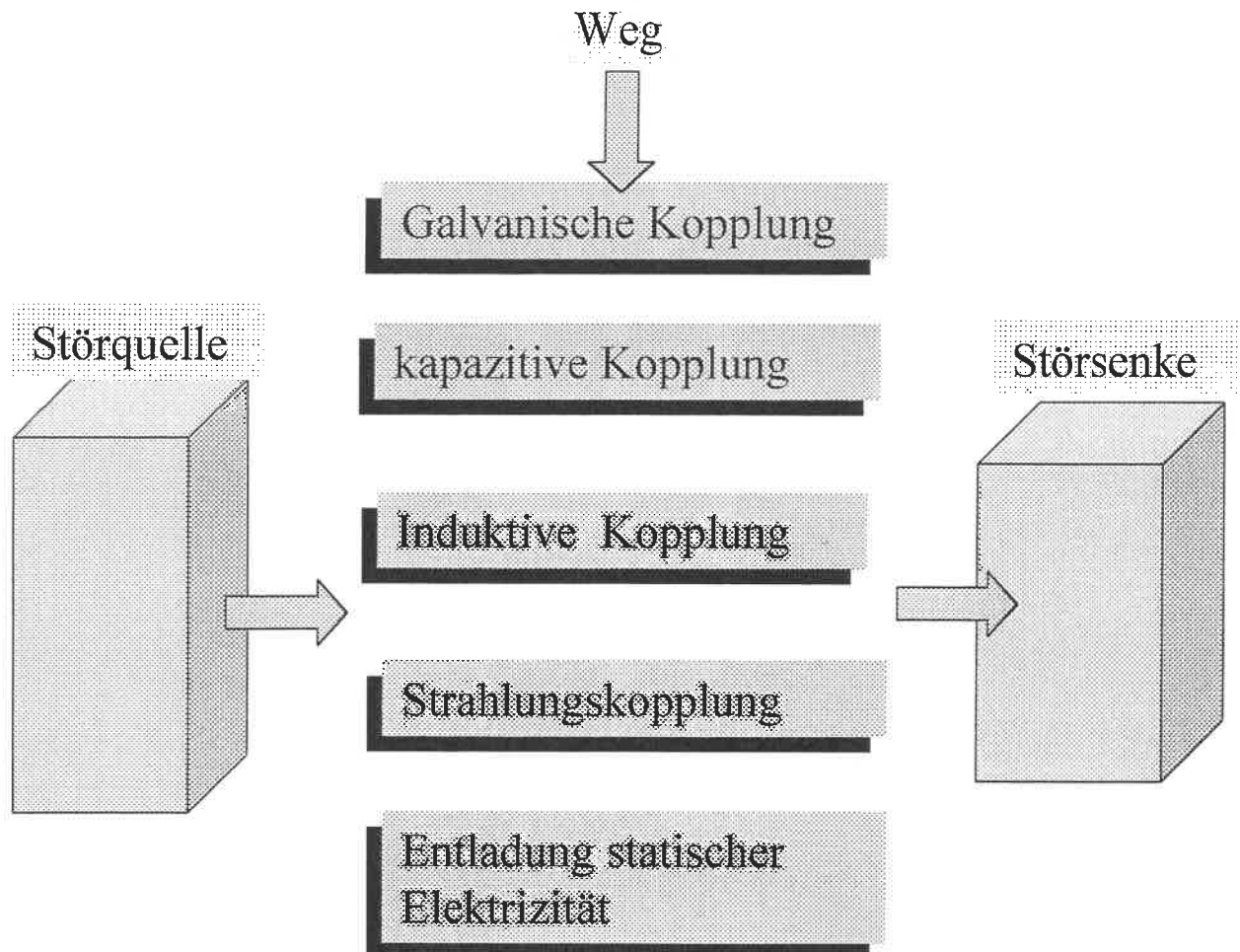


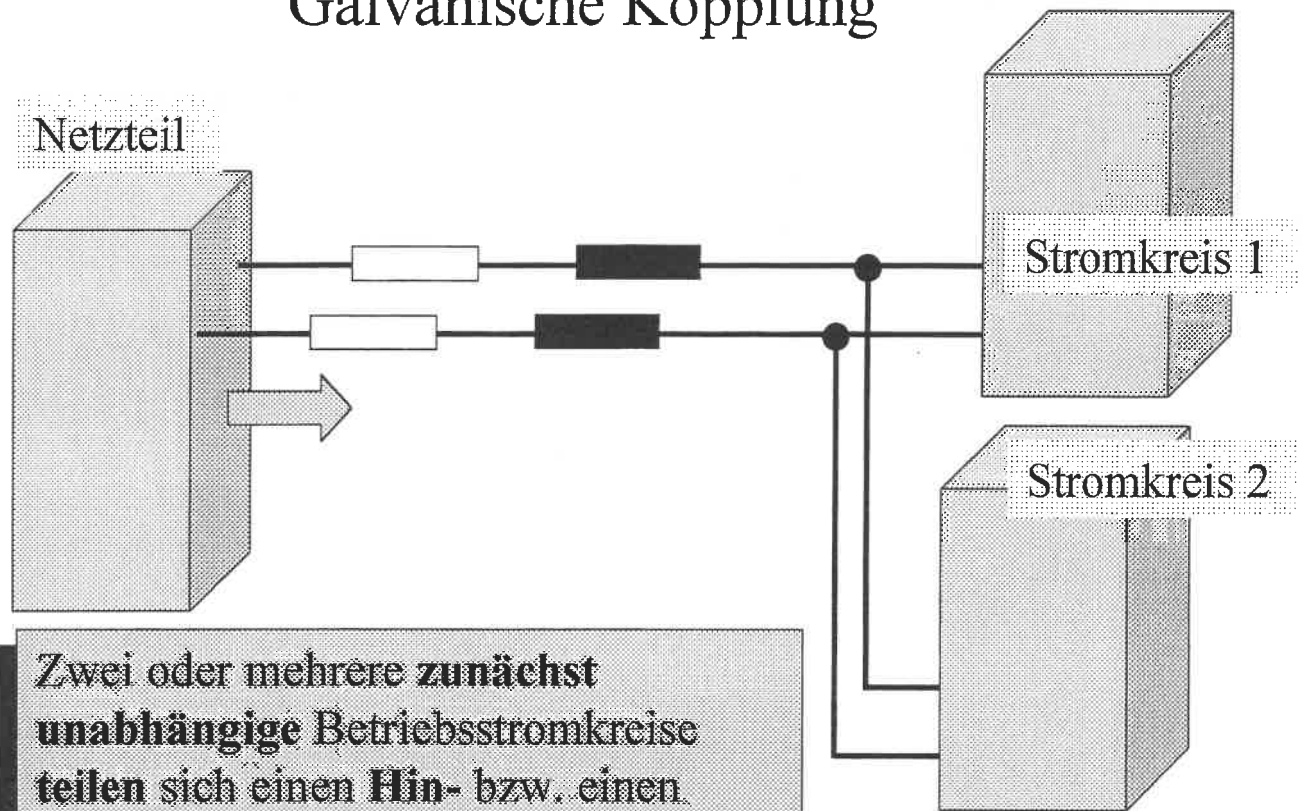
Kopplungswege



Damit es zu einer Störung kommt müssen **drei Bedingungen** zusammenkommen: **Störer, Kopplungsweg, Störopfer.**

Nicht immer, aber in den meisten Fällen wird es am einfachsten sein, die Störfestigkeit der Senke zu erhöhen. Zumal der Störer oftmals nur sehr aufwendig ermittelt werden kann. Erschwerend kommt hinzu, daß die einzelnen Kopplungsarten gemeinsam auftreten.

