

Verdrillte Leitungen *verhindern* elektrische und magnetische Felder!

Empfehlungen für Elektroinstallateure und "Häuslebauer"

1. Einleitung

Von allen Spannung führenden Leitungen und Einrichtungen gehen elektrische Felder aus und überall da, wo elektrische Ströme fließen, entstehen magnetische Felder. Zu den bekanntesten Methoden zur Reduzierung des elektrischen Feldes zählen:

Abschirmung der Spannung führenden Leitungen oder Installationen durch

- Verlegung abgeschirmter Kabel oder Koaxkabel,
- Verlegung der Kabel in leitenden Rohren (mit Erdung),
- Abschirmung der Wände durch geerdete leitende Folien oder Anstriche (unter der Tapete)

Einrichten von **Netzfreeschaltern** (geeignet für Nachttischlampen und Licht allgemein, nicht aber für Radiowecker, Kühlschränke, HIFI-Geräte mit Stand-By-Schaltung oder andere Einrichtungen, welche dauernd unter Spannung stehen müssen).

Da magnetische Felder ausserordentlich schwierig abzuschirmen sind, muss man danach trachten, ihre Entstehung soweit möglich zu verhindern. Bei elektrischen Leitungen geschieht dies, durch Verwendung von Koaxkabeln oder Verlegung der Leitungen in Eisenrohre¹. Felder von elektrischen Geräten (mit Elektromotor oder Netztrafo etc.) können durch geeignete Konstruktions-techniken² reduziert werden.

Alle erwähnten Abschirmungsmassnahmen sind mit erheblichen Kosten für Material und Arbeitsaufwand beim Neubau und noch mehr bei einer Bausanierung verbunden. Die einfachste und zugleich billigste Methode zur Reduktion von elektrischen UND magnetischen Feldern besteht darin, verdrillte Leiter zu verlegen. Diese Methode sollte vor allem im Schlafzimmerbereich berücksichtigt werden, wenn in den Wänden Leitungen für grössere Stromverbraucher geführt werden. Anhang 1 zeigt ein praktisches Beispiel, wo die Boilerleitung in der Schlafzimmerwand bei Nachtstrombetrieb ein viel zu hohes Magnetfeld liefert!

Die Vorteile der Verdrillung werden seit langem in der Datentechnik genutzt, um möglichst wenig Abstrahlung der Signale zu verursachen und gleichzeitig eine möglichst grosse Störfestigkeit gegenüber Fremdfeldern in der Datenübertragung zu erreichen. Diese einfache Technik kann auch bei Starkstrominstallationen nutzbringend angewandt werden, um die Abstrahlung elektromagnetischer Felder zu reduzieren.

2. Physikalische Zusammenhänge

In Lehrbüchern der Elektrotechnik sind die Formeln zur Berechnung der elektrischen und magnetischen Felder von einem Leiter unter Spannung (Ladung pro Längeneinheit q) mit dem Strom I (wie im Anhang 2 gezeigt) zu finden.

¹ wenn sie nicht zu dünnwandig sind!

² wirklich kleine Felder erfordern in der Regel aber erheblichen Mehraufwand.

Für **parallele Leiterpaare** wie in Figur 1 gezeigt, lassen sich die elektrischen und magnetischen Felder sehr einfach berechnen. Es zeigt sich, dass sich beide Felder verhalten wie

$$\frac{d}{a^2} \quad (1)$$

d.h. sie nehmen mit dem Abstand **d** zwischen den Leitern zu und mit dem Quadrat des Abstandes **a** vom Leiterpaar ab. Figur 2 zeigt das Magnetfeld in Abhängigkeit von **d** und **a**. Wenn Nullleiter, Schutzleiter und Phasenleiter in einem Rohr verlegt worden sind, verlaufen diese eher zufällig mit variierendem Abstand voneinander teilweise parallel, entsprechend ist das Magnetfeld entlang der Leitung bei grösserem Abstand zwischen den Leitern stärker als bei kleinerem.

Magnetfelder von Unterputzleitungen dringen weitgehend ungehindert durch das Mauerwerk, sie entstehen aber nur, wenn Strom¹ fliesst.

Abgeschaltete Nachttischlampen verursachen somit keine Magnetfelder, aber die elektrischen Felder um die Leiter bleiben bestehen, solange diese unter Spannung sind. Leiter mit 230 Volt Spannung sind elektrisch geladen und erzeugen ein elektrisches Feld, das durch die daneben liegenden Null- oder Erdungsleiter nur zum Teil reduziert wird.

