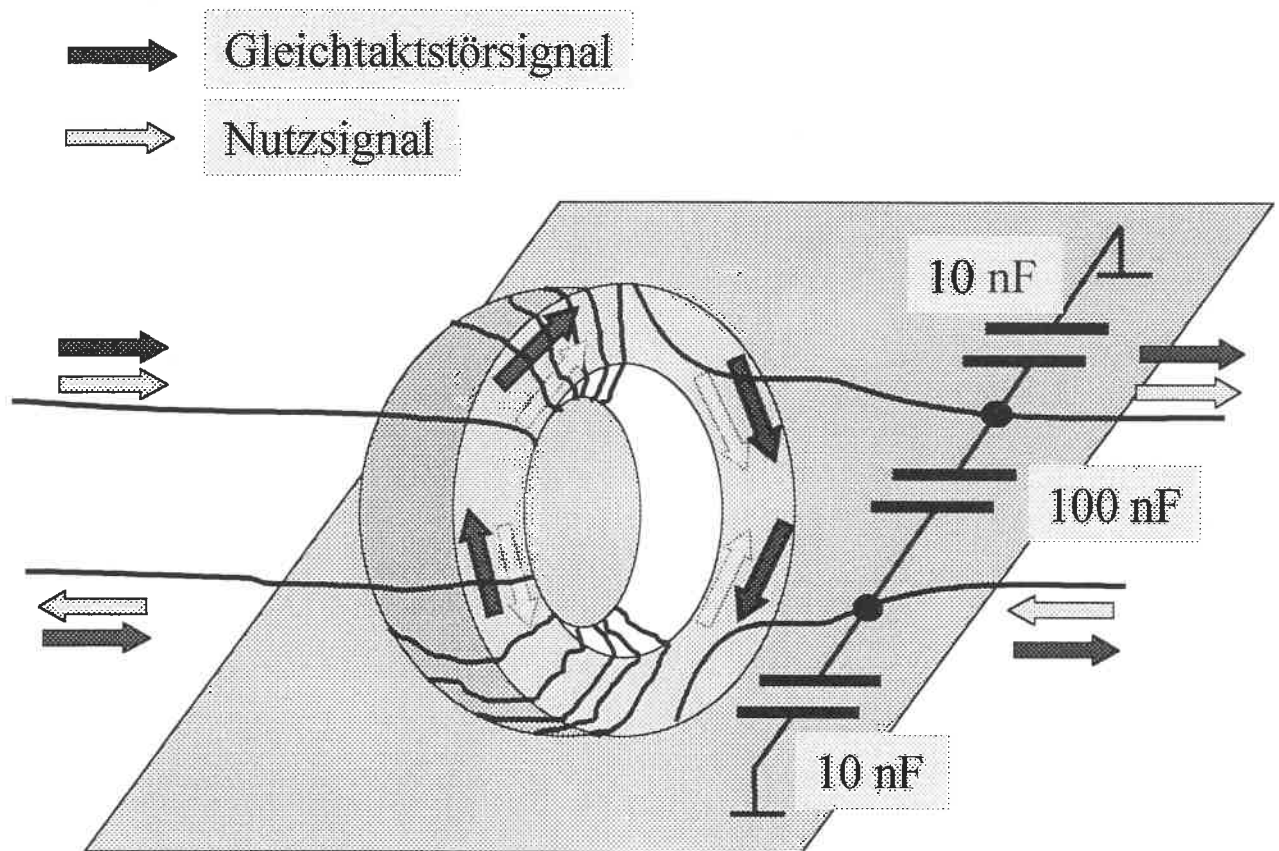
**Einzelenstörung,**  
der zu schützende  
Eingangsbereich  
wird zwangsläufig  
sehr groß



# Einfache Filterschaltungen



# Stromkompensierte Drosseln



Die **stromkompensierte** Drossel dient zur **Unterdrückung** von **Gleichtakt(stör)signalen**. Die Gleichtaktflüsse sind in Reihe geschaltet --> große Induktivität.

Die Flüsse des Nutzsignals heben sich auf --> nahezu keine Induktivität.