Galvanische Kopplung



Zwei oder mehrere **zunächst unabhängige Betriebsstromkreise** teilen sich einen **Hin-** bzw. einen **Rückleiter** oder beides.

Der eine Stromkreis erzeugt an der Zuleitungsinduktivität einen Spannungsabfall, der im anderen Stromkreis wirksam wird.

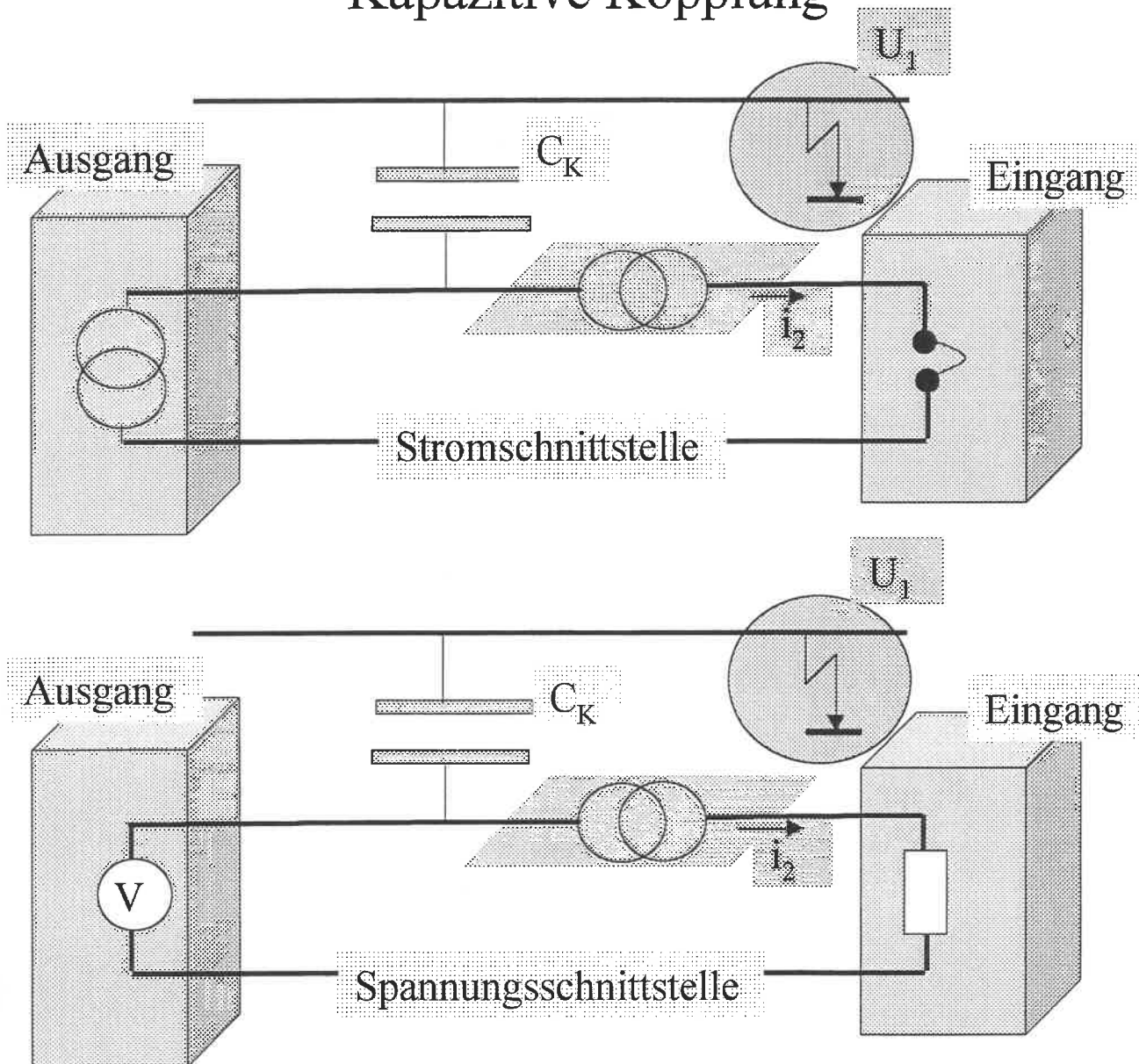
Abhilfe

Für jeden Stromkreis einen eigenen Hin- und Rückleiter **verwenden**.