Bei einer geerdeten Abschirmung wird im Schirm so viel gegenpolige elektrische Ladung angezogen, dass praktisch kein elektrisches Feld nach aussen dringt. Ohne Abschirmung verbreitet sich das elektrische Feld² durch die Mauer nach aussen. Die Stärke der Abstrahlung hängt von der Leitfähigkeit der Mauer und - wie schon beim Magnetfeld - davon ab, wie die Leiter im Rohr liegen.

Das elektrische und das magnetische Feld zeigen hinsichtlich der Abstrahlung von verdrehten Leiterpaaren ein ähnliches Verhalten³. Im Weiteren soll nur das magnetische Feld betrachtet werden, zumal dieses nicht wie das elektrische Feld durch eine einfache, geerdete Abschirmung auf Null reduziert werden kann.

3. Vorteile der Verdrillung

Für die Berechnung der Magnetfelder von Leiterpaaren wurde ein (realistischer) Leiterstrom⁴ von 3A und ein Leiterabstand⁵ von 4 mm angenommen. Für andere Leiterströme ändert sich das Magnetfeld proportional, z. B. ist die Feldstärke für 6 A mit dem Faktor $\frac{6}{3} = 2$ zu multiplizieren.

Figur 3 zeigt die *Magnetfelder für verschiedene Schlaglängen* der Verdrillung. Offensichtlich nimmt das Magnetfeld bereits bei schwacher Verdrillung (Schlaglänge $s = 30$ cm) sehr viel rascher ab, als von unverdrillten Leitern. Man kann feststellen, dass auf einem Abstand vom Leiterpaar von nur einer Schlaglänge die Feldstärke auf ca. ein Dreissigstel von jener bei unverdrillten Leitern sinkt. Das gleiche Verhältnis gilt auch für $s = 20$ und $s = 10$!

1 z. B. wenn Nachtstromverbraucher (el. Heizungen, Boiler etc.) angeschlossen sind.

2 wenn Lampen oder Lichtschalter am Kopfende eines Bettes installiert sind, können Felder bis zu 100 V/m gemessen werden!

3 wie auch die Formeln im Anhang 2 vermuten lassen!

4 3 A ergeben mit 230 V bei einem Elektroofen im Schlafzimmer ca. 700 Watt Leistung; eine Steigleitung in der Schlafzimmerwand kann unter Umständen wesentlich höhere Ströme führen.

5 der Abstand von 4 mm ist für unverdrillte Leiter vom Typ T (alte Bezeichnung NYA) eher zu klein gerechnet, für verdrehte Leiter mit 1.5 mm^2 bzw mit 2.5 mm^2 Querschnitt, sind die Abstände nur ca. 3 bzw. 3.5 mm. Die Unterschiede der Feldstärken sind im Vergleich zwischen verdreht und unverdreht somit eher noch grösser!

Figur 4 zeigt, dass die Stärke des Magnetfeldes *entlang* der verdrehten Leiter in deren *unmittelbaren Nähe* leicht variiert. Bei Abständen von mehr als einer Schlaglänge ist diese Variation jedoch praktisch vernachlässigbar.

Die sehr viel raschere Abnahme der Feldstärke mit dem Abstand **a** als in (1), wird an einem Zahlenbeispiel für die Schlaglänge $s = 20$ cm und den Leiterabstand $d = 4$ mm in der nachfolgenden Tabelle deutlich.

a (cm)	B in T für parallele Leiter	B in T für verdrehte Leiter
15	0.1067	0.0131
20	0.0600	0.0024
25	0.0384	0.00044
30	0.0267	0.00008
35	0.0196	0.00002

4. Schlussfolgerungen und praktische Hinweise

Die Tabelle zeigt klar, dass das Magnetfeld von verdrehten Leitern schon beim Abstand von einer Schlaglänge (in diesem Beispiel = 20 cm) auf einen Bruchteil der Feldstärke von parallelen Leitern abgesunken ist und beim Abstand von weniger als zwei Schlaglängen bereits drei Zehnerpotenzen tiefer liegt.

Von einem verdrehten Leiterpaar mit 1.5 mm^2 Querschnitt und der Schlaglänge unter 20 cm, ist auf einem Abstand von 40 - 50 cm praktisch kein Magnetfeld mehr zu messen, d.h. man erzielt das gleiche Ergebnis, wie mit einem Koaxkabel. Im Gegensatz zum Koaxkabel ist aber der Trick mit der Verdrehung auch bei mehradrigen Leitungen möglich und dazu wesentlich einfacher und billiger in der Installation!