Zuleitungen verdrillen --> Herabsetzung der Induktivität

Falls viele Hinleiter nur einen gemeinsamen Rückleiter haben, wird dieser um die Hinleiter gewickelt.

Kapazitive Kopplung



Auf einer Leitung erfolgt ein **Spannungssprung** U_1 (z. B. Schalten eines Schützes) --> auf der anderen Leitung **wird** als **Folge** ein **Strom** i_2 **einkoppelt**.

Da bei einer Stromschnittstelle i_2 direkt dem Nutzsignal überlagert ist, wäre hier eine Spannungsschnittstelle besser.

Kapazitive Kopplung

Der Innenwiderstand
der eingekoppelten
Stromquelle beträgt

$$R_q \sim 1/(\omega * C_K)$$

Falls die Leitungen eng
benachbart sind, gilt

$$C_K \sim 100 \text{ pF/m}$$

Für den eingekoppelten Strom
gilt in erster Näherung

$$i_2 = C_K * \Delta U_1 / \Delta t$$

Bei sinusförmigen
Vorgängen gilt

$$i_2 = C_K / m * L * 2 * \pi * f * U_1$$

L = Länge der Koppelstrecke

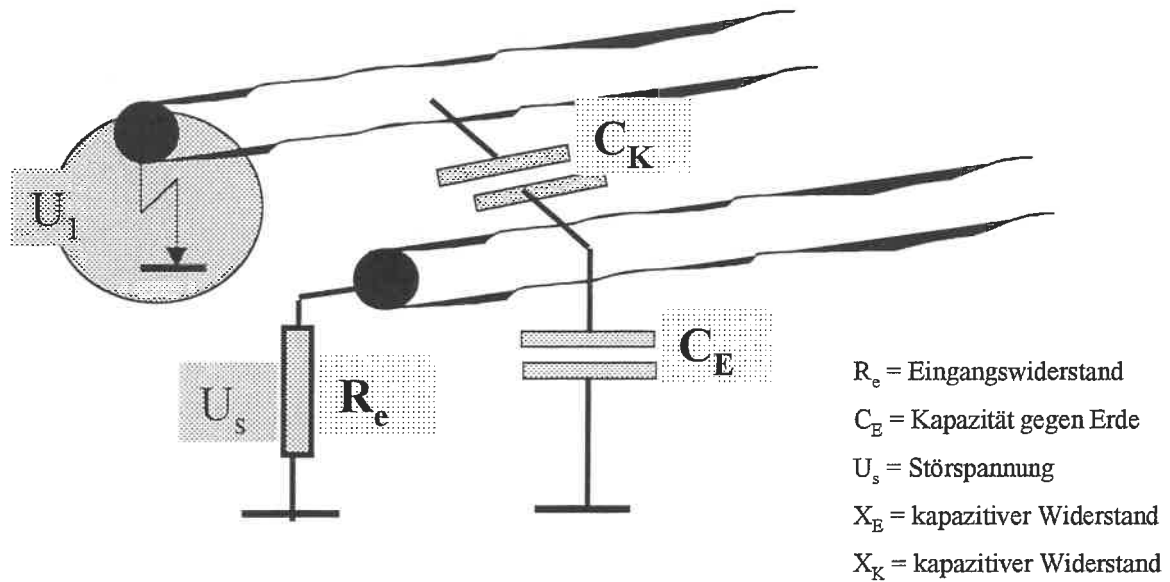
Hier wird deutlich, falls ein Signalstromkreis parallel zu einem Leistungskabel liegt, wird in diesen kontinuierlich ein 50 Hz Strom eingekoppelt. Er kann beispielsweise bewirken, daß ein Relais, Schütz ständig angezogen bleibt.

Mögliche Abhilfe:

**Widerstand parallel
zur Schützspule**

Ansonsten ist die kapazitive Kopplung speziell im hochfrequenten Bereich vorherrschend.

Kapazitive Kopplung



$$U_s / U_1 = (R_e \parallel X_E) / (X_K + (R_e \parallel X_E))$$

$$U_s = (j * 2 * \pi * f * R_e * C_K) / (1 + j * 2 * \pi * f * R_e * (C_K + C_E)) * U_1$$

Falls

$$2 * \pi * f * R_e * (C_K + C_E) \ll 1$$

gilt

$$|U_s| = j * 2 * \pi * f * R_e * C_K * U_1$$

Falls

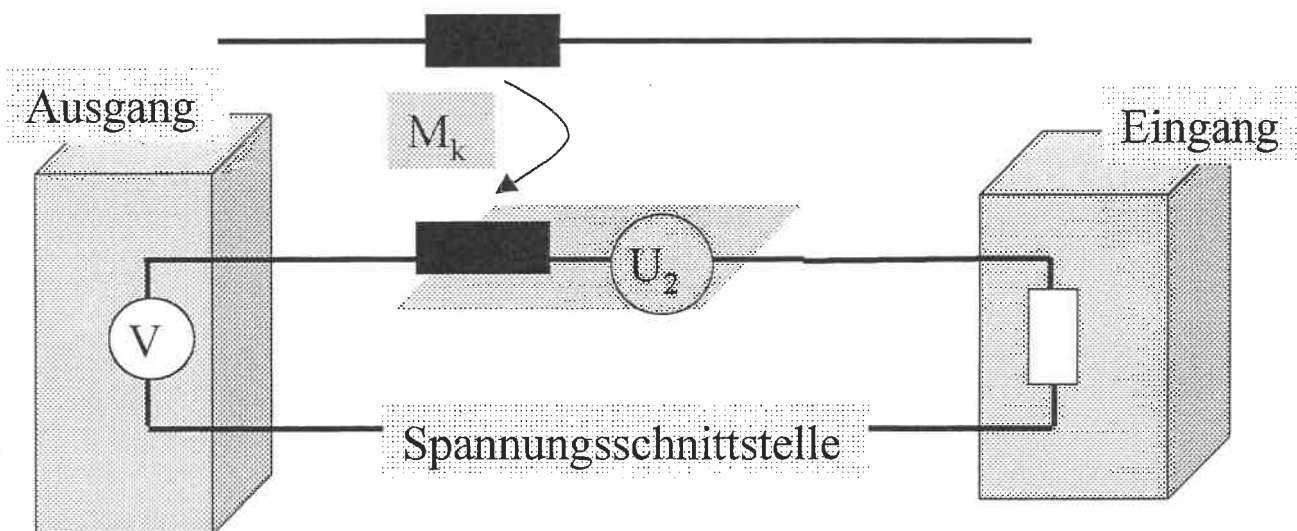
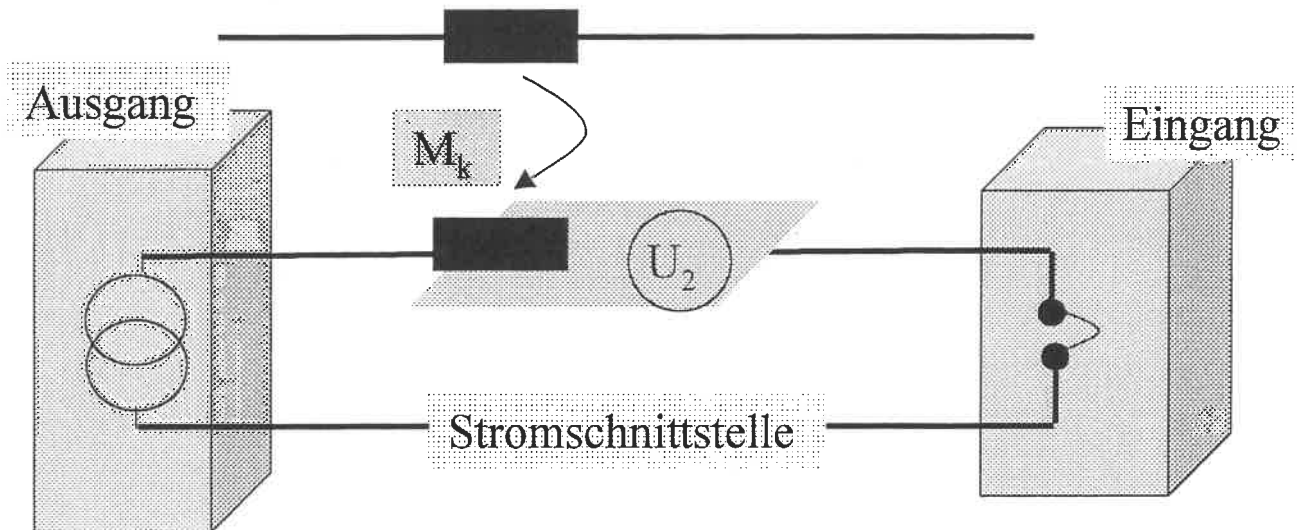
$$2 * \pi * f * R_e * (C_K + C_E) \gg 1$$