Es sollte in jedem Fall vom Elektroinstallateur bei Neubauten verlangt werden, dass alle Phasenleiter, Nullleiter und Schalterleiter vor dem Einzug in die Leerrohre (z.B. mit einer Bohrmaschine, wenn keine andere Möglichkeit besteht) verdreht zu werden. Wenn mehrere Phasen in ein Rohr zu verlegen sind, müssen alle Phasen, Schalterdrähte und Nullleiter miteinander verdreht werden. Der Schutzleiter braucht nicht mitverdreht werden, da dieser im Normalfall keinen Strom führt.

Handelsübliche dreiadrige Litzenkabel¹ sind mit Schlaglängen zwischen 10 und 15 cm zu kaufen. Mobile elektrische Geräte (Tischlampen, Stehlampen, Toaster etc.) sollten grundsätzlich mit solchen verdrehten Leiterkabeln (sie sind im allgemeinen rund und nicht flach oder elliptisch im Querschnitt) angeschlossen werden. Dabei ist auch darauf zu achten, dass der Schutzleiter zu den metallischen Teilen der Geräte geführt wird. Der Schutzleiter sollte auch bei Decken- oder Wandlampen angeschlossen werden, wenn diese z.B. im Schirm aus leitenden Teilen bestehen. In praktischen Fällen zeigte sich, dass dadurch das elektrische Feld in Kopfhöhe an einem Esstisch auf einen Bruchteil reduziert werden konnte. Die Schutzterde an einem Lampenschirm hat nicht primär mit Sicherheitsüberlegungen bei Berührung zu tun, sondern begrenzt die Abstrahlung des elektrischen Feldes, wenn die Lampe eingeschaltet ist.

Wenn bei Hausmessungen entlang einer Leitung zu hohe Feldstärken festgestellt werden, lässt sich mit etwas Geschick und Fachkenntnis feststellen, ob diese von 'normal' verlegten Leitungen (oder von Stegleitungen² wie sie in den 50-er Jahren verlegt worden sind), oder von anderen Quellen herrühren. Gegebenenfalls lassen sich alte Leitungen durch neue

¹ wie sie in der Schweiz mit 1 und 1.5 mm^2 für eine Tisch- oder Stehlampe erhältlich sind,

² die Nullleiter und Phasen laufen parallel mit verschweisster Isolation;

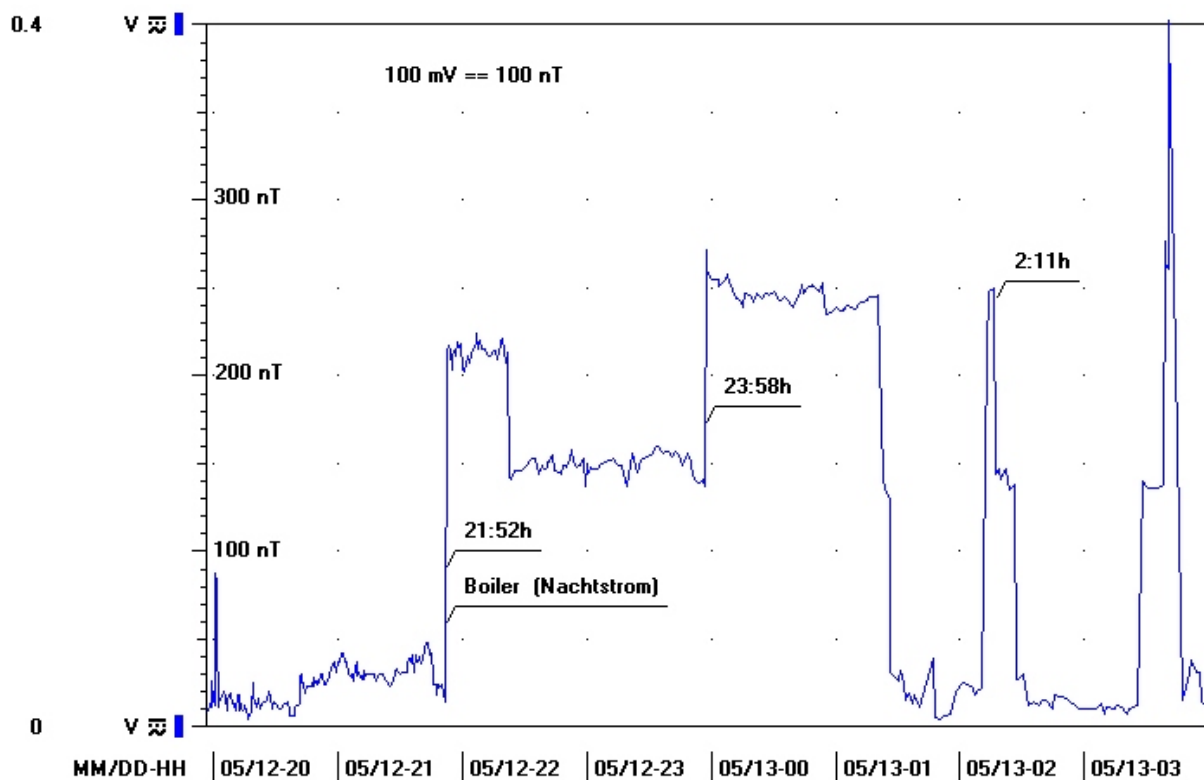
Für den Fall, dass bei einem stark feldbelasteten Schlafzimmer keine der oben erwähnten Massnahmen zur Reduktion der Feldstärken ergriffen werden kann, sei noch der einfache Trick erwähnt, das Bett 10 cm oder mehr von der Wand zu rücken. In Hotelzimmern, wo meist alles vom Licht bis zur Wecker- und HIFI-Elektronik im Kopfbereich untergebracht ist, empfiehlt es sich, mit dem Kopf am Fussende zu schlafen!