gilt

$$|U_s| = 1 / (1 + C_E / C_K) * U_1$$

hohe Koppelkapazität zu Metallteilen anstreben, d.h. Leitungen möglichst direkt an Metallteile bzw. Bleche führen.

Induktive Kopplung



Auf einer Leitung erfolgt eine **Stromänderung** Δi_1 auf der anderen Leitung wird eine Spannung U_2 **eingekoppelt**.

Da bei einer Spannungsschnittstelle U_2 direkt dem Nutzsignal überlagert ist, wäre hier eine Stromschnittstelle besser.

Induktive Kopplung

Der Innenwiderstand der eingekoppelten Spannungsquelle

$$R_q \rightarrow 0$$

Falls die Leitungen eng benachbart sind, gilt

$$M_K \sim 1,5 \mu\text{H/m}$$

Für die eingekoppelte Spannung gilt in erster Näherung

$$U_2 = - M_K * \Delta i_1 / \Delta t$$

Bei sinusförmigen Vorgängen gilt

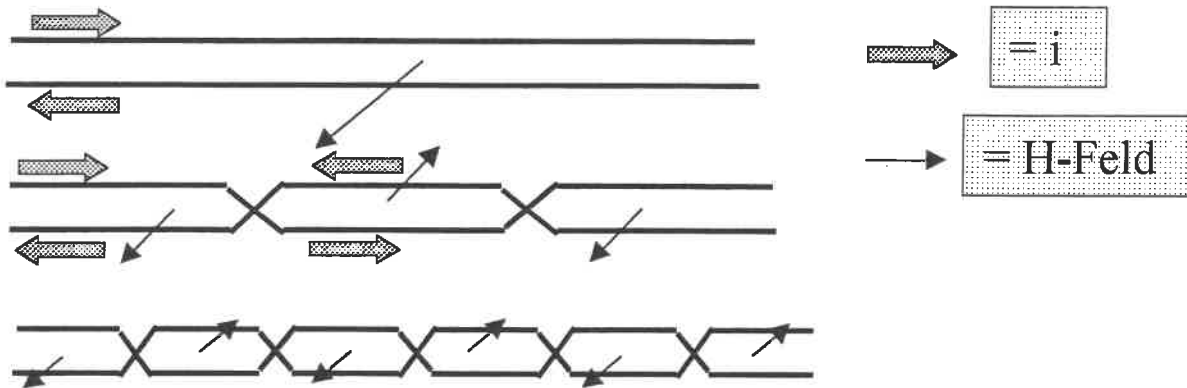
$$U_2 = - M_K / m * L * 2 * \pi * f * i_1$$

L = Länge der Koppelstrecke

Die induktive Kopplung ist speziell im niederfrequenten Bereich vorherrschend. Speziell wenn Leistungskabel (z. B. Motorleitungen) benachbart sind.

Hier müssen die Schirme beidseitig aufgelegt werden.

Kopplung

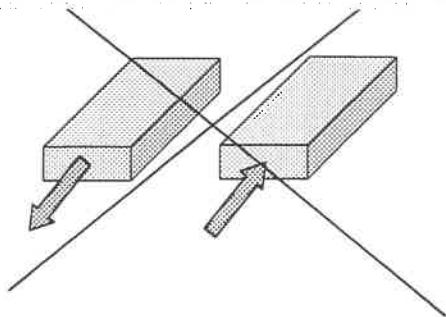


Reduzierung des induktiven Übersprechens:
Hin- und Rückleiter miteinander verdrehen.

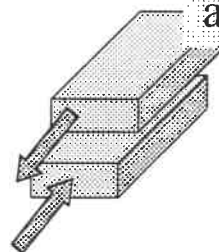
Um unerwünschte Verstärkungseffekte auszuschließen,
sollten benachbarte Stromkreise nicht die gleiche
Verdrillung (Anzahl von Schlägen pro Meter) haben.

Kabel mit konzentrischem Schutzleiter sind besser,
als wenn der Schutzleiter mit verdreht wäre.