Anhang 1

Magnetfeld, gemessen am Kopfkissen:

Messinstrumente:

- Feldsonde FM 6 der Firma Fauser Elektronik München;
- Datenaufzeichnung mittels *Metrahit 18 S mit Speicheradapter* sowie
- Auswertung und Darstellung der Daten mittels *Metrawin 10* von Gossen-Metrawatt.

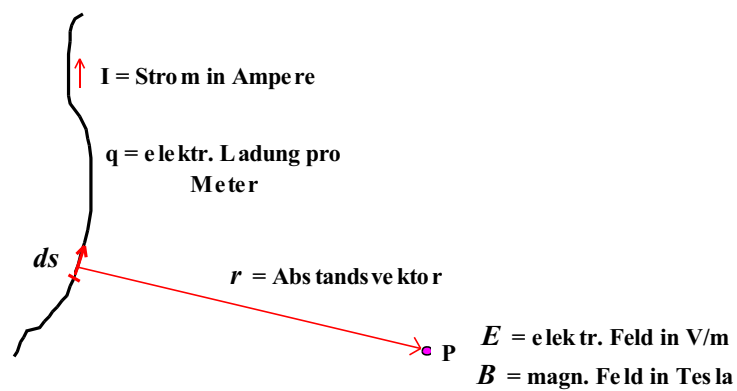


Anhang 2

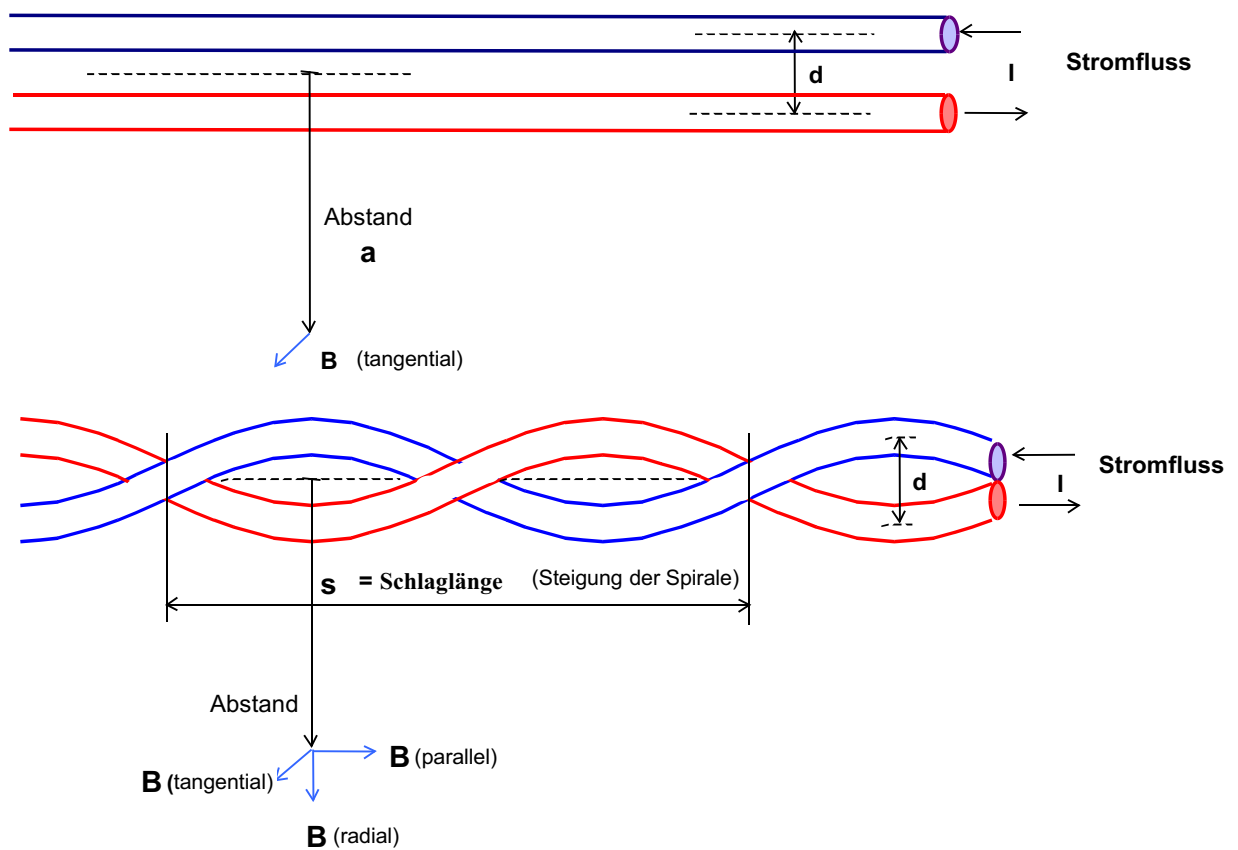
Das elektrische Feld ist bestimmt durch: $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{q ds}{r^3}$

und das magnetische Feld durch: $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I ds \times r}{r^3}$

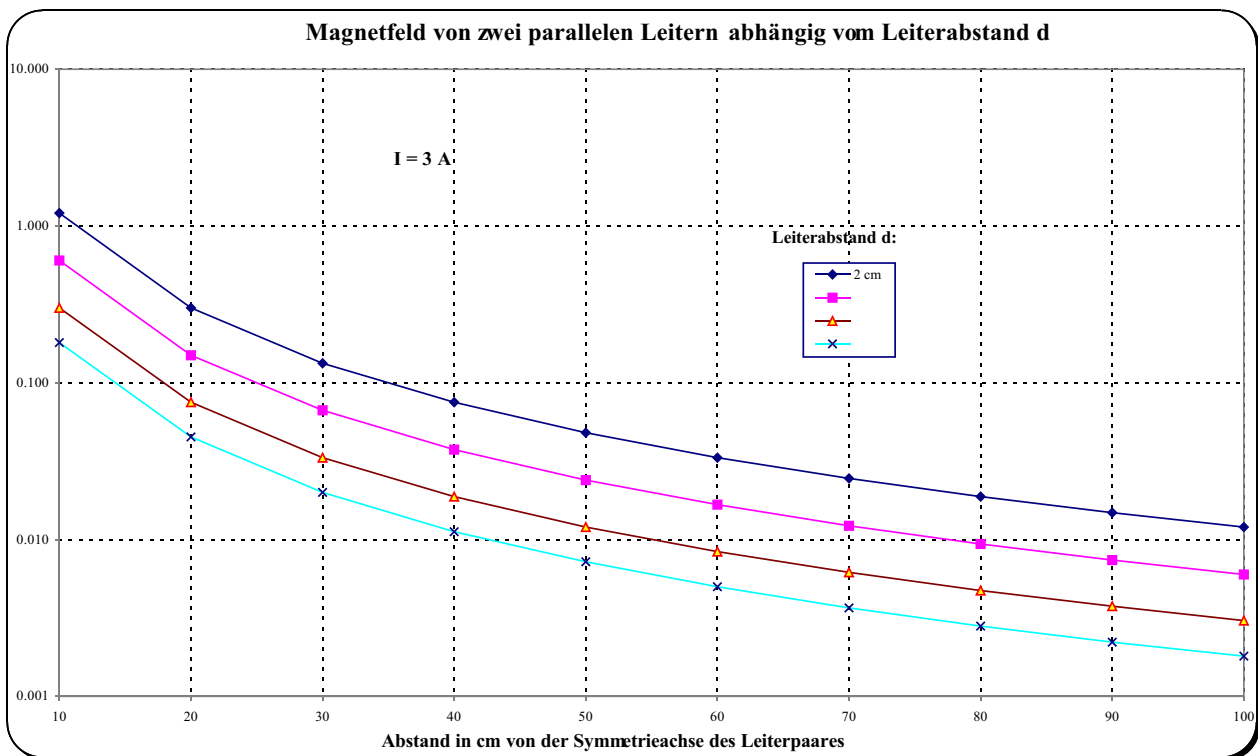
die Integrale sind für einen bestimmten Feldpunkt P über die gesamte Länge des Leiters (bei einem Leiterpaar entlang der Stromflussrichtung hin und zurück) zu berechnen.