Stromschienen nicht so

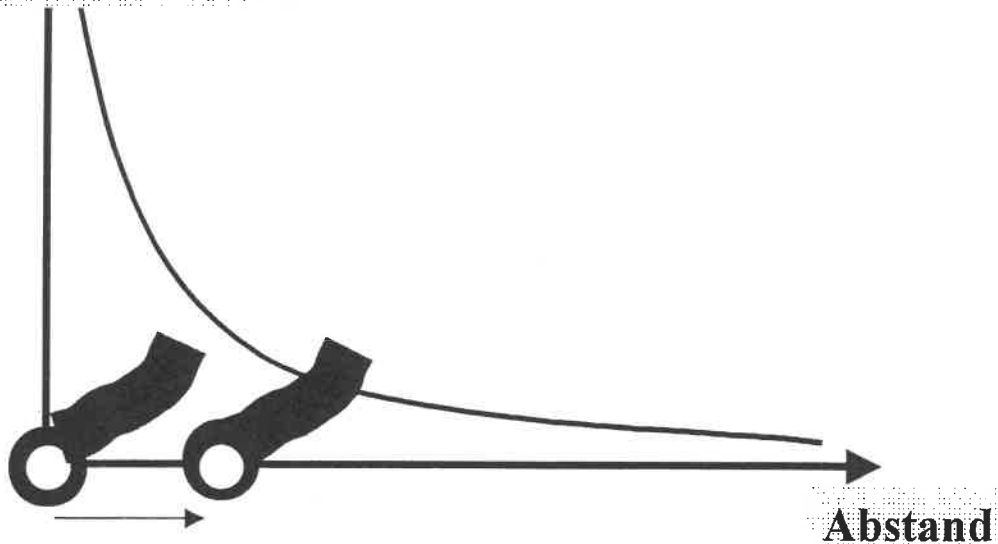


sondern so
anordnen



Kopplung

Übersprechen:
kapazitiv, induktiv



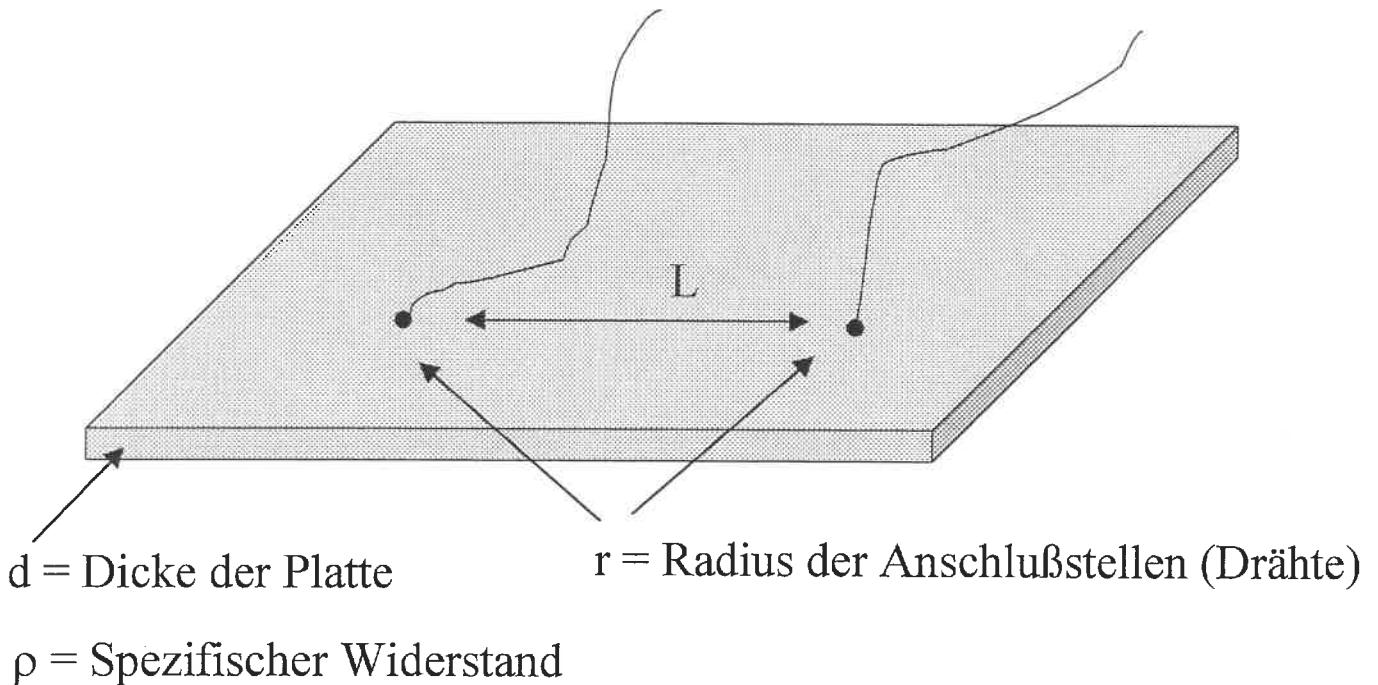
M_k , C_k nehmen nicht linear mit dem Abstand ab. D. h. die ersten paar cm bringen eine starke Entkopplung.

Empfohlener Wert aus der Praxis:
30 cm - 40 cm Abstand außerhalb
des Schaltschranks

Falls nicht bekannt ist, welche Einkopplungsart (magn., elektr.) vor Ort zu erwarten ist, dann sollte einer Stromschnittstelle den Vorzug gegeben werden.

Kopplung

- Widerstandswert zwischen zwei Punkten einer Leiterplatte -



$$R_{pl} = \frac{\rho}{\pi * d} \ln \frac{L}{r}$$

Formel gilt nur falls $L \gg r$

Wegen der logarithmischen Abhängigkeit hat der Faktor $\frac{\rho}{\pi * d}$ einen viel größeren Einfluß als L, r

$$\rho_{\text{Kupfer}} = 0,017 \, \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$