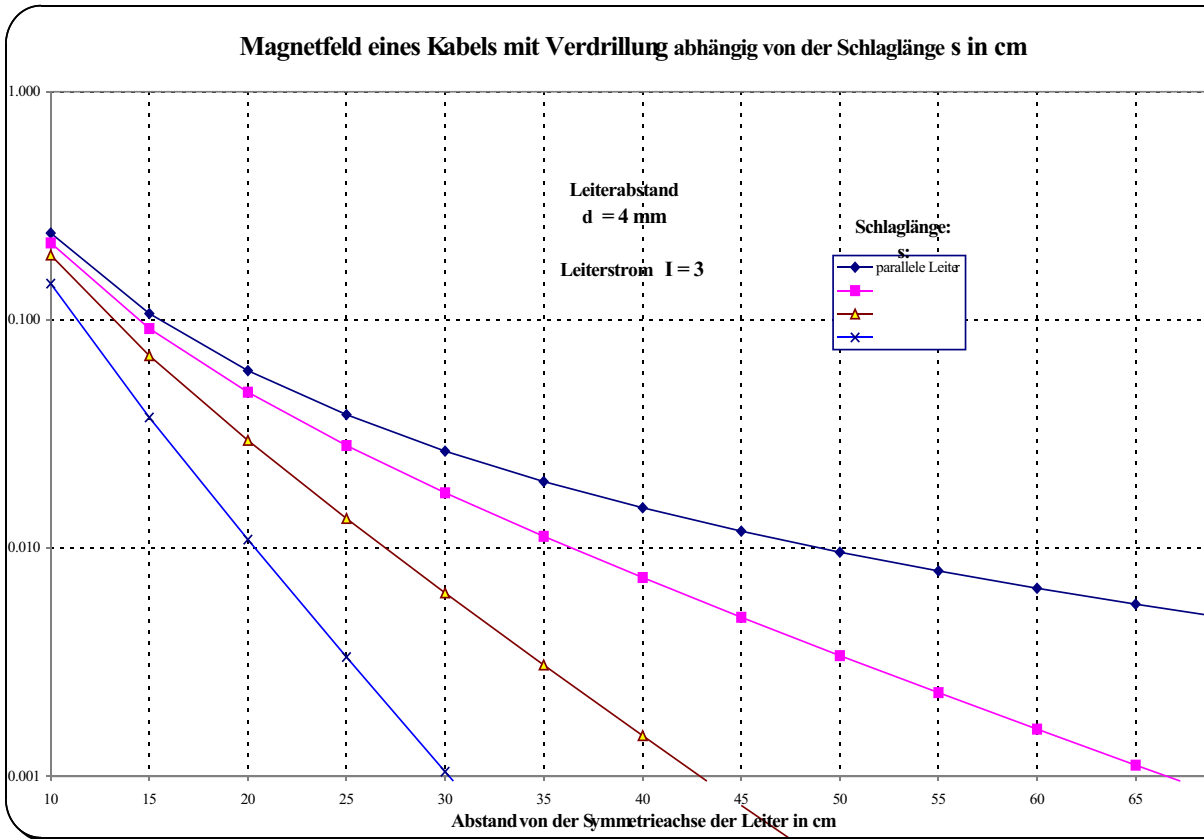
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

